

GENÉTICA Y MEJORAMIENTO VEGETAL

Identificación de QTL en las generaciones segregantes de un híbrido de segundo ciclo de tomate. *Identification of agronomic interesting QTL in the segregating generations of a tomato second cycle hybrid.* Victoria Guadalupe Cabodevila, Paolo Cacchiarelli, Guillermo Raúl Pratta. p.1.

ECOFISIOLOGÍA Y MANEJO DE CULTIVOS

Post-harvest nutritional and antioxidant profile of *Beta vulgaris* L. grown in low emission soilless microgarden system with organic and inorganic nutriments. *Perfil nutricional y antioxidante post-cosecha de Beta vulgaris L. cultivada en microhuerto sin suelo de baja emisión con nutrientes orgánicos e inorgánicos.* Shaghef Ejaz, Karoline Maria Jezik, Muhammad Akbar Anjum, Christian Gosch, Heidrun Halbwirth, Karl Stich. p. 19.

Dinámica poblacional de tallos de pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.) y ballico perenne (*Lolium perenne* L.) asociados con trébol blanco (*Trifolium repens* L.). *Population dynamics of orchard grass stalks (Dactylis glomerata L.) and perennial ryegrass (Lolium perenne L.) associated with white clover (Trifolium repens L.).* Adelaido Rafael Rojas García, Alfonso Hernández Garay, Marco Antonio Rivas Jacobo, Sergio Iban Mendoza Pedroza, María de los Ángeles Maldonado Peralta, Santiago Joaquín Cancino. p. 35.

Sorghum (*Sorghum bicolor*) pollen availability and seed set under different proportion male:female plants in Mexican highlands. *Disponibilidad de polen y producción de semilla en sorgo (Sorghum bicolor) bajo diferente proporción de plantas macho y hembra en valles altos de México.* María E. Cisneros-López, Alberto J. Valencia-Botín, Yokiushirdhigilmara Estrada-Girón. p. 51.

Effect of harvesting time on seed quality of two bell pepper cultivars (*Capsicum annuum*). *Efecto del momento de cosecha sobre la calidad de semilla en dos cultivares de pimiento (Capsicum annuum) tipo cuatro cascós.* Mónica B. Ruiz, Carlos A. Parera. p. 67.

Análisis del crecimiento de tres líneas de cebada para producción de forraje, en el valle de México. *Growth analysis of three lines of barley for forage production, in the valley of Mexico.* Claudia Yanet Wilson García, Alfonso Hernández Garay, María Esther Ortega Cerrilla, Cándido López Castañeda, Ricardo Bárcena Gama, José Luis Zaragoza Ramírez, Gilberto Aranda Osorio. p. 79.

Influencia de la fertirrigación nitrogenada en la concentración de nitratos en el extracto celular de peciolo, el rendimiento y la calidad de tomate de invernadero. *Nitrogen fertigation influence on nitrate concentration of nitrates on extract cellular of petiole, yield and quality of greenhouse tomato.* Fidel Núñez-Ramírez, Raúl Leonel Grijalva-Contreras, Fabián Robles-Contreras, Rubén Macías- Duarte, María Isabel Escobosa-García, Jesús Santillano Cázares. p.93.

Aporte de nitrógeno proveniente de pollinaza al cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* L.). *Contribution of nitrogen from chicken manure to broccoli crop (Brassica oleracea L.).* Daniel Torres Nava, Engelberto Sandoval Castro, Juan José Peña-Cabrales, José Antonio Vera-Núñez. p. 105.

Tifton 85 production under deficit irrigation. *Efecto del riego deficitario sobre la producción de Tifton 85.* (Nota Científica). Anita Cristina Costa da Silva, Luiz Antonio Lima, Willian Fernandes de Almeida, Michael Silveira Thebaldi, Antonio Carlos da Silva. p. 117.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Uso del Análisis Envoltante de Datos (DEA) para evaluar la eficiencia de riego en los Módulos del Distrito de Riego No. 041, Río Yaqui (Sonora, México). *Use of the Data Envelopment Analysis (DEA) to evaluate the efficiency of irrigation in the modules of the irrigation of District No. 041, Río Yaquí (Sonora, Mexico).* Victor Manuel Olmedo Vázquez, José Luis Minjares Lugo, Emilio Camacho Poyato, María Leticia Hernández Hernández, Juan Antonio Rodríguez Díaz. p. 127.

Determinación de indicadores de gestión en los módulos del Distrito de Riego No. 041, Río Yaqui (Sonora, México). *Determination of management indicators on Irrigation Districts modules 041, Río Yaquí (Sonora, Mexico).* Victor Manuel Olmedo Vázquez, Emilio Camacho Poyato, Juan Antonio Rodríguez Díaz, José Luis Minjares Lugo, María Leticia Hernández Hernández. p. 149.

Techos verdes. Contribución de *Carpobrotus Acinaciformis* al manejo integrado de escurrimientos superficiales urbanos. *Green roofs. Contribution of Carpoprotus Acinaciformis to the integrated management of urban surface runoff.* Gustavo Ariel Villalba, Héctor Gustavo Rosatto, Fernando Bienvenido, Isabel María Flores-Parra, Guido Fernando Botta, Daniel Andrés Laureda, Damián Andrés Perez. p.169.

Are there any differences in carbon concentration among species of high conservation value forests in Northern Mexico?. ¿Hay variaciones en la concentración de carbono entre especies de bosques de alto valor de conservación en el norte de México?. *Diego Hernández-Vera, Marín Pompa-García, Christian Wehenkel, Gustavo Pérez-Verdín, Artemio Carrillo-Parra.* p. 183.

Efecto de gallinaza y biosólido en mezcla con turba europea para producción de plántulas de cucurbitáceas. *Effect of poultry manure and biosolid mixed with European turbe for cucurbit seedling production.* (Nota Científica). Fernando de Jesús Carballo Méndez, Juan Carlos Rodríguez Ortiz, José Luis García Hernández, Jorge Alonso Alcalá Jáuregui, Pablo Preciado Rangel, Humberto Rodríguez Fuentes, Federico Villarreal Guerrero. p. 193.

Perfil mineral en los pastizales de *Andropogon lateralis* y *Sorghastrum setosum* (Gramineae) en Corrientes, Argentina. *Mineral profile grassland of Andropogon lateralis and Sorghastrum setosum (Gramineae) in Corrientes, Argentina.* Aldo C. Bernardis, Roxana Villafañe, Roberto G. Pellerano, Eduardo Marchevky. p. 203.

Labranza y fertilización como moduladores de la dinámica de comunidades microbianas asociadas a un cultivo de trigo en el sudeste bonaerense (Argentina). *Tillage and fertilization as modulators of the dynamics of microbial communities associated with a wheat crop of Southeast of Buenos Aires (Argentina).* Germán Ricardo Pérez, Pablo Andres Barbieri, Keren Hernandez Guijarro, Hernán Eduardo Echeverría, Fernanda Covacevich. p. 219.

Rainfall in Azul and its relationship with the phenomenon el Niño Southern Oscillation (ENSO). *Precipitaciones en Azul y su relación con el fenómeno el Niño Oscilación Sur (ENOS).* Carlos Alberto Vilatte, Adriana Elisabet Confalone, Laura María Aguas. p. 235.

ECONOMÍA Y POLÍTICA AGRARIA

“Country of origin” effect and ethnocentrism in food purchase in Southern Chile. *Efecto “país de origen” y etnocentrismo en la compra de alimentos en el sur de Chile.* Berta Schmettler, Mercedes Sánchez, Horacio Miranda, Ligia Orellana, José Sepúlveda, Marcos Mora, Germán Lobos, Clementina Hueche. p. 243.

Importancia de los objetivos sociales, ambientales y económicos de los agricultores en la adopción de maíz mejorado en Chiapas, México. *The importance of farmers’ social, environmental and economic objectives in improved corn seeds adoption in Chiapas, México* Blanca Isabel Sánchez-Toledano, Zein Kallas, José María Gil. p. 269.

EU-MERCOSUR trade agreement: finding winners products for Paraguay. *Acuerdo comercial EU-MERCOSUR: identificando los productos ganadores del Paraguay.* Víctor Enciso Cano, Manuela Castillo Quero, Tomás De Haro Giménez. p. 289.

PROTECCIÓN VEGETAL

Fitotoxicidad de los extractos de *Dieffenbachia amoena*, *Nerium oleander*, *Raphanus sativus* y *Brassica napobrassica*. *Phytotoxicity of extracts of Dieffenbachia amoena, Nerium oleander, Raphanus sativus and Brassica napobrassica.* María de los Ángeles Díaz-Mota, María Rosario García-Mateos, Juan Martínez-Solís, Marcelo Acosta-Ramos, Miguel Ángel Serrato-Cruz, María Teresa Colinas-León, Jesús Magdaleno-Villar. p. 303.

PRODUCCIÓN Y SANIDAD ANIMAL

Distribución de los huevos de lepidópteros defoliadores (Lepidoptera: Noctuoidea) en plantas de soja y su relación con la fenología del cultivo. *Distribution of the eggs of defoliating Lepidoptera (Noctuoidea) in soybean plants and its relation to crop phenology.* Liliana Valverde, Eduardo Virla, Guido Van Nieuwenhove. p. 319.

TECNOLOGÍAS AGROINDUSTRIALES

Influence of C/N ratio on productivity and the protein contents of *Pleurotus ostreatus* grown in different residue mixtures. *Influencia de la relación C/N sobre la productividad y contenido proteico del Pleurotus ostreatus cultivado en diferentes mezclas de residuos.* (Nota Científica). María Bernarda Ruilova Cueva, Aldho Hernández, Zulay Niño-Ruiz. p. 331.

Nutritional and fermentative quality of maralfalfa (*Pennisetum* sp.) silages at different cutting ages and ground corn levels. *Calidad fermentativa y nutricional de ensilados de maralfalfa (Pennisetum sp.) a diferentes edades de corte y niveles de maíz molido.* Faviola Ortiz Robledo, Osvaldo Reyes Estrada, Francisco Oscar Carrete Carreón, Juan Fernando Sánchez Arroyo, Esperanza Herrera Torres, Manuel Murillo Ortiz y Rigoberto Rosales Serna. p. 345.

Normas para la presentación de artículos. p. 355.

Nº 2 Año 2017

Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias

Tomo 49



Revista de la FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Universidad Nacional de Cuyo

Tomo 49
Nº 2 Año 2017
ISSN impreso 0370-4661
ISSN on-line 1853-8665

MENDOZA
ARGENTINA



Universidad Nacional de Cuyo
Rector
Prof. Ing. Agr. Daniel Pizzi



Facultad de Ciencias Agrarias
Decana
Prof. Ing. Agr. Concepción Arjona

Directora científica

Dra. Ing. Agr. María Flavia Filippini (UNCUYO, Argentina)

Editora asistente

Prof. Ing. Agr. Adriana I. Caretta (UNCUYO, Argentina)

Editora asistente en Lengua Inglesa

M. Sc. Inés Pilar Hugalde (INTA, Argentina)

Editores asociados

Dra. Adriana Abril (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina)

Dr. Edmundo Bordeu (Pontificia Universidad Católica, Chile)

Dr. Ing. Agr. Guido Fernando Botta (Universidad Nacional de Luján, Argentina)

Dr. Marcelo Cabido (IMBIV-Universidad Nacional de Córdoba, Argentina)

M. Sc. Ing. Agr. Juan Bruno Cavagnaro (UNCUYO, CONICET, Argentina)

Dr. Ing. Agr. Pablo Cavagnaro (UNCUYO, INTA, Argentina)

Dra. Edi Defrancesco (Università degli Studi di Padova, Italia)

Dr. Pablo Delgado Sánchez (Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México)

Dr. José Díaz Osorio (Universidad de Talca, Chile)

Dr. Ing. Agr. Claudio Galmarini (UNCUYO, CONICET, INTA, Argentina)

Dr. Ing. Agr. Alejandro J. Gennari (UNCUYO, Argentina)

Dr. Ing. Agr. Alberto Daniel Golberg (Universidad Nacional de La Pampa, Argentina)

Dr. Ing. Agr. Ricardo W. Masuelli (UNCUYO, INTA, CONICET, Argentina)

M. Sc. Ing. Agr. José Morábito (UNCUYO, INTA, Argentina)

Dr. Ing. Agr. Hernán Ojeda (Agro-Montpellier, Francia)

Dra. Marta Paris (Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina)

Dr. Ing. Agr. Pablo H. Pizzuolo (UNCUYO, Argentina)

Dr. Enrique Sánchez (INTA, Argentina)

Dr. Hernán Vila (INTA, Argentina)

Dr. Pablo Villagra (UNCUYO, CONICET, Argentina)

Dr. Eduardo G. Virla (PROIMI-Biotecnología, CONICET, Argentina)

Comité editor

Dr. Jorge Alcalá Jáuregui (Universidad Autónoma San Luis Potosí, México)

Dra. Mónica Balzarini (UNCórdoba, CONICET, Argentina)

M. Sc. Ing. Agr. Mónica Bauzá (UNCUYO, Argentina)

Dra. Mónica Bertiller (Centro Nacional Patagónico, CENPAT, Argentina)

Dr. Luis Del Vitto (Universidad Nacional de San Luis, Argentina)

Ing. Agr. Juan Carlos Guevara (UNCUYO, CONICET, Argentina)

Dra. María Dolores Lettelier (UNCUYO, Argentina)

M.Sc. Ing. Agr. Víctor Lipinski (UNCUYO, INTA, Argentina)

Prof. Luis López Valladares (Universidad de Chile, Santiago de Chile)

Dr. Luis Marone (UNCUYO, CONICET, Argentina)

Dra. Ing. Agr. Liliana E. Martínez (UNCUYO, Argentina)

Dr. Ferdinando Pimpini (Università degli Studi di Padova, Italia)

Ing. Agr. José Rodríguez (UNCUYO, Argentina)

Dr. José Roldán Cañas (Universidad de Córdoba, España)

Prof. Ing. Agr. Santiago Sarandón (Universidad Nacional de La Plata, Argentina)

M. Sc. Ing. Agr. Fabio Tacchini (UNCUYO, Argentina)

M. Sc. Ing. Agr. Rosana Vallone (UNCUYO, INTA, Argentina)

Coordinadora

Prof. Claudia Lépez

Diseño y autoedición

Dis. Gráfica Cintia Eliana Costa • Dis. Gráfica Brenda Rodriguez • Hugo Leonardo Fontes

Publicación diagramada en el
Centro de Ediciones Académicas
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad Nacional de Cuyo
Diciembre 2017

Tirada: 240 ejemplares



Se terminó de imprimir
el 31 de julio de 2016 en
Inca Editorial Talleres Gráficos
Cooperativa de Trabajo Ltda.
José Federico Moreno 2164/2188
5500 - Ciudad de Mendoza
República Argentina
Telefax (0261) 429 0409 - 425 9161
E-mail: incasterio@incaeditorial.com
www.incaeditorial.com

Impreso en Mendoza, Argentina
Printed in Mendoza, Argentina



Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad Nacional de Cuyo

Ref. N°

BIBLIOTECA

biblio@fca.uncu.edu.ar

Hemos recibido por We have received by Nous avons reçu par	CANJE EXCHANGE <input type="checkbox"/> ECHANGE	DONACIÓN GIFT <input type="checkbox"/> DONATION	SUSCRIPCIÓN SUBSCRIPTION <input type="checkbox"/> SOUSCRIPTION
REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Vol.: 49 N°: 2 Año: 2017			
Nos está faltando We are in want of Il nous manque			
Enviamos a ustedes We send you Nous envoyons			
Dirección correcta Correct address Adresse correcte			
Fecha Date Date		Firma Signature Signature	

Los envíos posteriores dependen de la devolución de esta tarjeta.
Further mailings depend on the return of this card.
Les expéditions ultérieures dépendent du renvoi de cette carte.

Solicitamos canje
Please exchange
Nous demandons l'échange

Papel reciclado
Recycled paper



REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PARA SUSCRIBIRSE, COMPLETAR ESTE FORMULARIO

TO SUBSCRIBE, COMPLETE THIS FORM

POUR FAIRE LA SOUSCRIPTION, COMPLÉTER CE FORMULAIRE

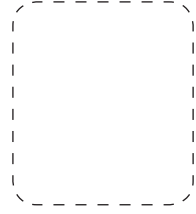
SUSCRIPCIÓN - SUBSCRIPTION - SOUSCRIPTION

Valor de la suscripción Suscripción price Valeur de la souscription	Un año (dos números) One year (two numbers) Un année (deux numéros)	u\$s 60.00
Nombre / Institución Name / Institution Nom / Institution		
Dirección Address Adresse		
Teléfono / Fax Telephone / Fax Telephone / Fax		
Cheque / Giro N° Check / Money Order N° Cheque / Change N°	Banco Bank Banque	
A la orden de To order A l'ordre	Asociación Cooperadora de la Facultad de Ciencias Agrarias Alte. Brown 500 (M5528AHB) - Chacras de Coria Mendoza - Argentina	
Fecha Date Date	Firma Signature Signature	

Papel reciclado
Recycled paper

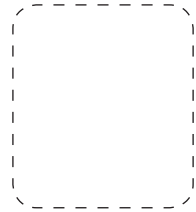


Tarjeta Postal
Post Card
Carte Postale



BIBLIOTECA
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad Nacional de Cuyo
Almirante Brown 500
Chacras de Coria, Mendoza
República Argentina
M5528AHB

Tarjeta Postal
Post Card
Carte Postale



BIBLIOTECA
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad Nacional de Cuyo
Almirante Brown 500
Chacras de Coria, Mendoza
República Argentina
M5528AHB

Revista
de la
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad Nacional de Cuyo



Ficha de Catalogación

(Escala: 1:1)

Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias.

-- T. 1, n° 1, 1949 -

Mendoza : Facultad de Ciencias Agrarias.

Universidad Nacional de Cuyo, 1949 -

v. : il; 24 cm

Semestral

ISSN 0370-4661

CDU 63

Consultas referidas a los artículos de la Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNCUYO), deben remitirse a:

Centro Coordinador de Ediciones Académicas (UNCUYO)
Almirante Brown 500
Chacras de Coria
Mendoza (Argentina)
M5528AHB

Tel: (54 261) 413-5000 - Int. 1220

e-mail: ccea@fca.uncu.edu.ar

web: <http://revista.fca.uncu.edu.ar>

<http://bdigital.uncu.edu.ar>

La correspondencia relacionada con la distribución y/o canje, debe dirigirse a:

Biblioteca de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNCUYO)
Almirante Brown 500
Chacras de Coria
Mendoza (Argentina)
M5528AHB

Tel.: (54 261) 413-5000 - Int. 1117

Fax: (54 261) 496-0469

e-mail: biblio@fca.uncu.edu.ar

El contenido de los artículos que aparecen en esta Revista es responsabilidad de sus autores.
Prohibida su reproducción total o parcial sin autorización del editor.

La Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo publica artículos originales e inéditos, escritos en español o inglés, cuya temática está relacionada con la ingeniería agronómica, ciencias de los alimentos y los recursos naturales renovables.

El material que se publica pertenece tanto a investigadores de la propia institución así como de otras facultades y centros de investigación del país y del extranjero.

La inserción de los artículos está sometida a las normas internacionales vigentes, con referato por parte de especialistas en cada disciplina.

La Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNCUYO está categorizada por el CAICYT (Centro Argentino de Información Científica y Tecnológica del CONICET) en el Nivel Superior de Excelencia (Categoría 1).

Esta publicación está indizada en:

LATINDEX

Bulletin de l'O.I.V. (Revue signalétique internationale)

VITIS-VEA (Viticulture and Enology Abstracts)

AGRIS - F.A.O.

CAB Abstracts

CABI Full Text

Ulrich's International Periodicals Directory

International Society for Pest Information (ISPI)

Fuente Académica de EBSCO

Agri2000 de SIDALC

Science Citation Index Expanded

Journal Citation Reports/Science Edition

Biological Abstracts

BIOSIS Previews

CABELLS

DOAJ (Directory of Open Access Journals)

REDALYC (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe)

Thomson Reuters (ex ISI)

Scopus & Embase

Núcleo Básico de Revistas Científicas Argentinas

SciELO Argentina

Evaluadores 2017

Laura Abraham - *UNCuyo*
Cristian Adasme Berríos - *UCatólica del Maule*
Diego Agnes - *UBA*
Ada Albanesi - *UNSE*
Marcelo Alberto - *UNCuyo*
Javier Alvarez - *INTA*
Nora Adrada - *USan Luis*
Pablo Asprelli - *UNCuyo*
Marcelo Assan - *UNCatamarca*
Mónica Aulicino - *UNLa Plata*
Oscar Ayala - *UNNE*
Noelia Bajales Luna - *CONICET*
Berta Baldi - *UNER*
Ernesto Barrera - *UBA*
Daniel Osvaldo Bedotti - *INTA*
Andrea Benedetto - *UNCuyo*
Adriana Bermejillo - *UNCuyo*
Carlos Biasutti - *UNCórdoba*
Joana Boiteux - *UNCuyo*
Graciela Boschetti - *UNEntre Ríos*
Rosa Bustos - *UNCuyo*
Gabriele Buttafuoco - *CNR - Instituto de Agricultura y Bosques de Sistemas en el Mediterráneo (ISAFOM) de Italia*
Roberto Candal - *UBA*
Fernando Carduza - *INTA*
Aníbal Catania - *INTA*
Gabriel Céccoli - *UNLitoral*
Teresa Cerrillo - *INTA*
María Laura Chiotta - *UNRío Cuarto*
Cristina Ciappini - *UTN Rosario*
Elsa Ciotti - *UNNE*
Valeria Corbalán - *IADIZA*
Graciela Corbino - *INTA*
Alberto Déboli - *UBA*
Alberto De Magistris - *UNLomas de Zamora*
Manuel Demaría - *INTA*
Alicia Duek - *INA*
Lorena Eliades - *UNLa Plata*
Delma Faccini - *UNRosario*
Andrés Fonterosa - *UBA*
Jorge Frana - *INTA*
Julio Gaviola - *INTA*
Laura María Giorda - *INTA*
Alberto Martín Gochez - *INTA*
Mirian del Pilar González - *UNRosario*
Silvina Greco - *UNCuyo*
Patricia Hashimoto - *UNLomas de Zamora*
Leticia Ithurrart - *UNSur*
Zein Kallas - *UPolitécnica de Catalunya*
Verónica Laborde - *Delegación Regional Técnica NEA de Parques Nacionales*
María Rosa Lanari - *INTA*
Melisa Lanza-Volpe - *INTA*
Raúl Lavado - *UBA*
Esteban Lavilla - *Instituto Miguel Lillo*
Dolores Lettelier - *UNCuyo*
Inés Lorello - *UNCuyo*
Mariana Martinelli - *INTA*
Laura Martínez - *INTA*
María Carolina Martínez - *INTA*
Fernando Medel - *UACH*
Mariel Mitidieri - *INTA*
Fernando Momo - *UNGeneral Sarmiento*
María Cristina Mondino - *INTA*
Federico Moreyra - *INTA*
Gustavo Nardon - *UBA*
Laura Noe - *UNCórdoba*
Miguel Antonio Ochoa - *INTA*
Ariel Odorizzi - *INTA*
Alfredo Ohanian - *UNRío Cuarto*
Diego Ortiz - *INTA*
Alejandro Pannunzio - *UBA*
Adriana Pazos - *INTA*
José Alberto Pedreros - *UConcepción de Chile*
Elena Pisani - *Universidad de Padova*
José Portela - *INTA*
Carlos Puertas - *INTA*
Cataldo Pulvento - *CNR-Istituto per i Sistemi Agricolie Forestali del Mediterraneo de Italia*
Cecilia Reborá - *UNCuyo*
José Abril Requena - *UPública de Navarra*
Nicolás Riera - *INTA*
Pedro Rimieri - *INASE*
David Rivero - *UNLa Pampa*
Diego Rodil - *INTA*
María Fabiana Rodríguez - *UNLomas de Zamora*
Catalina Romay - *UBA*
Héctor Rosatto - *UBA*
María de los Ángeles Ruiz - *INTA*
Ricardo Sager - *INTA*
Juan Carlos Salerno - *INTA*
Cristina Salgado - *UNNE*
Héctor Salgado - *UBA*
Carmen Sartor - *UNCuyo*
Carlos Schilardi - *UNCuyo*
Roberto Sopena - *INTA*
Pamela Texeira - *UBA*
Leonardo Togno - *INTA*
Javier Tonatto - *INTA*
Adriana Torres - *UNRío Cuarto*
Laura Torres - *CONICET*
Silvia Ulanovsky - *INTA*
Jorge Valdez - *INTA*
María Eugenia Van den Bosch - *INTA*
Luis Ventimiglia - *INTA*

Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo

TOMO 49(2) - DICIEMBRE 2017

ÍNDICE

GENÉTICA Y MEJORAMIENTO VEGETAL

- Identificación de QTL en las generaciones segregantes de un híbrido de segundo ciclo de tomate**
Identification of agronomic interesting QTL in the segregating generations of a tomato second cycle hybrid
Victoria Guadalupe Cabodevila, Paolo Cacchiarelli, Guillermo Raúl Pratta.....1

ECOFISIOLOGÍA Y MANEJO DE CULTIVOS

- Post-harvest nutritional and antioxidant profile of *Beta vulgaris* L. grown in low emission soilless microgarden system with organic and inorganic nutriment**
*Perfil nutricional y antioxidante post-cosecha de *Beta vulgaris* L. cultivada en microhuerto sin suelo de baja emisión con nutrientes orgánicos e inorgánicos*
Shaghef Ejaz, Karoline Maria Jezik, Muhammad Akbar Anjum, Christian Gosch, Heidrun Halbwirth, Karl Stich.....19

- Dinámica poblacional de tallos de pasto ovido (*Dactylis glomerata* L.) y ballico perenne (*Lolium perenne* L.) asociados con trébol blanco (*Trifolium repens* L.)**
*Population dynamics of orchard grass stalks (*Dactylis glomerata* L.) and perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) associated with white clover (*Trifolium repens* L.)*
Adelaido Rafael Rojas García, Alfonso Hernández Garay, Marco Antonio Rivas Jacobo, Sergio Iban Mendoza Pedroza, María de los Ángeles Maldonado Peralta, Santiago Joaquín Cancino.....35

- Sorghum (*Sorghum bicolor*) pollen availability and seed set under different proportion male:female plants in Mexican highlands**
*Disponibilidad de polen y producción de semilla en sorgo (*Sorghum bicolor*) bajo diferente proporción de plantas macho y hembra en valles altos de México*
María E. Cisneros-López, Alberto J. Valencia-Botín, Yokiushirdhilgilmara Estrada-Girón.....51

- Effect of harvesting time on seed quality of two bell pepper cultivars (*Capsicum annuum*)**
*Efecto del momento de cosecha sobre la calidad de semilla en dos cultivares de pimiento (*Capsicum annuum*) tipo cuatro cascós*
Mónica B. Ruiz, Carlos A. Parera.....67

- Análisis del crecimiento de tres líneas de cebada para producción de forraje, en el valle de México**
Growth analysis of three lines of barley for forage production, in the valley of Mexico
Claudia Yanet Wilson García, Alfonso Hernández Garay, María Esther Ortega Cerrilla, Cándido López Castañeda, Ricardo Bárcena Gama, José Luis Zaragoza Ramírez, Gilberto Aranda Osorio.....79

Influencia de la fertirrigación nitrogenada en la concentración de nitratos en el extracto celular de petiolo, el rendimiento y la calidad de tomate de invernadero

Nitrogen fertigation influence on nitrate concentration of nitrates on extract cellular of petiole, yield and quality of greenhouse tomato

Fidel Núñez-Ramírez, Raúl Leonel Grijalva-Contreras, Fabián Robles-Contreras, Rubén Macías- Duarte, María Isabel Escobosa-García, Jesús Santillano Cázares.....93

Aporte de nitrógeno proveniente de pollinaza al cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* L.)

Contribution of nitrogen from chicken manure to broccoli crop (Brassica oleracea L.)

Daniel Torres Nava, Engelberto Sandoval Castro, Juan José Peña-Cabriales, José Antonio Vera- Núñez.....105

Tifton 85 production under deficit irrigation

Efecto del riego deficitario sobre la producción de Tifton 85

(Nota Científica). Anita Cristina Costa da Silva, Luiz Antonio Lima, Willian Fernandes de Almeida, Michael Silveira Thebaldi, Antonio Carlos da Silva.....117

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Uso del Análisis Envolvente de Datos (DEA) para evaluar la eficiencia de riego en los Módulos del Distrito de Riego No. 041, Río Yaqui (Sonora, México)

Use of the Data Envelopment Analysis (DEA) to evaluate the efficiency of irrigation in the modules of the irrigation of District No. 041, Rio Yaqui (Sonora, Mexico)

Víctor Manuel Olmedo Vázquez, José Luis Minjares Lugo, Emilio Camacho Poyato, María Leticia Hernández Hernández, Juan Antonio Rodríguez Díaz.....127

Determinación de indicadores de gestión en los módulos del Distrito de Riego No. 041, Río Yaqui (Sonora, México)

Determination of management indicators on Irrigation Districts modules 041, Río Yaqui (Sonora, Mexico)

Víctor Manuel Olmedo Vázquez, Emilio Camacho Poyato, Juan Antonio Rodríguez Díaz, José Luis Minjares Lugo, María Leticia Hernández Hernández.....149

Techos verdes. Contribución de *Carpobrotus Acinaciformis* al manejo integrado de escurrimientos superficiales urbanos

*Green roofs. Contribution of *Carpobrotus Acinaciformis* to the integrated management of urban surface runoff*

Gustavo Ariel Villalba, Héctor Gustavo Rosatto, Fernando Bienvenido, Isabel María Flores-Parra, Guido Fernando Botta, Daniel Andrés Laureda, Damián Andrés Perez.....169

Are there any differences in carbon concentration among species of high conservation value forests in Northern Mexico?

¿Hay variaciones en la concentración de carbono entre especies de bosques de alto valor de conservación en el norte de México?

Diego Hernández-Vera, Marín Pompa-García, Christian Wehenkel, Gustavo Pérez-Verdín, Artemio Carrillo-Parra.....183

Efecto de gallinaza y biosólido en mezcla con turba europea para producción de plántulas de cucurbitáceas

Effect of poultry manure and biosolid mixed with European turbe for cucurbit seedling production (Nota Científica). Fernando de Jesús Carballo Méndez, Juan Carlos Rodríguez Ortiz, José Luis García Hernández, Jorge Alonso Alcalá Jáuregui, Pablo Preciado Rangel, Humberto Rodríguez Fuentes, Federico Villarreal Guerrero.....193

Perfil mineral en los pastizales de *Andropogon lateralis* y *Sorghastrum setosum* (Gramineae) en Corrientes, Argentina

*Mineral profile grassland of *Andropogon lateralis* and *Sorghastrum setosum* (Gramineae) in Corrientes, Argentina*
Aldo C. Bernardis, Roxana Villafaña, Roberto G. Pellerano, Eduardo Marchevky.....203

Labranza y fertilización como moduladores de la dinámica de comunidades microbianas asociadas a un cultivo de trigo en el sudeste bonaerense (Argentina)

Tillage and fertilization as modulators of the dynamics of microbial communities associated with a wheat crop of Southeast of Buenos Aires (Argentina)
Germán Ricardo Pérez, Pablo Andres Barbieri, Keren Hernandez Guijarro, Hernán Eduardo Echeverría, Fernanda Covacevich.....219

Rainfall in Azul and its relationship with the phenomenon el Niño Southern Oscillation (ENSO)

Precipitaciones en Azul y su relación con el fenómeno el Niño Oscilación Sur (ENOS)
Carlos Alberto Vilatte, Adriana Elisabet Confalone, Laura María Aguas.....235

ECONOMÍA Y POLÍTICA AGRARIA

"Country of origin" effect and ethnocentrism in food purchase in Southern Chile

Efecto "país de origen" y etnocentrismo en la compra de alimentos en el sur de Chile
Berta Schnettler, Mercedes Sánchez, Horacio Miranda, Ligia Orellana, José Sepúlveda, Marcos Mora, Germán Lobos, Clementina Hueche.....243

Importancia de los objetivos sociales, ambientales y económicos de los agricultores en la adopción de maíz mejorado en Chiapas, México

The importance of farmers' social, environmental and economic objectives in improved corn seeds adoption in Chiapas, México
Blanca Isabel Sánchez-Toledano, Zein Kallas, José María Gil.....269

EU-MERCOSUR trade agreement: finding winners products for Paraguay

Acuerdo comercial EU-MERCOSUR: identificando los productos ganadores del Paraguay
Víctor Enciso Cano, Manuela Castillo Quero, Tomás De Haro Giménez.....289

PROTECCIÓN VEGETAL

Fitotoxicidad de los extractos de *Dieffenbachia amoena*, *Nerium oleander*, *Raphanus sativus* y *Brassica napobrassica*

*Phytotoxicity of extracts of *Dieffenbachia amoena*, *Nerium oleander*, *Raphanus sativus* and *Brassica napobrassica**
María de los Ángeles Díaz-Mota, María Rosario García-Mateos, Juan Martínez-Solís, Marcelo Acosta-Ramos, Miguel Ángel Serrato-Cruz, María Teresa Colinas-León, Jesús Magdaleno-Villar.....303

PRODUCCIÓN Y SANIDAD ANIMAL

Distribución de los huevos de lepidópteros defoliadores (Lepidoptera: Noctuoidea) en plantas de soja y su relación con la fenología del cultivo

Distribution of the eggs of defoliating Lepidoptera (Noctuoidea) in soybean plants and its relation to crop phenology

Liliana Valverde, Eduardo Virla, Guido Van Nieuwenhove.....319

TECNOLOGÍAS AGROINDUSTRIALES

Influence of C/N ratio on productivity and the protein contents of *Pleurotus ostreatus* grown in different residue mixtures

*Influencia de la relación C/N sobre la productividad y contenido proteico del *Pleurotus ostreatus* cultivado en diferentes mezclas de residuos*

(Nota Científica). María Bernarda Ruilova Cueva, Aldo Hernández, Zulay Niño-Ruiz.....331

Nutritional and fermentative quality of maralfalfa (*Pennisetum* sp.) silages at different cutting ages and ground corn levels

*Calidad fermentativa y nutricional de ensilados de maralfalfa (*Pennisetum* sp.) a diferentes edades de corte y niveles de maíz molido*

Faviola Ortiz Robledo, Osvaldo Reyes Estrada, Francisco Oscar Carrete Carreón, Juan Fernando Sánchez Arroyo, Esperanza Herrera Torres, Manuel Murillo Ortiz y Rigoberto Rosales Serna.....345

Normas para la presentación de artículos.....355

Identificación de QTL en las generaciones segregantes de un híbrido de segundo ciclo de tomate

Identification of agronomic interesting QTL in the segregating generations of a tomato second cycle hybrid

Victoria Guadalupe Cabodevila ^{1,2}, Paolo Cacchiarelli ², Guillermo Raúl Pratta ^{1,2}

Originales: *Recepción*: 19/08/2015 - *Aceptación*: 28/05/2016

RESUMEN

El objetivo fue detectar QTL de interés agronómico en las generaciones segregantes (F_2 y retrocruzas) de un híbrido de segundo ciclo (HSC) de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), obtenido entre dos líneas endocriadas recombinantes derivadas del cruzamiento inter específico *S. lycopersicum* cv. Caimanta x *S. pimpinellifolium* LA 722. La caracterización molecular se hizo por marcadores AFLP mientras que los caracteres morfológicos analizados fueron peso, diámetro, altura, contenido en sólidos solubles, acidez, color, pH, forma, dureza y vida poscosecha de los frutos. Para identificar QTL, la asociación entre bandas polimórficas y caracteres cuantitativos con variancia genética significativa se realizó por el análisis de único punto. Con seis combinaciones de cebadores, seleccionadas por detectar elevado porcentaje de polimorfismo, se obtuvo 221 bandas de las cuales 135 (61,1%) fueron polimórficas. En la F_2 , 29 fragmentos polimórficos siguieron la distribución mendeliana esperada, identificándose un total de 28 QTL para todos los caracteres analizados. En las retrocruzas, 15 fragmentos polimórficos siguieron una segregación mendeliana 1:1 (detectándose en 12 de ellas un comportamiento *de novo*) y se identificó en total 13 QTL para los caracteres contenido en sólidos solubles, altura, peso y forma del fruto. Los AFLP permitieron identificar QTL de importancia agronómica en las generaciones segregantes del HSC de tomate.

Palabras clave

Solanum seccion Lycopersicon • mejoramiento genético vegetal • recursos fitogenéticos • calidad de fruto • vida poscosecha • biotecnología vegetal • loci de rasgos cuantitativos

1 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. gpratta@unr.edu.ar - gpratta@conicet.gov.ar

2 Cátedra de Genética, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario.

ABSTRACT

The objective was to detect QTL of agronomic interest in the segregating generations F_2 and backcrosses of a tomato (*Solanum lycopersicum* L.) second cycle hybrid (SCH) obtained between two recombinant inbred lines derived from the interspecific cross *S. lycopersicum* cv. Caimanta x *S. pimpinellifolium* LA 722. Molecular characterization was achieved by AFLP markers and agronomic traits under study were fruit weight, diameter, height, soluble solids content, acidity, color, pH, shape, firmness and post-harvest life. Single point analysis was applied to detect QTL, assessing the association of AFLP polymorphic bands and quantitative traits with significant genetic variance. Amplifications with six primers combinations, selected because of detecting high polymorphism percentage, 221 AFLP bands were obtained, and 135 (61.1%) of them were polymorphic in the tomato populations analyzed. In the F_2 population, 29 polymorphic fragments adjusted to the expected mendelian segregation and a total of 28 QTL were detected for all evaluated traits. In the backcross population, 15 polymorphic fragments adjusted to the expected mendelian proportion 1:1 (12 of these fragments showed a *de novo* pattern) and a total of 13 QTL were identified for the traits soluble solids content, height, weight and diameter. AFLP allowed to identify QTL of agronomic interest in the segregating generations of a tomato SCH.

Keywords

Solanum section *Lycopersicon* • plant breeding • plant genetic resources • fruit quality • post-harvest life • plant biotechnology • quantitative trait loci (QTL)

INTRODUCCIÓN

Durante la madurez del fruto de tomate (*Solanum lycopersicum*) se producen cambios fisiológicos y bioquímicos que conducen a la adquisición del color, textura, aroma y sabor requeridos para su consumo (9).

El mantenimiento de estas características durante el mayor tiempo posible amplía las posibilidades de comercialización especialmente cuando se destina al mercado para consumo en fresco (6).

La calidad puede definirse como la adecuación de un producto a las necesidades que se espera que brinde.

En tomate, es posible distinguir en calidad externa (relacionada con color, peso, tamaño, forma, apariencia, entre otros atributos) y calidad interna (17).

La decisión inicial de la compra por parte del consumidor se realiza sobre la base de los atributos externos del tomate que pueden ser percibidos por la vista y el tacto (color y forma) y la adquisición posterior dependerá de la evaluación que efectúa en el momento del consumo, en función del sabor, el aroma y la consistencia (14, 29).

En el caso particular de los tomates larga vida existentes en el mercado argentino, son variedades híbridas importadas que se lograron con las técnicas tradicionales de mejoramiento genético, incorporando a las variedades parentales los genes mutantes para la madurez. Estos híbridos tienen el inconveniente de ser medianamente aceptados

por el consumidor por las modificaciones en el color, el sabor, la textura y el aroma, y acarrear efectos negativos sobre caracteres de valor comercial (30).

Por otro lado, las plantas de tomate transgénicas producen frutos que retardan su proceso de madurez permaneciendo intactos por extensos períodos de tiempo. Esta metodología requiere gran inversión económica antes de obtener resultados y a la vez enfrenta una marcada resistencia por parte del consumidor para adquirir alimentos genéticamente modificados (17). Por esta razón, en el mercado argentino no existen tomates transgénicos (22).

Las especies emparentadas con *S. lycopersicum* han sido utilizadas para incorporar genes de resistencias a insectos, enfermedades y a condiciones ambientales adversas tales como sequía y/o salinidad (1). Estas especies también presentan variabilidad para las características de calidad de los frutos, como son el sabor, el aroma, la coloración y la textura.

En la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario, la Cátedra de Genética trabaja desde hace 20 años en la incorporación de genes de especies silvestres de tomate analizando su efecto sobre caracteres que confieren calidad al fruto.

Se ha demostrado que frutos de *S. lycopersicum* var. *cerasiforme* y *S. pimpinellifolium* tienen mayor vida poscosecha que las cultivares comerciales (35), siendo entonces posible aplicar el mejoramiento genético para aumentar tanto la calidad de los frutos como su vida poscosecha a través del uso de germoplasma silvestre (19).

Estos primeros resultados (26, 35) se obtuvieron a mediados de la década del '90, en un programa de selección divergente - antagónica para el peso y la vida poscosecha de los frutos a partir de la generación F_2 del cruzamiento entre la cultivar Caimanta

(*S. lycopersicum*) y una entrada de la especie silvestre *S. pimpinellifolium*, LA722. Este proceso permitió obtener 18 RIL (líneas endocriadas recombinantes) con diferencias significativas para diversos caracteres que hacen a la calidad de los frutos, obteniéndose genotipos aún superiores al progenitor silvestre para la vida poscosecha, lo que representa una segregación transgresiva (26). Estos antecedentes indican la posibilidad de detectar, en las diferentes generaciones segregantes del cruzamiento entre RIL, nuevas combinaciones genéticas entre los alelos favorables acumulados durante las generaciones de autofecundación y selección en las que dichas RIL se originaron. Tales combinaciones genéticas con efectos fenotípicos de importancia agronómica han sido descritas tanto en especies autóгамas (7) como alógamas (2).

En este trabajo, se analizó las generaciones F_2 y retrocruzas (BCs) de híbridos de segundo ciclo (HSC), es decir, cruzamientos entre RIL que ya fueron seleccionadas por sus cualidades y en las que hubo una eliminación importante de los genes menos favorables para el aprovechamiento del cultivo (5, 10, 23), ya que representan una población promisoría para realizar nueva selección y detección/validación de QTL (loci de caracteres cuantitativos) identificados en trabajos previos (24, 27, 28) mediante distintos tipos de marcadores moleculares, entre los que se destaca AFLP (polimorfismo en la longitud de los fragmentos amplificados).

La hipótesis a contrastar en este trabajo es que la recombinación de genes selectos en las generaciones segregantes de los cruzamientos entre RIL originadas por el programa de mejoramiento de tomate de la Cátedra de Genética, FCA-UNR, originó variabilidad para caracteres cuantitativos de interés agronómico.

La asociación entre la variación en los niveles genotípico y fenotípico es detectable por identificación de QTL mediante marcadores de AFLP.

Objetivo

Identificar QTL para caracteres de interés agronómico en tomate mediante la asociación entre la fenotipificación y la genotipificación por marcadores de AFLP de individuos pertenecientes a las F_2 y BCs de un HSC, a fin de valorar agronómicamente la nueva variación genética causada por la recombinación de genes selectos en las generaciones segregantes de los cruza-mientos entre RIL.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el Laboratorio de Biología Molecular y Cultivo *in vitro* de Tejidos Vegetales y en la Sección Horticultura del Campo Experimental "José F. Villarino", ubicados en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario (UNR), Zavalla, Santa Fe (33°1' S).

Los genotipos evaluados fueron dos RIL de tomate (ToUNR18 y ToUNR1), su F_1 ToUNR18 x ToUNR1 (HSC), la generación F_2 (obtenida por autofecundación del HSC) y las retrocruzas (BCs) hacia ambos progenitores, (BC1: F_1 (ToUNR18 x ToUNR1) x ToUNR18) y (BC2: (F_1 ToUNR18 x ToUNR1) x ToUNR1).

Como testigos experimentales se empleó a *S. lycopersicum* cv. Caimanta, *S. pimpinellifolium* LA722 y su híbrido interespecífico (F_1 Caimanta x LA722), genotipos de los cuales se derivaron las RIL.

S. lycopersicum cv. Caimanta fue provista por la Estación Experimental Agropecuaria de INTA Cerrillos, Salta, Argentina y *S. pimpinellifolium* LA722 fue

provista por el Tomato Genetic Resources Center, Department of Vegetable Crops, University of California at Davis, EEUU.

La cv. Caimanta tiene hábito de crecimiento determinado, frutos tipo platense (mayor diámetro que altura), de alto peso y corta vida poscosecha mientras que *S. pimpinellifolium* LA722 presenta hábito de crecimiento indeterminado, frutos esféricos (diámetro y altura similares), de bajo peso y relativamente larga vida poscosecha (26). El híbrido de segundo ciclo fue escogido a partir del análisis dialélico (15).

Los plantines ($N_{\text{Total}} = 260$) se obtuvieron en almácigos y el trasplante a invernadero se realizó a los 45 días de la siembra en un diseño completamente aleatorizado.

Cien plantas de la F_2 y 50 de cada BC se evaluaron junto a 10 plantas de cada genotipo uniforme (ambas RIL, el HSC y los testigos experimentales).

La distancia entre plantas fue de 35 cm y la distancia entre surcos de 1 m. Previo al trasplante se realizó una fertilización orgánica del suelo.

Las plantas fueron regadas dos veces por semana, cantidad suficiente para evitar el estrés hídrico durante el período de crecimiento.

En cada planta, sobre 10 frutos cosechados al estado *pintón* (10% de la superficie con coloración rojiza), que es el estado en el cual se detectan visualmente los primeros síntomas de acumulación de carotenoides (9), se evaluaron los siguientes caracteres: diámetro (en cm), altura (en cm), forma (cociente altura sobre diámetro), peso (en g) y vida poscosecha (en días transcurridos desde la cosecha hasta el inicio del ablandamiento del fruto).

Para evaluar este último carácter los frutos cosechados se almacenaron a $25 \pm 3^\circ\text{C}$ en una estantería, siguiendo la metodología propuesta por Schuelter *et al.* (2002).

En frutos cosechados al estado maduro, estado en el cual el fruto presenta más del 90% de su superficie con el color de madurez (9), se evaluó el contenido en sólidos solubles (en °Brix): porcentaje de glucosa más fructosa del jugo homogeneizado, medido con un refractómetro manual; la acidez: medida a través del pH del jugo homogeneizado y de la acidez titulable (en gramos de ácido cítrico/100 gramos de jugo homogeneizado) calculada a partir del volumen de NaOH 0,1N necesario para llevar a 8,1 el pH de 10g de jugo disueltos en 100ml de agua destilada; el color: a través del porcentaje de reflectancia (L) y el cociente a/b (a: absorbancia a 540nm y b: absorbancia a 675nm), determinados con un cromómetro CR 400; y la dureza: medida sobre el plano ecuatorial, en dos áreas opuestas del fruto con un durómetro tipo Shore A (Durofel DFT100) con una puntera de 0,10 cm².

El valor de los parámetros de color de las muestras se obtuvo promediando las medidas obtenidas de tres lecturas en la zona ecuatorial de cada fruto.

La dureza y el color del fruto se determinaron en cinco frutos por planta. Para el contenido en sólidos solubles, pH y acidez la unidad experimental fue la muestra de jugo obtenida de 3 a 8 frutos por genotipo dependiendo del tamaño del fruto, mientras que para los demás caracteres la unidad experimental fue el fruto.

Para cada carácter evaluado, se evaluó la normalidad de su distribución de frecuencias con el test de Shapiro-Wilk y se calculó las heredabilidades en sentido amplio (H^2) y en sentido estricto (h^2) y las correlaciones fenotípicas y genéticas entre cada par de caracteres (11).

La metodología para calcular la correlación genética no permite estimar su significado estadístico (25).

Para la extracción de ADN se tomó muestras de hojas jóvenes pertenecientes

a cada genotipo (uniformes y generaciones segregantes) y se usó un kit comercial siguiendo el protocolo recomendado por el fabricante del kit (Wizard® Genomic DNA Purification Kit, Promega).

Las muestras de ADN fueron cuantificadas en un gel de agarosa al 1%, teñido con SybrSafe®.

Para obtener los perfiles de AFLP, se siguió el protocolo general (3) con breves modificaciones descritas en Pratta *et al.* (2011). Las amplificaciones selectivas se hicieron con las 6 combinaciones de cebadores +3 seleccionadas por Cabodevila *et al.* (2013).

La separación de los fragmentos de amplificación se realizó en geles de poliacrilamida (6% p/v) a temperatura ambiente y la visualización mediante tinción con AgNO₃.

Los geles fueron analizados con el programa Gel-pro Analyzer®, asignándose un 1 a la presencia de una banda de AFLP y un 0 a la ausencia.

Cada banda fue identificada con un número y una letra, que correspondieron al tamaño molecular de la banda y a la codificación de la combinación, respectivamente.

Se determinó la cantidad de bandas totales, la cantidad de bandas polimórficas y el porcentaje de polimorfismo para los genotipos uniformes y las generaciones segregantes.

Para probar la segregación mendeliana de las bandas de AFLP, y debido a que se observó comportamientos *de novo* de acuerdo a Liberatti *et al.* (2013), con la prueba de bondad de ajuste del Chi-cuadrado se chequeó en la F₂ una proporción 3 : 1 para bandas polimórficas entre las RIL o *de novo* en F₂ con presencia o ausencia en al menos el 10% de los individuos, o una proporción 1 : 1 para las bandas con comportamientos *de novo* en el HSC. En las BC, se probó una proporción

1 : 1 independientemente del comportamiento de las bandas.

Para la identificación de QTL, la metodología indica que solo se analizan las generaciones segregantes, por lo que se volvió a estimar la normalidad de la distribución de los datos en estas generaciones.

La asociación entre las bandas de AFLP que mostraron una segregación mendeliana esperada con los caracteres de interés agronómico que tuvieron variabilidad genética (o H^2) significativa, se determinó a través del método de un solo punto (*single point analysis*, (32), aplicando un ANOVA a un criterio de clasificación para los caracteres con distribución normal, en el cual los diferentes marcadores fueron las fuentes de variación. Se estableció el valor de probabilidad de $p < 0,05$ como límite para definir las diferencias entre las medias de los caracteres según el marcador y se utilizó el valor de R^2 para estimar el porcentaje de variancia fenotípica total explicada para el QTL estudiado por cada marcador.

Para los QTL involucrados en la determinación de caracteres agronómicos que manifestaron diferencias entre los testigos experimentales (cv. Caimanta o LA722) y marcados por fragmentos polimórficos entre ellos, se analizó si mostraban el efecto esperado de acuerdo con el testigo que lo aportó. Por ejemplo, si la cv. Caimanta aportó una banda de AFLP asociada a peso, marcando la presencia de esa banda un mayor valor medio para este carácter en los individuos que la portan en una determinada generación segregante, entonces el efecto es el esperado.

Puede ocurrir que los individuos de la generación segregante porten esa banda pero manifiesten un valor medio bajo para peso; en este caso el efecto no es el esperado y algunos autores han dado a este hecho el nombre de variación críptica (1, 32).

Los fragmentos asociados a más de un carácter de interés agronómico fueron considerados como marcadores de QTL con efecto pleiotrópico (32).

Luego, se aplicó un ANOVA a dos criterios de clasificación con todas las combinaciones de marcadores con segregación independiente y asociados a un mismo carácter fenotípico para detectar las interacciones entre QTL con efecto significativo sobre la expresión del carácter analizado.

Para los caracteres que no presentaron distribución normal, se emplearon métodos no paramétricos para la detección de QTL (11).

RESULTADOS

Todos los caracteres evaluados mostraron una distribución normal cuando se consideró el conjunto total de los materiales analizados. Los valores medios y errores estándares de los caracteres evaluados se presentan en la tabla 1 (pág. 7), para todas las generaciones bajo estudio (segregantes, uniformes parentales y testigos experimentales), junto a los valores de H^2 y h^2 .

Para todos los caracteres se encontró variancia genética significativa, con valores de H^2 de medios a altos (tabla 1, pág. 7).

Para algunos caracteres, por ejemplo VP, pH y L, el componente aditivo de la variación genética fue nulo ($h^2 = 0$), lo que indica que toda la variancia genética fue de tipo no aditiva.

En la tabla 2 (pág. 8), se presentan las correlaciones fenotípicas (coeficientes de Pearson) y genéticas entre los caracteres analizados.

Tabla 1. Valores medios \pm error estándar y heredabilidades en sentido amplio y en sentido estricto para caracteres de interés agronómico en los genotipos uniformes y segregantes evaluados.

Table 1. Mean values \pm standard error and broad sense and narrow sense heritabilities for traits of agronomic interest in the uniform and segregant tomato generations evaluated in this research.

Carácter	Testigos experimentales				Genotipos parentales				Generaciones segregantes			
	Cai	Pimpi	F ₁ CxP	RIL18	RIL1	HSC	F ₂	BC1	BC2	H ²	h ²	
D	6,46 \pm 0,28	1,22 \pm 0,03	2,17 \pm 0,03	2,78 \pm 0,35	3,12 \pm 0,13	2,71 \pm 0,12	2,62 \pm 0,41	2,56 \pm 0,37	2,62 \pm 0,17	0,38	0,38	
A	3,99 \pm 0,14	1,13 \pm 0,02	2,02 \pm 0,03	3,08 \pm 0,17	2,83 \pm 0,11	2,59 \pm 0,12	2,64 \pm 0,43	2,83 \pm 0,43	2,45 \pm 0,14	0,33	0,33	
A/D	0,65 \pm 0,03	0,95 \pm 0,03	0,93 \pm 0,01	1,13 \pm 0,08	0,92 \pm 0,03	0,96 \pm 0,02	1,03 \pm 0,14	1,13 \pm 0,12	0,94 \pm 0,08	0,51	0,51	
Pe	97,8 \pm 11,1	1,2 \pm 0,2	6,2 \pm 0,2	13,7 \pm 4,4	17,2 \pm 1,7	13,1 \pm 1,9	11,0 \pm 4,5	12,1 \pm 3,7	10,9 \pm 1,4	0,42	0,42	
VP	8,0 \pm 0,6	15,3 \pm 0,1	16,4 \pm 0,4	14,0 \pm 1,2	14,2 \pm 1,5	14,3 \pm 0,9	18,3 \pm 4,5	19,0 \pm 8,1	18,6 \pm 5,5	0,34	0,00	
SS	7,52 \pm 0,03	7,25 \pm 0,35	8,73 \pm 0,08	6,04 \pm 0,04	7,14 \pm 0,22	7,38 \pm 0,17	7,31 \pm 1,28	7,89 \pm 0,85	8,68 \pm 0,77	0,92	0,92	
pH	4,79 \pm 0,03	4,83 \pm 0,06	4,76 \pm 0,04	4,84 \pm 0,03	4,78 \pm 0,02	5,04 \pm 0,06	4,83 \pm 0,23	4,98 \pm 0,17	4,98 \pm 0,27	0,82	0,00	
AT	0,26 \pm 0,01	0,91 \pm 0,03	0,43 \pm 0,01	0,25 \pm 0,01	0,73 \pm 0,01	0,32 \pm 0,01	0,31 \pm 0,11	0,29 \pm 0,07	0,35 \pm 0,11	0,98	0,00	
L	41,1 \pm 1,9	38,5 \pm 0,2	36,8 \pm 0,3	42,2 \pm 0,5	40,1 \pm 0,4	40,5 \pm 0,4	39,3 \pm 1,2	38,7 \pm 0,9	39,1 \pm 1,5	0,42	0,00	
a/b	0,94 \pm 0,04	1,42 \pm 0,02	1,34 \pm 0,03	1,07 \pm 0,03	1,09 \pm 0,04	1,08 \pm 0,04	1,14 \pm 0,11	1,15 \pm 0,08	1,15 \pm 0,11	0,37	0,00	
Du	35,9 \pm 3,5	65,6 \pm 1,4	49,3 \pm 2,0	55,1 \pm 2,7	53,6 \pm 2,6	49,0 \pm 2,6	56,8 \pm 5,8	56,1 \pm 5,8	54,0 \pm 5,5	0,48	0,00	

D: Diámetro (cm); A: Altura (cm); A/D: forma; Pe: Peso (g); VP: Vida Poscosecha del fruto (días); SS: contenido en Sólidos Solubles (° Brix); pH; AT: Acidez Titulable; L: porcentaje de reflectancia; a/b: cociente entre las absorbancias a longitudes de onda de 540 nm (a) y 675 nm (b); Du: Dureza. Cai: *Solanum lycopersicum* cv. Caimanta, Pimpi: *S. pimpinellifolium* LA722, F₁ CxP: híbrido interespecífico entre cv. Caimanta y LA722, RIL18: línea endocriada recombinante ToUNR18, RIL1: línea endocriada recombinante ToUNR1, HSC: híbrido de segundo ciclo entre ToUNR18 y ToUNR1, F₂: autofecundación del HSC (F1 ToUNR18 x ToUNR1), BC1: retrocruza de F₁ ToUNR18 x ToUNR1 hacia ToUNR18, BC2: retrocruza de F₁ ToUNR18 x ToUNR1 hacia ToUNR1, H²: heredabilidad en sentido amplio, h²: heredabilidad en sentido estricto. Para los cálculos de ambas heredabilidades, se consideró un valor significativo de p < 0,05.

D: Diameter (cm); A: Height (cm); A/D: Shape; Pe: Weight (g); VP: Postharvest life (days); SS: Soluble Solids Content (° Brix); pH; AT: Titratable Acidity; L: Reflectance percentage; a/b: ratio between absorbencies at 540 nm (a) and 675 nm (b) wavelengths; Du: firmness.

Cai: *Solanum lycopersicum* cv. Caimanta, Pimpi: *S. pimpinellifolium* LA722, F₁ CxP: interspecific hybrid among cv. Caimanta and LA722, RIL18: recombinant inbred line ToUNR18, RIL1: recombinant inbred line ToUNR1, HSC: second cycle hybrid among ToUNR18 and ToUNR1, F₂: selfing of HSC (F1 ToUNR18 x ToUNR1), BC1: backcross F₁ ToUNR18 x ToUNR1 to ToUNR18, BC2: backcross F₁ ToUNR18 x ToUNR1 to ToUNR1, H²: broad sense heritability, h²: narrow sense heritability. For calculating both heritabilities, a p-value < 0.05 was considered as statistically significant.

Tabla 2. Coeficientes de correlación fenotípica (correlación de Pearson) y coeficientes de correlación genética entre caracteres de interés agronómico en la generación segregante F₂ ToUNR18xToUNR1.

Table 2. Phenotypic correlation (Pearson correlation) and genetic correlation coefficients among traits of agronomic interest in the segregating generation F₂ ToUNR18xToUNR1.

	D	A	A/D	Pe	VP	SS	pH	AT	L	a/b	Du
D	0,84 **	-0,12 ns	0,95 **	0,18 ns	-0,24 *	0,07 ns	-0,27 *	-0,03 ns	-0,14 ns	-0,06 ns	
A	0,76	0,25 **	0,88 **	0,23 *	-0,29 **	0,12 ns	-0,37 **	-0,02 ns	-0,18 ns	-0,04 ns	
A/D	-0,15	0,36	0,01ns	0,10 ns	-0,16 ns	0,13 ns	-0,12 ns	0,07 ns	-0,12 ns	-0,01 ns	
Pe	0,89	0,76	0,09	0,20 *	-0,25 *	0,07 ns	-0,24 *	-0,02 ns	-0,17 ns	-0,04 ns	
VP	0,13	0,16	0,04	0,12	0,09ns	0,06 ns	-0,06 ns	-0,38 **	0,15 ns	0,05 ns	
SS	-0,32	-0,34	-0,25	-0,34	0,04	-0,02 ns	0,48 **	-0,32 **	0,48 **	-0,24 *	
pH	0,06	0,05	0,05	0,03	0,02	0,01	-0,57 **	-0,21 ns	0,01ns	-0,43 **	
AT	-0,35	-0,48	-0,16	-0,37	-0,08	0,37	-0,65	0,05 ns	0,35 **	0,10 ns	
L	0,02	0,01	0,02	-0,05	-0,51	-0,46	-0,34	0,01	-0,61 **	0,22 *	
a/b	-0,16	-0,19	-0,18	-0,19	0,09	0,33	0,00	0,21	-0,73	-0,12 ns	
Du	-0,12	-0,11	0,00	0,00	0,02	-0,31	-0,58	0,04	0,05	-0,17	

D: Diámetro (cm); A: Altura (cm); A/D: forma; Pe: Peso (g); VP: Vida Poscosecha del fruto (días); SS: contenido en Sólidos Solubles (° Brix); pH; AT: Acidez Titulable; L: porcentaje de reflectancia; a/b: cociente entre las absorbancias a longitudes de onda de 540 nm (a) y 675 nm (b); Du: Dureza. Coeficientes de correlación fenotípica: por encima de la diagonal principal, Coeficientes de correlación genética: por debajo de la diagonal principal. **; p < 0,01; *; p < 0,05; ns: no significativo.

D: Diameter (cm); A: Height (cm); A/D: Shape; Pe: Weight (g); VP: Postharvest life (days); SS: Soluble Solids Content (° Brix); pH; AT: Titratable Acidity; L: Reflectance percentage; a/b: ratio between absorbencies at 540 nm (a) and 675 nm (b) wavelengths; Du: firmness. Phenotypic correlation coefficients: above principal diagonal, Genetic correlation coefficients: below principal diagonal. **; p < 0,01; *; p < 0,05; ns: non significant.

Se observó en general una fuerte asociación entre ambas correlaciones respecto del signo, siendo la correlación genética menor a la fenotípica en todos los casos. Esto indica que la correlación ambiental actúa en el mismo sentido que la genética y, dado que como se mencionó anteriormente la metodología para calcular la correlación genética no permite estimar su significado estadístico, se consideró como significativas aquellas correlaciones genéticas estimadas a partir de coeficientes de Pearson significativos (tabla 2, pág. 8).

La caracterización molecular, se realizó utilizando seis combinaciones de cebadores de AFLP previamente seleccionadas por evidenciar elevado número de bandas y elevado porcentaje de polimorfismo (F, H, J, HH, II y JJ) (4).

En la F_2 , las amplificaciones de las seis combinaciones de cebadores revelaron un total de 110 bandas, de las cuales 68 (61,8%) resultaron ser polimórficas.

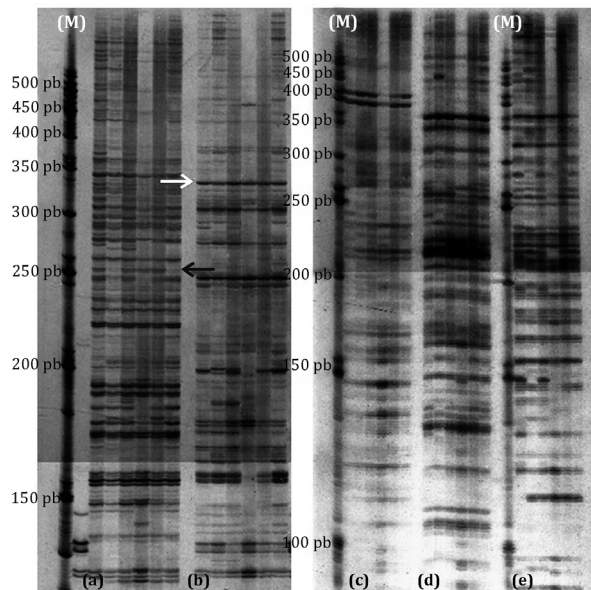
El número de fragmentos analizados fue de 29 para la combinación F, 12 para la combinación JJ, 18 para la combinación II, 24 para la combinación J, 14 para la combinación H y 13 para la combinación HH.

Tomando como referencia los perfiles de las RIL progenitoras (que se muestran junto a lo de los testigos en la figura 1, pág. 10) y por tratarse de una segregación F_2 , veintinueve (42,6%) de los 68 fragmentos analizados siguieron una distribución mendeliana de 3 : 1 (bandas polimórficas en las RIL o *de novo* en más del 10% de los individuos F_2) y 1 : 1 (bandas *de novo* en HSC), según se detalla a continuación: seis bandas en la combinación F: 363 (3 : 1), 351 (1 : 1), 283 (1 : 1), 249 (1 : 1), 246 (3 : 1), 230 (3 : 1); seis bandas en la combinación JJ: 496 (3 : 1), 468 (3 : 1), 452 (3 : 1), 144 (3 : 1), 189 (3 : 1), 213 (3 : 1); seis bandas en la combinación II: 435 (3 : 1), 282 (3 : 1), 236 (3 : 1), 232 (3 : 1),

183 (3 : 1), 159 (3 : 1); seis bandas en la combinación J: 359 (3 : 1), 315 (3 : 1), 277 (3 : 1), 271 (3 : 1), 184 (3 : 1), 177 (3 : 1); cinco bandas en la combinación H: 376 (1 : 1), 293 (1 : 1), 201 (3 : 1), 157 (3 : 1), 137 (3 : 1); ninguna banda en la combinación HH.

De las 24 bandas que ajustaron a la proporción mendeliana 3 : 1, ocho (33,3%) fueron bandas polimórficas entre las RIL progenitoras del HSC con el comportamiento esperado en la F_2 en tanto que 16 de ellas (66,7%) fueron bandas con comportamiento *de novo*, ya sea de presencia o de ausencia, en la F_2 con respecto a los genotipos uniformes de segundo ciclo (RIL y HSC).

En cuanto a las retrocruzas, las ampliificaciones de las seis combinaciones de cebadores revelaron un total de 111 bandas, de las cuales 67 (60,4%) resultaron ser polimórficas. El número de fragmentos analizados por combinación fue de: 27 para la combinación F, 28 para la combinación JJ, siete para la combinación II, 20 para la combinación J, 14 para la combinación H y 15 para la combinación HH. Quince (22,4%) de los 67 fragmentos siguieron la distribución mendeliana 1 : 1, independientemente de que provinieran de los padres o sean *de novo*, según se detalla a continuación: cinco bandas en la combinación F: 395, 388, 355, 217, 209; dos bandas en la combinación JJ: 140, 129; dos bandas en la combinación II: 307, 135; tres bandas en la combinación J: 277, 255, 179; tres bandas en la combinación H: 293, 202, 199; ninguna banda en la combinación HH. De las 15 bandas que ajustaron a la proporción 1 : 1, tres de ellas (20,0%) provenían de bandas polimórficas entre las RIL y el resto (80,0%) fueron *de novo* en el HSC o en BC.



En la imagen de la izquierda, la flecha negra señala un polimorfismo en la banda de 250 pb generada por la combinación (a), presente en el primer, tercer, cuarto y quinto genotipo y ausente en los restantes, en tanto que la flecha blanca señala una banda monomórfica 335 pb, presente en todos los genotipos.

In the left image, black arrow indicates a molecular polymorphism among genotypes in the 250 pb band generated by (a) primers' combination, which is present in the first, third, fourth and fifth genotypes but absent in the others. The white arrow indicates a monomorphic band of 335 pb, present in all the genotypes.

Figura 1. Sección de un gel de poli-acrilamida mostrando los perfiles de AFLP de los 6 genotipos uniformes analizados en este trabajo con las combinaciones de cebadores (a) J, (b) H, (c) HH, (d) II y (e) JJ. (M) Marcador de peso molecular (Cincuenta Marker®). Genotipos de izquierda a derecha: *S. lycopersicum* cv. Caimanta, *S. pimpinellifolium* LA722, F₁ Caimanta x LA722, ToUNR1, ToUNR18 y F₁ ToUNR18 x ToUNR1.

Figure 1. Section of a poly-acrylamid gel showing the AFLP patterns of the 6 uniform genotypes analyzed in this research with primers' combinations (a) J, (b) H, (c) HH, (d) II y (e) JJ. (M) Molecular weight marker (Cincuenta Marker®). Genotypes from left to right: *S. lycopersicum* cv. Caimanta, *S. pimpinellifolium* LA722, F₁ Caimanta x LA722, ToUNR1, ToUNR18 and F₁ ToUNR18 x ToUNR1.

Para la detección de QTL en las generaciones segregantes, todos los caracteres mostraron una distribución normal, con excepción de vida poscosecha, acidez y pH en la F₂ y diámetro y forma en las BC.

Los dos primeros caracteres y forma se transformaron mediante Log₁₀ y resultaron normales, en tanto que para pH y

diámetro no se encontraron transformaciones con sentido biológico que se ajusten a la normal por lo que se analizaron por la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. En las tabla 3, pág. 12 y tabla 4, pág. 13, se presenta la identificación de QTL en las generaciones segregantes F₂ y retrocruzas, respectivamente.

En la F_2 se detectó un total de 28 QTL ya que 18 (62,1%) de los 29 fragmentos polimórficos que ajustaron a una segregación 1 : 1 o 3 : 1 mostraron asociación con al menos un carácter fenotípico (tabla 3, pág. 12).

De los 18 fragmentos que mostraron asociación con al menos algún carácter, 14 de ellos (77,8%) provenían de bandas polimórficas entre RIL o *de novo* en F_2 que estuvieron presentes o ausentes en más del 10% de los individuos de esta generación segregante. Ocho de los 28 QTL detectados mostraron tener el efecto esperado de acuerdo con su procedencia desde los testigos experimentales, cuatro no mostraron el efecto esperado y en 16 no se pudo calcular el efecto ya que los fenotipos de la cv. Caimanta y la entrada LA722 no discreparon entre sí o bien los QTL estuvieron marcados por bandas *de novo*. En este experimento no se detectaron QTL para a/b.

Respecto de los QTL con efectos pleiotrópicos, en la tabla 3 (pág. 12), se observa que la banda 271J estuvo asociada a peso, diámetro y altura, y en todos los casos se observó el efecto esperado sobre el carácter fenotípico de acuerdo con su procedencia desde los genotipos uniformes. Del mismo modo, la banda 201H, que estuvo asociada a peso, diámetro y pH mostró el efecto esperado sobre los dos primeros caracteres, no calculándose para pH debido a que no existieron diferencias significativas entre los parentales de primer ciclo.

La banda 277J estuvo asociada a altura y dureza y en ambos casos no presentó el efecto esperado. La banda 249F, asociada a acidez y a sólidos solubles mostró un efecto esperado respecto del primer carácter; en relación con el segundo carácter, no se pudo calcular el efecto dado que, a diferencia de lo observado en otros experimentos, en este trabajo

no se encontraron diferencias entre la cv. Caimanta y la entrada LA722.

Otras bandas que manifestaron efectos pleiotrópicos fueron 435II (asociada a diámetro y altura), 232II (asociada a altura y forma), 293H (asociada a forma y dureza) y 283F (asociada a sólidos solubles y acidez), no pudiéndose cotejar sus efectos por tratarse de bandas que no diferían entre la cv. Caimanta y la entrada LA722.

Por otro lado, 21 pares de fragmentos segregaron de manera independiente y estuvieron asociados al mismo carácter, según el siguiente detalle: para peso, forma, vida poscosecha y dureza, un par; respectivamente (cuatro pares en total); para diámetro, siete pares; para altura, ocho pares y para pH, dos pares.

Los caracteres sólidos solubles y acidez no presentaron QTL marcados por pares de fragmentos que segregaron como independientes.

Con los pares de marcadores que segregaron de manera independiente se plantearon las posibles interacciones y en ninguno de los casos la interacción fue significativa.

Cabe aclarar que en el caso de pH, el método de Kruskal Wallis no permitió evaluar la interacción. Dado que una interacción significativa implica la existencia epistasis, en todos los casos, en que resultó no significativa, la interacción interloci predominante fue la aditividad.

En las retrocruzas, nueve (60,0%) de los 15 fragmentos polimórficos que ajustaron a una segregación 1 : 1 mostraron asociación con al menos un carácter fenotípico (tabla 4, pág. 13), detectándose en total 13 QTL. De los nueve fragmentos que mostraron asociación con al menos un carácter, dos de ellos (22,2%) provenían de bandas polimórficas en las RIL progenitoras, y el resto (77,8%) fueron *de novo* tanto en el HSC como en BCs.

Tabla 3. Identificación de QTL (*loci* de caracteres cuantitativos) en la generación segregante F₂ del híbrido de segundo ciclo de tomate F₁ ToUNR18 x ToUNR1 para caracteres de interés agronómico.

Table 3. Identification of QTL (quantitative trait *loci*) for trait of agronomic interest in the F₂ segregating generation of the tomato second cycle hybrid F₁ ToUNR18 x ToUNR1.

Carácter	Fragmento	Origen	p-value	R ²	Efecto del QTL	
					Presencia	Ausencia
Diámetro	271J	Ausente en RIL, P	0,020	0,09	2,35	2,64
	435II	Ausente <i>de novo</i> en F ₂	0,041	0,06	2,55	2,77
	201H	RIL18, C	0,007	0,11	2,68	2,41
	468JJ	Presente en RIL, P	0,017	0,09	2,35	2,64
	213JJ	RIL18, presente en C y P	0,026	0,08	2,64	2,36
Altura	277J	Ausente en RIL, C	0,040	0,07	2,46	2,71
	271J	Ausente en RIL, P	0,019	0,09	2,38	2,70
	435II	Ausente <i>de novo</i> en F ₂	0,008	0,11	2,59	2,90
	282II	RIL1, C	0,016	0,09	2,59	2,87
	236II	Presente en RIL, C	0,017	0,09	2,59	2,86
	232II	Ausente <i>de novo</i> en F ₂	0,029	0,07	2,60	2,85
Forma	232II	Ausente <i>de novo</i> en F ₂	0,026	0,08	1,01	1,07
	293H	Ausente <i>de novo</i> en RIL	0,024	0,08	1,00	1,05
Peso	271J	Ausente en RIL, P	0,029	0,08	8,50	11,44
	201H	RIL18, C	0,036	0,07	11,90	9,38
Vida poscosecha	183II	Ausente en RIL, C	0,001	0,15	16,07	19,75
	376H	Ausente <i>de novo</i> en RIL	0,007	0,11	20,56	17,71
Contenido en Sólidos Solubles	283F	Ausente <i>de novo</i> en F ₁ CxP	0,002	0,15	7,82	6,81
	249F	Ausente en RIL, P	0,001	0,18	7,79	6,79
	246F	Ausente <i>de novo</i> en RIL	0,009	0,11	7,62	6,68
pH	363F	Ausente <i>de novo</i> en RIL1	0,033	nc	4,78	4,90
	201H	RIL18, C	0,026	nc	4,85	4,74
	137H	Ausente <i>de novo</i> en F ₂	0,008	nc	4,84	4,69
Acidez Titulable	283F	Ausente <i>de novo</i> en F ₁ CxP	0,014	0,10	0,36	0,28
	249F	Ausente en RIL, P	0,045	0,07	0,35	0,28
L	359J	Ausente <i>de novo</i> en F ₂	0,012	0,10	39,25	40,22
Dureza	277J	Ausente en RIL, C	0,034	0,07	59,99	56,64
	293H	Ausente <i>de novo</i> en RIL	0,045	0,06	56,31	58,88

Donde:

Fragmento: banda de AFLP (polimorfismo en la longitud de los fragmentos amplificados) identificada según su peso (en pares de bases) y la combinación de cebadores con que fue generada.

Origen: indica qué progenitor del híbrido de segundo ciclo (HSC: F₁ ToUNR18 x ToUNR1) aportó el fragmento (RIL18: ToUNR18, RIL1: ToUNR1) y de qué testigo experimental proviene (C: *Solanum lycopersicum* cv. Caimanta, P: *S. pimpinellifolium* LA722, F₁ CxP: híbrido interespecífico entre cv. Caimanta y LA722). En caso de ser un fragmento *de novo*, se indica si es por presencia o por ausencia y en qué generación se detectó dicho comportamiento.

p-value: nivel de significado estadístico de cada QTL identificado.

R²: proporción de variancia fenotípica de cada carácter explicada por el QTL identificado; nc: no calculado debido a que ni pH ni ninguna transformación con sentido biológico presentaron distribución normal por lo que se aplicó el método no paramétrico de Kruskal-Wallis para identificar QTL asociado a este carácter.

Efecto del QTL: valores medios de los grupos de plantas determinados por la presencia y por la ausencia, respectivamente, del fragmento que identifica a cada QTL.

Where:

Fragmento: AFLP (amplified fragment length polymorphism) band identified according to its molecular weight (in base pairs) and the primers' combination that generated this band.

Origen: describes the second cycle hybrid's parent contributing the respective band (RIL18: ToUNR18, RIL1: ToUNR1) and the experimental tester that originally presented this band (C: *Solanum lycopersicum* cv. Caimanta, P: *S. pimpinellifolium* LA722, F₁ CxP: interspecific hybrid among cv. Caimanta and LA722). In the case of *de novo*

fragments, it is indicated if there is a *de novo* presence or *de novo* absence as well as in which generation such a *de novo* performance was firstly detected

p-value: statistically significance level of each identified QTL.

R²: proportion of the trait's phenotypic variance explained for each identified QTL; nc: non calculated because neither pH nor any transformation with biological meaning presented normal distribution. Hence the non parametric Kruskal-Wallis test was applied to identify QTL for this trait.

Tabla 4. Identificación de QTL (*loci* de caracteres cuantitativos) en las generaciones segregantes retrocruzas del híbrido de segundo ciclo de tomate F₁ ToUNR18 x ToUNR1 para caracteres de interés agronómico.

Table 4. Identification of QTL (quantitative trait *loci*) for trait of agronomic interest in the backcross segregating generation of the tomato second cycle hybrid F₁ ToUNR18 x ToUNR1.

Carácter	Fragmento	Origen	p-value	R ²	Efecto del QTL	
					Presencia	Ausencia
Altura	179J	RIL18, P	0,049	0,11	2,79	2,53
	355F	Ausente <i>de novo</i> en F ₁ CxP	0,046	0,13	2,86	2,57
	129JJ	Presente en RIL, C	0,007	0,20	2,81	2,48
Forma	179J	RIL18, P	0,014	0,17	1,08	0,98
	135II	Ausente <i>de novo</i> en BC	0,004	0,27	1,08	0,92
	217F	Presente <i>de novo</i> en HSC	0,001	0,35	1,16	0,98
	140JJ	Ausente <i>de novo</i> en RIL	0,003	0,24	1,10	0,96
	129JJ	Presente en RIL, C	0,001	0,39	1,11	0,94
Peso	395F	Ausente en RIL, C	0,037	0,15	10,84	13,52
Contenido en	199H	Ausente <i>de novo</i> en RIL1	0,022	0,31	8,67	7,82
	307II	Presente en RIL, C	0,041	0,21	7,88	8,61
Sólidos Solubles	217F	Presente <i>de novo</i> en HSC	0,027	0,21	7,63	8,55
	129JJ	Presente en RIL, C	0,025	0,18	7,86	8,63

Donde:

Fragmento: banda de AFLP (polimorfismo en la longitud de los fragmentos amplificados) identificada según su peso (en pares de bases) y la combinación de cebadores con que fue generada.

Origen: indica qué progenitor del Híbrido de Segundo Ciclo (HSC: F₁ ToUNR18 x ToUNR1) aportó el fragmento (RIL18: ToUNR18, RIL1: ToUNR1) y de qué testigo experimental proviene (C: *Solanum lycopersicum* cv. Caimanta, P: *S. pimpinellifolium* LA722, F₁ CxP: híbrido interespecífico entre cv. Caimanta y LA722). En caso de ser un fragmento *de*

novo, se indica si es por presencia o por ausencia y en qué generación se detectó dicho comportamiento. BC: retrocruza.

p-value: nivel de significado estadístico de cada QTL identificado.

R²: proporción de variancia fenotípica de cada carácter explicada por el QTL identificado.

Efecto del QTL: valores medios de los grupos de plantas determinados por la presencia y por la ausencia, respectivamente, del fragmento que identifica a cada QTL.

Donde:

Fragmento: AFLP (amplified fragment length polymorphism) band identified according to its molecular weight (in base pairs) and the primers' combination that generated this band.

Origen: describes the second cycle hybrid's parent contributing the respective band (RIL18: ToUNR18, RIL1: ToUNR1) and the experimental tester that originally presented this band (C: *Solanum lycopersicum* cv. Caimanta, P: *S. pimpinellifolium* LA722, F₁ CxP: interspecific hybrid among cv. Caimanta and LA722). In the case of *de novo* fragments, it is indicated if there

is a *de novo* presence or *de novo* absence as well as in which generation such a *de novo* performance was firstly detected. BC: backcross generation.

p-value: statistically significance level of each identified QTL.

R²: proportion of the trait's phenotypic variance explained for each identified QTL.

Efecto del QTL: mean values of each trait in the groups of BC plants determined by the presence and the absence of the AFLP band marking the corresponding QTL.

Dos de los 13 QTL mostraron el efecto esperado de acuerdo con los fenotipos de la cv. Caimanta y la entrada LA722, tres no mostraron el efecto esperado y en ocho de ellos no se pudo calcular el efecto, no existieron diferencias significativas entre los fenotipos de los parentales de primer ciclo o estuvieron marcados por bandas *de novo* (tabla 4, pág. 13).

La banda 129JJ estuvo asociada a altura, forma y sólidos solubles, teniendo el efecto esperado para el primer carácter, un efecto no esperado para el segundo y no pudiéndose detectar el efecto para sólidos solubles, no hubo diferencias entre la cv. Caimanta y la entrada LA722.

La banda 179J estuvo asociada a altura y forma. Para el primer carácter no se evidenció el efecto esperado, pero sí para forma.

La banda 217F (asociada a sólidos solubles y forma) también mostró pleiotropía pero no pudo cotejarse si sus efectos eran los esperados por tener un comportamiento *de novo* (tabla 4, pág. 13).

Finalmente, 10 pares de fragmentos asociados a un mismo carácter segregaron de manera independiente: cuatro pares para sólidos solubles y forma, respectivamente (ocho pares en total) y dos para altura. Al igual que en la generación F₂, ninguna interacción entre fragmentos resultó significativa.

DISCUSIÓN

Existen antecedentes (5, 7, 10) que proponen continuar el proceso de mejoramiento genético a partir de las generaciones segregantes de Híbridos de Segundo Ciclo.

En este trabajo, se verifica la presencia de valores fenotípicos de interés fitotécnico y la generación de variancia genética aditiva y no aditiva (tabla 1, pág. XXX) para caracteres de calidad de fruto en las generaciones F₂ y retrocruzas de la F₁ ToUNR18 x ToUNR1 (26), indicando que es posible detectar QTL en tales generaciones segregantes. Estas generaciones representan entonces una población base para iniciar un nuevo programa de mejoramiento que permita aprovechar las combinaciones genéticas originadas por selección y recombinación (12).

Las correlaciones genéticas significativas indican la existencia de ligamiento y/o efectos pleiotrópicos de las nuevas combinaciones genéticas originadas, ya que algunas asociaciones (como las existentes entre peso, diámetro y altura; tabla 2, pág. 8) han sido ampliamente informadas en tomate (18) pero otras, tales como las detectadas entre color, contenido en sólidos solubles y dureza, no se encuentran frecuentemente en la literatura científica.

En consecuencia, existirían poligenes ligados o que afectan simultáneamente ciertos grupos de caracteres, por lo que es esperable encontrar QTL con efectos pleiotrópicos para, como ejemplo, diámetro, altura y peso del fruto, o contenido en sólidos solubles y acidez titulable.

La posibilidad de usar eficientemente estas asociaciones depende del tipo de producto a lograr; a modo de ejemplo, la correlación genética entre dureza y contenido en sólidos solubles fue significativa y negativa, lo que podría ser desventajoso para un fruto destinado a consumo en fresco (6).

Los programas de mejoramiento genético pueden ser apoyados por herramientas biotecnológicas para incrementar la eficiencia de la selección (18).

Como antecedentes directos de este trabajo, la técnica de AFLP fue utilizada por Pratta *et al.* (2011), para caracterizar a la cv. Caimanta y la entrada LA722, la generación F_1 y las líneas endocriadas recombinantes derivadas de su cruzamiento, logrando la identificación de marcadores moleculares asociados al peso, la forma, el contenido en sólidos solubles, la acidez, el color, la dureza y la vida poscosecha de los frutos.

Con el fin de continuar avanzando en el estudio del aporte de los genes de origen silvestre para mejorar los frutos de tomate y detectar las nuevas combinaciones genéticas que pudieran haber ocurrido entre los genomas involucrados en este cruzamiento interespecífico, en la presente investigación se estudiaron las generaciones segregantes de dos de esas RIL.

Se detectó efectivamente una amplia recombinación y rearrreglo de genes durante las generaciones de autofecundación ocurridas tanto durante el proceso de selección antagónica-divergente como en el Híbrido de Segundo Ciclo F_1 ToUNR18 x ToUNR1. Esto se verifica en la gran proporción de bandas *de novo* detectadas en

los genotipos analizados, tanto de presencia como de ausencia y conforme a lo observado por algunos autores, tanto en tomate como en otros cultivos (8, 12, 31, 33).

En este experimento, y como se puede observar en la figura 1 (pág. XXX), los resultados indican que en el genoma de la F_1 ToUNR18 x ToUNR1, híbrido de segundo ciclo, se restituirían muchas de las combinaciones de *loci* que en las RIL derivadas del cruzamiento interespecífico *S. lycopersicum* x *S. pimpinellifolium* se habían perdido probablemente por la homocigosis generada en las sucesivas generaciones de autofecundación. De hecho, para una alta proporción de bandas *de novo* detectadas en esta F_1 , su comportamiento correspondió a lo observado en el grupo de los testigos experimentales.

Luego, en las las generaciones segregantes, la caracterización molecular evidenció un alto porcentaje de segregación distorsionada (mayor al 65%), lo que coincide con resultados informados en la bibliografía, en tomate y otros cultivos (13, 21, 34).

Principalmente, fue posible identificar QTL robustos dada la asociación entre los marcadores moleculares con segregación mendeliana y los caracteres de interés agronómico, existiendo notables diferencias en las bandas de AFLP que marcaron QTL en la F_2 y en las retrocruzas (tabla 3, pág. 12 y tabla 4, pág. 13). Estas diferencias pueden deberse al diferente número de individuos utilizado en cada caso, lo cual sería una desviación meramente estadística, o bien a causas genéticas tales como la diferente proporción de genoma de cada padre que ellas presentan o la diferente composición genotípica de cada una de ellas (20).

Sin embargo, en ambas generaciones los QTL identificados son lógicos en relación con el número, magnitud del efecto esperado, pleiotropía y proporción de variación fenotípica que se detectaron en este experimento, teniendo en

cuenta resultados previos del grupo de investigación (20, 21, 24, 27, 28) y de otros autores en tomate (6). De hecho, todos los efectos pleitrópicos observados para ciertos QTL verifican las correlaciones genéticas detectadas en la evaluación fenotípica.

La detección de QTL con efectos no esperados respecto de lo observado en los materiales a partir de los cuales se generaron las RIL progenitoras del HSC confirman la existencia de variación críptica (presencia en determinados genotipos de alelos con efectos diferentes al fenotipo que manifiestan, (1, 32).

Por otro lado, la imposibilidad de calcular los efectos esperados o no esperados de un QTL en aquellos casos en que se encontró un polimorfismo molecular *de novo* o una apertura de la variancia genética en las generaciones segregantes del HSC, es decir, una variancia genética significativa para caracteres que no discrepan entre los testigos experimentales, concuerda con la ocurrencia de reorganizaciones genómicas con efectos sobre la expresión fenotípica (12, 31, 34).

Finalmente, dado que todas las interacciones entre QTL fueron no significativas, se detectó ausencia de

epistasia en la determinación de los caracteres de interés agronómico evaluados (16).

En consecuencia, todas las interacciones correspondieron a aditividad interloci, siendo entonces posible explotar el efecto de dichas interacciones en un programa de mejoramiento genético por selección artificial (11).

CONCLUSIONES

El uso de AFLP permitió detectar un amplio polimorfismo molecular, pudiendo así comparar la variabilidad que existe entre las diferentes poblaciones de tomate analizadas.

El análisis de asociación llevado a cabo en las generaciones segregantes del Híbrido de Segundo Ciclo detectó QTL para todos los caracteres con excepción de a/b.

El estudio molecular y fenotípico utilizando marcadores moleculares como los AFLP en Híbridos de Segundo Ciclo y sus generaciones segregantes fue capaz de detectar nuevas combinaciones genéticas que poseen gran relevancia en el mejoramiento de los caracteres de importancia agronómica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aflitos, S.; Schijlen, E.; de Jong, H.; de Ridder, D.; Smit, S.; Finkers, R.; Wang, J.; Zhang, G.; Li, N.; Mao, L.; Bakker, F.; Dirks, R.; Breit, T.; Gravendeel, B.; Huits, H.; Struss, D.; Swanson-Wagner, R.; van Leeuwen, H.; van Ham, R.C.H.J.; Fito, L.; Guignier, L.; Sevilla, M.; Ellu, P.; Ganko, E.; Kapu, A.; Reclus, E.; de Geus, B.; van de Geest, H.; Lintel Hekkert, B.; van Haarst, J.; Smits, L.; Koops, A.; Sanchez-Perez, G.; van Heusden, A.W.; Visser, R.; Quan, Z.; Min, J.; Liao, L.; Wang, X.; Wang, G.; Yue, Z.; Yang, X.; Xu, N.; Schranz, E.; Smets, E.; Vos, E.; Rauwerda, J.; Ursem, R.; Schuit, C.; Kerns, M.; van den Berg, J.; Vriezen, J.; Janssen, A.; Datema, E.; Jahrman, T.; Moquet, F.; Bonnet, J.; Peters, S. 2014. Exploring genetic variation in the tomato (*Solanum* section *Lycopersicon*) clade by whole-genome sequencing. *The Plant Journal*. 80: 136-148.
2. Babic, M.; Bauer, I.; Babic, V.; Filipovic, M.; Andjelkovic, V. 2009. Genetic divergence of different temporal cycles of selection. *Maydica*. 54: 221-228.

3. Blears, M.; De Grandis, S.; Lee, H.; Trevors, J. 1998. Amplified Fragment Length Polymorphism (AFLP): a review of the procedure and its applications. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 21: 99-114.
4. Cabodevilla, V. G.; Cacchiarelli, P.; Pratta, G. 2013 AFLP characterization of uniform tomato genotypes and selection of primers that maximize the molecular polymorphism. *Biocell* 37: A94. Abs. 47.
5. De Toledo, J.; Pooni, H.; Jinks J. 1984. Predicting the properties of second cycle hybrids produced by intercrossing random samples of recombinant inbred lines. *Heredity*. 53: 283-292.
6. Díez, M. J.; Nuez, F. 2008. Tomato. In *Handbook of plant breeding. Vegetables II* (ed. by J. Prohens, F. Nuez; M. J. Carena). Springer, New York. p. 249-323.
7. Ferraz de Toledo, J. 1987. Predicting the inbreeding and the outcrossing potential of soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill) varieties. *Brazilian Journal of Genetics*. 10: 543-558.
8. Gaeta, R. T.; Pires, J. C.; Iniguez-Luy, F.; Leon, E.; Osborn, T. C. 2007. Genomic changes in resynthesized *Brassica napus* and their effect on gene expression and phenotype. *The Plant Cell*. 19: 3403-3417.
9. Giovannoni, J. 2004. Genetic regulation of fruit development and ripening. *The Plant Cell*. 16: 170-180.
10. Ipsilandis, C. G.; Totaklidis, I. S.; Vafias, V.; Stefanis, D. 2006. Criteria for developing second-cycle hybrids in maize. *Asian Journal of Plant Science*. 5: 680-685.
11. Kearsy, M.; Pooni, H. 1996. *The genetical analysis of quantitative traits*. Chapman and Hall. Great Britain.
12. Liberatti, D. R.; Rodríguez, G. R.; Zorzoli, R.; Pratta, G. R. 2013. Tomato second cycle hybrids differ from their parents at three levels of genetic variation. *International Journal of Plant Breeding*. 7: 1-6.
13. Liu, X.; You, J.; Guo, L.; Liu, X.; He, Y.; Yuan, J.; Liu, G. 2011. Genetic analysis of segregation distortion of SSR markers in F2 population of barley. *Journal of Agricultural Science*. 3: 172-177.
14. López-Camelo, A.; Gómez P.; Artes F. 2003. Use of a* and b* colour parameters to assess the effect of some growth regulators on carotenoid biosynthesis during postharvest tomato ripening. *Acta Horticulturae*. 599: 305-308.
15. Marchionni Basté, E.; Liberatti, D. R.; Mahuad, S. L.; Rodríguez, G. R.; Pratta, G. R.; Zorzoli, R.; Picardi, L. A. 2010. Diallel analysis for fruit traits among tomato recombinant inbred lines derived from an interspecific cross *Solanum lycopersicum* x *S. pimpinellifolium*. *Journal of Applied Horticulture*. 15: 245-367.
16. Matos Andrade, T.; Lasmar, A.; Maluf, W. R.; Gomes, L. A. A.; de Sousa Gonçalves, R. J.; Blank, A. F. 2015. Gene action associated with heterosis expression in scarlet eggplant (*Solanum gilo* Raddi.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 47(1): 19-31.
17. Meli, V. S.; Ghosh, S.; Parva, T. N.; Chakraborty, S.; Datta, A. 2014. Enhancement of fruit shelf life by suppressing N-glycan processing enzymes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 107: 2413-2418.
18. Menda, N.; Strickler, S.R.; Edwards, J.D.; Bombarely, A.; Dunham, D. M.; Martin, G. B.; Mejia, L.; Hutton, S. F.; Havey, M. J.; Maxwell D. J.; Mueller, L. A. 2014. Analysis of wild-species introgressions in tomato inbreds uncovers ancestral origins *BMC Plant Biology*. 14: 287 14:287.
19. Pereira da Costa, J. H.; Martínez, V. A.; Rodríguez, G. R.; Pratta, G. R.; Zorzoli, R. 2009. Influencia de genes exóticos sobre la vida en estantería y el peso del fruto de tomate. *Agriscientia*. 25: 7-13.
20. Pereira da Costa, J. H.; Rodríguez, G. R.; Pratta, G. R.; Picardi, L. A.; Zorzoli, R. 2013. QTL detection for fruit shelf life and quality traits across tomato segregating populations in tomato. *Scientia Horticulturae*. 156: 47-53.
21. Pereira da Costa, J. H.; Rodríguez, G. R.; Pratta, G. R.; Picardi, L. A.; Zorzoli, R. 2014. Pericarp polypeptides and SRAP markers associated with fruit quality traits in an interspecific tomato backcross. *Genetics and Molecular Research*. 13: 2539-2547.

22. Picardi, L. A., Zorzoli, R.; Pratta, G. R.; Rodríguez, G. R.; Nestares, G. M. 2011. Aportes de la Cátedra de Genética de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNR a la problemática del mejoramiento ovino, la calidad del fruto en el tomate y la resistencia a herbicidas. *Basic and Applied Genetics*. 22: 1-5.
23. Pooni, H. S.; Jinks, J. L. 1985. Predicting the properties of first cycle inbreds and second cycle hybrids extractable from two, three and four parent crosses. *Heredity*. 54: 397-411.
24. Pratta, G. R.; Rodríguez, G. R.; Zorzoli, R.; Valle, E. M.; Picardi, L. A. 2011. Phenotypic and molecular characterization of selected tomato recombinant inbred lines derived from a cross *Solanum lycopersicum* x *S. pimpinellifolium*. *Journal of Genetics*. 90: 229-237.
25. Robertson, A. 1959. The sampling variance of the genetic correlation coefficient. *Biometrics*. 15: 469-485.
26. Rodríguez, G. R.; Pratta, G. R.; Zorzoli, R.; Picardi, L. A. 2006. Evaluación de caracteres de planta y fruto en líneas recombinantes endocriadas de tomate. *Ciencia e Investigación Agraria*. 33: 127-135.
27. Rodríguez, G. R.; Sequin, L.; Pratta, G. R.; Zorzoli, R.; Picardi, L. A. 2008. Protein profiling in F₁ and F₂ generations of two tomato genotypes differing in ripening time. *Biologia Plantarum*. 52: 548-552.
28. Rodríguez, G. R.; Pereira da Costa, J. H.; Tomat, D. D.; Pratta, G. R.; Zorzoli, R.; Picardi, L. A. 2011. Pericarp total protein profiles as molecular markers of tomato fruit quality traits in two segregating populations. *Scientia Horticulturae*. 130: 60-66.
29. Schnettler, B.; Pihán, R.; Valdevenito, A.; Miranda, H.; Lobos, G.; Grunert, K. G. 2015. Acceptance of a vegetable with designation of origin in two cities in southern Chile. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(1): 173-191.
30. Schuelter, A. R.; Finger, F. L.; Casali, V. W. D.; Brommonschenkel, S. H.; Otoni, W. C. 2002. Inheritance and genetic linkage analysis of a firm-ripening tomato mutant. *Plant Breeding*. 121: 338-342.
31. Shaked, H.; Kashkush, K.; Ozkan, H.; Feldman, M.; Levy, A. A. 2001 Sequence elimination and cytosine methylation are rapid and reproducible responses of the genome to wide hybridization and allopolyploidy in wheat. *The Plant Cell*. 13: 1749-1759.
32. Tanksley, S. D. 1993. Mapping polygenes. *Annual Review of Genetics*. 27: 205-233.
33. Wang, Y. M.; Dong, Z. Y.; Zhang, Z. J.; Lin, X. Y.; Shen, Y.; Zhou, D.; Liu, B. 2005. Extensive *de novo* genomic variation in rice induced by introgression from wild rice (*Zizania latifolia* Griseb.). *Genetics*. 170: 1945-1956.
34. Zhao, B.; Deng, Q. M.; Zhang, Q. J.; Li, J. Q.; Ye, S. P.; Liang, Y. S.; Peng, Y.; Li, P. 2006. Analysis of segregation distortion of molecular markers in F₂ population of rice. *Acta Genetica Sinica*. 33: 449-457.
35. Zorzoli, R.; Pratta, G.; Picardi, L. A. 2001. Variabilidad genética para la vida poscosecha y el peso de los frutos en tomate para familias F₃ de un híbrido interespecífico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 35: 2423-2427.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas por financiar esta investigación a través del PIP N° 114 201001 00082.

Post-harvest nutritional and antioxidant profile of *Beta vulgaris* L. grown in low emission soilless microgarden system with organic and inorganic nutriments

Perfil nutricional y antioxidante post-cosecha de *Beta vulgaris* L. cultivada en microhuerto sin suelo de baja emisión con nutrientes orgánicos e inorgánicos

Shaghef Ejaz ^{1,2}, Karoline Maria Jezik ¹, Muhammad Akbar Anjum ², Christian Gosch ³, Heidrun Halbwirth ³, Karl Stich ³

Originales: *Recepción:* 05/04/2016 - *Aceptación:* 27/03/2017

ABSTRACT

Beetroot was grown in an open soilless cultivation system with nutrition supplied by organic and inorganic sources. This low emission system was tested for microgardening high quality red beets with high water use efficiency and less pollutant emission in the environs. For this purpose, a pot experiment was planned according to completely randomized design. For inorganically grown red beets, peat moss was combined with 150, 200 and 250 ppm NH_4NO_3 , whereas for organic red beets, peat moss was amended with compost having nitrogen equivalent to the mentioned NH_4NO_3 concentrations. Rosette and roots were analysed for fresh and dry biomass. Nitrate content, total soluble solids, titratable acidity, ripening index, ascorbic acid, betacyanins, flavonols and antioxidant capacity were assessed as beetroot quality attributes. Combination of peat moss with NH_4NO_3 showed comparatively lower fresh plant biomass, fresh and dry biomasses of rosette and root, and root to rosette ratio. However, enhanced antioxidant activity and bioaccumulation of ascorbic acid, total soluble solids, betacyanins, flavonols and reduced titratable acids, resulting in higher ripening index and good quality were observed in peat moss combined NH_4NO_3 treated beetroots. Overall, combination of peat moss with NH_4NO_3 led to higher nutritional and antioxidant quality of red beet plants.

Keywords

beetroot • *Beta vulgaris* • compost • organic growing medium • red beet • soilless culture • substrate • sphagnum peat moss • organic agriculture

-
- 1 Division of Vegetables and Ornamentals, Department of Crop Sciences, University of Natural Resources and Life Sciences, A-1180 Vienna, Austria. shaghef.ejaz@bzu.edu.pk
 - 2 Department of Horticulture, Faculty of Agricultural Sciences and Technology, Bahauddin Zakariya University, Multan (60800), Pakistan.
 - 3 Institute of Chemical Engineering, University of Technology, A-1060 Vienna, Austria.

RESUMEN

La remolacha se cultivó en un sistema de cultivo abierto sin suelo con nutrición suministrada por fuentes orgánicas e inorgánicas. Este sistema de baja emisión fue probado para la microhorticultura de remolachas rojas de alta calidad con una eficiencia alta de uso de agua y menor emisión de contaminantes a los alrededores. Con esta finalidad se planificó un experimento en macetas de acuerdo con un diseño completamente al azar. Para las remolachas rojas cultivadas inorgánicamente se combinó musgo de turbera con 150, 200 y 250 ppm de NH_4NO_3 , mientras que para las orgánicas se adecuó el musgo de turbera con compost con un contenido de nitrógeno equivalente a las concentraciones de NH_4NO_3 mencionadas. Se analizó el contenido de biomasa fresca y seca de la roseta y de la raíz. El contenido de nitratos, los sólidos solubles totales, la acidez titulable, el índice de maduración, el ácido ascórbico, las betacianinas, los flavonoles y la capacidad antioxidante se evaluaron como atributos de calidad de la remolacha. La combinación de musgo de turbera con NH_4NO_3 mostró valores comparativamente más bajos de biomasa fresca de planta, de biomasa fresca y seca de roseta y raíz, y de relación raíz-roseta. Sin embargo, también se observaron valores más altos de actividad antioxidante y bioacumulación de ácido ascórbico, sólidos solubles totales, betacianinas, flavonoles y menos ácidos titulables, lo que resultó en un mayor índice de maduración y buena calidad. En general, la combinación de musgo de turbera con NH_4NO_3 condujo a una mayor calidad nutricional y antioxidante de las plantas de remolacha roja.

Palabras clave

remolacha • *Beta vulgaris* • compost • medio de cultivo orgánico • remolacha roja • cultivo sin suelo • sustrato • musgo de turbera sphagnum • agricultura orgánica

INTRODUCTION

Owing to the extensive use of synthetic chemicals in crop production, soil and underground water can get contaminated to sub-standard levels that might not be suitable for livestock and human consumption (1, 15). For example, drinking water high in nitrate content may cause methaemoglobinaemia (impairment of oxygen delivery to tissue) in infants and could be a possible cause of stomach cancer (16). Therefore, strict usage regulations aiming at the reduction of emissions of nutrients and pesticides to soil and groundwater have been introduced in Europe and many developed countries (23).

To overcome pollution problem in agriculture, soilless cultivation not only provides control over water and nutrient use efficiency but also prevents chemicals and pathogen transmitting from growing system to soil or backward (22). It is an innovative production system that is extensively used in protected horticulture. For soilless production, interest is increasing worldwide generally for private growing and particularly in urban areas where people do not have access to agriculture land (26). In urban areas, exploitation of small areas such as balconies, roofs, backyards, public areas and small gardens to grow herbs,

vegetables and flowers allows self-supply to some extent and significantly improve the nutritional quality of food. Such cultivation is often performed at sub-optimal climatic conditions and requires a particularly specialized and optimized management of nutrients when no natural soil of sufficient quality is available. This requires carefully composed substrates or combinations of substrates with continuous provision of nutrient solutions (21). The aim is to provide simple, low-budget and easy to manage solutions for soilless culture technology adapted for the resources-poor urban families. This technology is known as "microgarden systems" (6).

The major ingredients in soilless production or container culture include compost, sphagnum peat moss, perlite, and vermiculite. Among these, compost and sphagnum peat moss are extensively used in organic and soilless farming equally. Rhizosphere ecology such as population shift among microorganism species is largely dependent on organic matter in the growing medium (19). Compost improves soil tilth, provides a blend of nutrients and affects growth and yield of vegetables (4, 8). It prevents some of the diseases by stimulating beneficial microbial growth (29). Similarly, sphagnum peat moss is a recognized growing medium for nursery plants and greenhouse cultivation with high water holding capacity, cation exchange capacity and capillary porosity. These characteristics hugely contribute to the plant growth and make it an excellent growing medium (29). Hence, soilless cultivation could be utilized in microgardening to grow nutritious and chemical free vegetables such as beetroot.

Beetroot (*Beta vulgaris* L.), commonly referred as red beet, is a good source of fibre, mineral components, folic acid,

phenolic compounds and betacyanin pigments. Dietary nitrate administered in the form of red beet juice decreases resting systolic blood pressure and O₂ consumption during walking and exercises (13). The red beet juice delivers a high amount of bio-accessible antioxidants and may be a cost effective and convenient method of increasing antioxidant status (27). However, beneficial effects of red beet could be compromised if grown with unmanaged irrigation and nutrients systems.

The objective of the study was to set a trial for soilless production in containers, to develop a nutrient system consisting of various combinations of organic and inorganic nutrients, which is independent from the continuous supply of nutrient solutions and to measure its efficiency in the form of production and quality of root vegetable red beet.

MATERIALS AND METHODS

Development of low emission microgarden system and experimental plan

The study was carried out at the University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Austria. A low emission soilless microgarden system based on container cultivation was developed for growing red beets at polyhouse in Universität für Bodenkultur, Vienna. Seeds of red beet cv. Rocket purchased from Austrosaat Österreichische Samenzucht-und Handels AG, Austria were sown directly in each pot and after germination thinned out to three plants per pot. Pots with capacity of 7.5 litres and diameter of 30 cm were used for this purpose. The basic growing medium in pots was sphagnum peat

moss (SPM) obtained from Floragard Vertiebs GmbH, Germany. However, either ammonium nitrate (33% N) or compost was supplemented as organic and inorganic N nutrients, respectively. For this study, compost was prepared at the Vegetable Research Area of University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna. Compost material consisted mainly of residues from the harvesting of different vegetable and its maturity was determined through seed germination test. The general characteristics of the peat moss and compost are presented in table 1. Completely randomized design was used with seven nutrient combinations that were replicated four times. Peat moss was used as the only growing medium in pots supplemented with NH_4NO_3 . There were three levels of N including 150, 200 and 250 ppm. A 500 mL solution of each N level was fertigated twice a week to minimize N leaching and maintain nutrients availability in root zone of red beets. The application of

compost was proportionate to N equivalent of NH_4NO_3 concentrations.

The combinations of peat moss, compost and NH_4NO_3 and their labels (to be used hereafter) are presented in Table 2. All plants were fertigated with P and K after 21 days of sowing, whereas selected plants were fertigated with NH_4NO_3 . Roots of red beet were harvested at edible physiological maturity and analysed for their consumable quality.

Preparation of beetroot extracts

Beetroot extracts were derived from fresh roots by using a blender. The extract was differentially centrifuged for 5 minutes at 1000 x g and the supernatant was clarified by using 10-20 μm cellulose filter papers (VWR, France). The extract was used for the determination of nitrate content, total soluble solids (TSS), titratable acidity, ripening index, potential acidity (pH), electrical conductivity (EC), redox potential (Eh) and ascorbic acid in the beetroots.

Table 1. Characteristics of Sphagnum peat moss and compost.

Tabla 1. Características del musgo de turbera Sphagnum y del compost.

	Sphagnum peat moss	Compost
pH	5.5 to 6.0	7.5 to 7.75
Electrical conductivity	0.2 to 0.5 dS m^{-1}	0.5 to 0.6 dS m^{-1}
Redox potential	260 to 265 mV	190 to 195 mV
Nutrients	NPK fertilizer (18-10-20) 0.8 kg m^{-3}	On dry weight basis: Carbon to nitrogen ratio 17:1; P_2O_5 0.8%; K_2O 0.7%

Table 2. Treatment combinations and their labels.

Tabla 2. Combinaciones de tratamiento y sus etiquetas.

Treatments	Combination	Labels
T1	Sphagnum peat moss (100%)	SPM
T2	Peat moss + NH_4NO_3 (1%)	AmN1
T3	Peat moss + NH_4NO_3 (2%)	AmN2
T4	Peat moss + NH_4NO_3 (3%)	AmN3
T5	Peat moss (75%) + compost (25%)	Comp25
T6	Peat moss (50%) + compost (50%)	Comp50
T7	Peat moss (25%) + compost (75%)	Comp75

Physical quality attributes

Fresh biomasses (Fb) of plant, rosette and roots were recorded immediately after harvesting. Root to rosette ratio was determined on fresh weight basis. For dry biomass determination, rosette and roots were dried for 72 hours at 80 °C in an oven. Dry matter ($\text{mg g}^{-1} \text{F}_b$) and moisture content of rosette and roots were also measured.

Determination of nitrate content, total soluble solids, titratable acidity, ripening index, potential acidity, electrical conductivity, redox potential and ascorbic acid

Analysis of nitrate was performed using the remission photometry method (20) through digital reflectometer Reflec-toquant RQflex plus (Merck, Germany) and the results were expressed as μg nitrate per mL of beetroot extract. TSS content was analyzed with a digital refractometer PT-101 (Atago, Japan) and presented as °Brix value. The determination of titratable acidity was carried out as determined by Hortwitz (1960). All determinations were made in triplicate and results were expressed as mg citric acid per 100 mL of beetroot extract. Ripening index was determined by taking the ratio of TSS to titratable acidity. Ascorbic acid was determined as described by Ruck (1961) and expressed as mg ascorbic acid per 100 mL of beetroot extract. For this purpose, indophenol's titration technique was used. 0.4% oxalic acid solution was added to beet extract and filtered through Whatman No. 2 filter paper. Afterwards, aliquot from this filtrate was titrated against 2, 6- dichlorophenolindophenol dye. Titration dye was added until the light pink color appeared for at least 15 seconds. Electrical conductivity, pH and redox potential were simultaneously measured by a system of electrodes provided by WTW GmbH, Germany.

Determination of total flavonols and betacyanins

0.5 g of homogenized beetroot material was transferred to a test tube containing 2% (v/v) HCl/methanol solution and stored for 48 hours at 4 °C. Subsequently, the extract was separated from tissue debris and centrifuged at 19,000 x g for 3 minutes. For betacyanin determination, 140 μL of supernatant was added to 860 μL HCl/methanol solution and absorbance was recorded at 538 nm by using spectrophotometer. For flavonols, semi-quantitative estimation was performed at 360 nm by using spectrophotometer. Results were expressed in as quercetin-equivalents for flavonols, whereas betacyanins content (BC) was calculated with a slight modification to the method determined by Cai *et al.* (1998).

$$\text{Betacyanins}_{(\text{mg}/100\text{g Fb})} = \frac{A_{538} (MW) V_a (DF) \times 100}{\epsilon L W_a}$$

A_{520} is the absorption value at the absorption maximum of 538 nm for betacyanins, DF is the dilution factor, V_a is the total extract volume (mL), W_a is the fresh weight of extracting material (g), and L is the path-length (1 cm) of the cuvette. For quantification of betacyanins, the molecular weight (MW) and molar extinction coefficient (ϵ) of betanin [MW = 550 g/mol; ϵ = 60000 L/mol.cm in H_2O] were applied.

Determination of trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC)

0.25 g milled beetroot sample and 0.25 g quartz sand were homogenized in a mortar in 3 mL methanol and the homogenate was centrifuged for 10 min at 10,000 g and 4°C. The supernatant was used for 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) assay.

The TEAC of methanolic beetroot extracts was determined according to the DPPH method (2) with slight modifications. 0.1 mM DPPH solution in MeOH was

added to methanolic beetroot extracts and the absorbance was recorded against methanol as a blank at 517 nm after 30 min by using spectrophotometer. Trolox was used as reference compound and TEAC values were calculated by using the standard regression curve.

EC₅₀ values of Trolox and beetroot samples were calculated. EC₅₀ values of plant samples were compared with reference to Trolox and the results were expressed in $\mu\text{M TE/g}$ root fresh biomass.

Statistical analysis

Data analyses were carried out by using analysis of variance (ANOVA) technique after the data were tested for normality and the homogeneity of variance. General Linear Model (GLM) procedure of IBM SPSS (version 19) software was used for the test of main effects, whereas post hoc analysis was performed by Duncan's Multiple Range (DMR) test at $\alpha = 5\%$. Furthermore, the correlations between the various quality attributes were explored using Pearson's Coefficient of Correlation.

RESULTS

Treatments significantly influenced fresh plant biomass, whereby Comp75 produced the highest fresh plant biomass, followed by Comp50, Comp25 and SPM, whereas AmN3 and AmN2 produced the lowest fresh plant biomass (table 3). Fresh plant biomass increased with the increase in the level of compost and decreased with the increase in the level of NH_4NO_3 . Higher fresh and dry rosette biomasses were produced generally by compost nutrition and specifically by Comp75. SPM resulted in the least fresh and dry foliage biomass production. However, on dry matter (mg g^{-1} rosette fresh biomass) basis, Comp75 produced the least and SPM produced the highest dry matter. Therefore, moisture content was highest in Comp75 and lowest in SPM grown plants.

Compost also produced more fresh and dry root biomass than other treatments (table 4, page 25). Among all nutritional variants, plants grown in Comp75 produced the maximum fresh and dry root biomass that was more than twice the minimum biomass produced by AmN3 fertilized plants.

Table 3. The effects of organic and inorganic source of nutrients on physical attributes of red beet.

Tabla 3. Efectos de la fuente orgánica e inorgánica de nutrientes sobre los atributos físicos de la remolacha roja.

Treatments	Fresh plant biomass (g)	Fresh rosette biomass (g)	Dry rosette biomass (g)	Rosette dry matter (mg g^{-1} plant Fb [†])	Rosette moisture content (%)
SPM	232.1 \pm 1.4 ^d	72.8 \pm 1.6 ^c	6.9 \pm 0.2 ^d	94.4 \pm 1.2 ^a	90.6 \pm 0.1 ^d
AmN1	217.4 \pm 2.3 ^e	81.4 \pm 1.9 ^c	7.3 \pm 0.3 ^{cd}	88.9 \pm 1.6 ^{bc}	91.1 \pm 0.2 ^{bc}
AmN2	205.4 \pm 1.6 ^f	90.9 \pm 2.0 ^b	7.7 \pm 0.2 ^{bc}	85.3 \pm 0.6 ^{cd}	91.5 \pm 0.1 ^{ab}
AmN3	203.7 \pm 1.6 ^f	90.6 \pm 2.6 ^b	8.1 \pm 0.2 ^b	89.4 \pm 0.9 ^{abc}	91.1 \pm 0.1 ^{bcd}
Comp25	260.5 \pm 4.2 ^c	92.7 \pm 4.0 ^b	8.4 \pm 0.2 ^b	90.9 \pm 1.5 ^{ab}	90.9 \pm 0.1 ^{cd}
Comp50	292.9 \pm 3.4 ^b	95.1 \pm 4.8 ^b	8.3 \pm 0.1 ^b	87.8 \pm 3.4 ^{bc}	91.2 \pm 0.3 ^{bc}
Comp75	359.1 \pm 1.4 ^a	113.6 \pm 2.6 ^a	9.1 \pm 0.2 ^a	80.3 \pm 1.2 ^d	92.0 \pm 0.1 ^a
Probability	***	***	***	***	***

[†] = Fresh biomass; values connected by the same letter within a column are statistically similar by DMR test at $\alpha = 0.05$; *** = $p < 0.001$; (Mean \pm SE, $n = 4$).

[†] = Biomasa fresca; los valores conectados por la misma letra dentro de una columna son estadísticamente similares por la prueba de DMR en $\alpha = 0,05$ - *** = $p < 0,001$; (Media \pm EE, $n = 4$).

Table 4. The effects of organic and inorganic source of nutrients on yield attributes of red beet.

Tabla 4. Efectos de la fuente orgánica e inorgánica de nutrientes sobre los atributos de rendimiento de la remolacha roja

Treatments	Fresh root biomass (g)	Dry root biomass (g)	Root dry matter (mg g ⁻¹ plant Fb [†])	Root moisture content (%)	Root to rosette ratio
SPM	159.4 ± 3.1 ^c	18.0 ± 1.3 ^{bc}	113.0 ± 8.5	88.7 ± 0.8	2.2 ± 0.1 ^a
AmN1	135.3 ± 2.7 ^d	15.3 ± 1.3 ^{cd}	113.3 ± 10.2	88.7 ± 1.0	1.7 ± 0.1 ^b
AmN2	114.2 ± 3.3 ^e	13.5 ± 0.9 ^d	118.7 ± 10.9	88.1 ± 1.1	1.3 ± 0.1 ^c
AmN3	112.5 ± 3.1 ^e	13.0 ± 0.7 ^d	116.4 ± 8.5	88.4 ± 0.8	1.3 ± 0.1 ^c
Comp25	167.4 ± 4.3 ^c	18.8 ± 1.5 ^{bc}	112.6 ± 9.0	88.7 ± 0.9	1.8 ± 0.1 ^b
Comp50	197.9 ± 3.4 ^b	21.0 ± 1.3 ^{ab}	106.1 ± 6.0	89.4 ± 0.6	2.2 ± 0.1 ^a
Comp75	244.9 ± 2.8 ^a	23.6 ± 1.2 ^a	96.2 ± 4.6	90.4 ± 0.5	2.2 ± 0.1 ^a
Probability	***	***	NS	NS	***

[†] = Fresh biomass; values connected by the same letter within a column are statistically similar by DMR test at $\alpha=0.05$; *** = $p<0.001$; NS = non-significant at $\alpha=0.05$; (Mean ± SE, n= 4).

[†] = Biomasa fresca; los valores conectados por la misma letra dentro de una columna son estadísticamente similares por la prueba de DMR en $\alpha = 0,05$ - *** = $p < 0,001$; NS = no significativo en $\alpha = 0,05$; (Media ± EE, n = 4).

As a whole, the NH₄NO₃ fertigated plants produced the lowest fresh and dry root biomasses. Furthermore, either increasing compost or decreasing NH₄NO₃ both led to increase in fresh and dry root biomass. The maximum root dry matter observed in AmN2 was 23% more than the minimum dry matter produced by Comp75, but the difference was not statistically significant. Therefore, roots moisture content was highest in Comp75 and lowest in AmN2 grown plants. SPM, Comp50 and Comp75 resulted in highest root to rosette ratio (2.2), whereas NH₄NO₃ fertigation produced the lowest ratios (1.3-1.7).

The highest nitrate content (5931.3 µg per mL) was observed in AmN1, followed by AmN2 (5412.0 µg per mL) and SPM (5114.8 µg per mL). However, increasing compost level resulted in lowering nitrate content: 4397.3 µg per mL in Comp25, 4294.8 in Comp50 and 3997.5 (the lowest) in Comp75. Generally, fertigation with NH₄NO₃ resulted in higher nitrate contents, whereas compost amendments in lower contents. The increase in

the levels of both compost and NH₄NO₃ decreased the nitrate content gradually (Figure 1a, page 26).

SPM grown red beet roots accumulated highest (8.50 °Brix) TSS content (Figure 1b, page 26), followed by AmN3 (8.13 °Brix), AmN2 (8.10 °Brix) and AmN1 (8.10 °Brix) grown plants. However, compost grown plants showed the lowest TSS content (7.80-7.95 °Brix). Significant effect of the nutrient sources was evident for titratable acidity (Figure 1c, page 26). Comp50 grown plants showed the highest titratable acidity (0.586%), followed by Comp75 and Comp25 (0.541 and 0.530%), whereas AmN3 produced the least acidity (0.453%). Generally, NH₄NO₃ fertigation resulted in lower titratable acidity. Furthermore, increasing the concentration of NH₄NO₃ led to decrease in titratable acidity.

Similarly, the ripening index was significantly affected by the nutritional variants (Figure 1d, page 26). AmN3 showed the highest index (17.95) that gradually decreased across AmN2 (16.39)

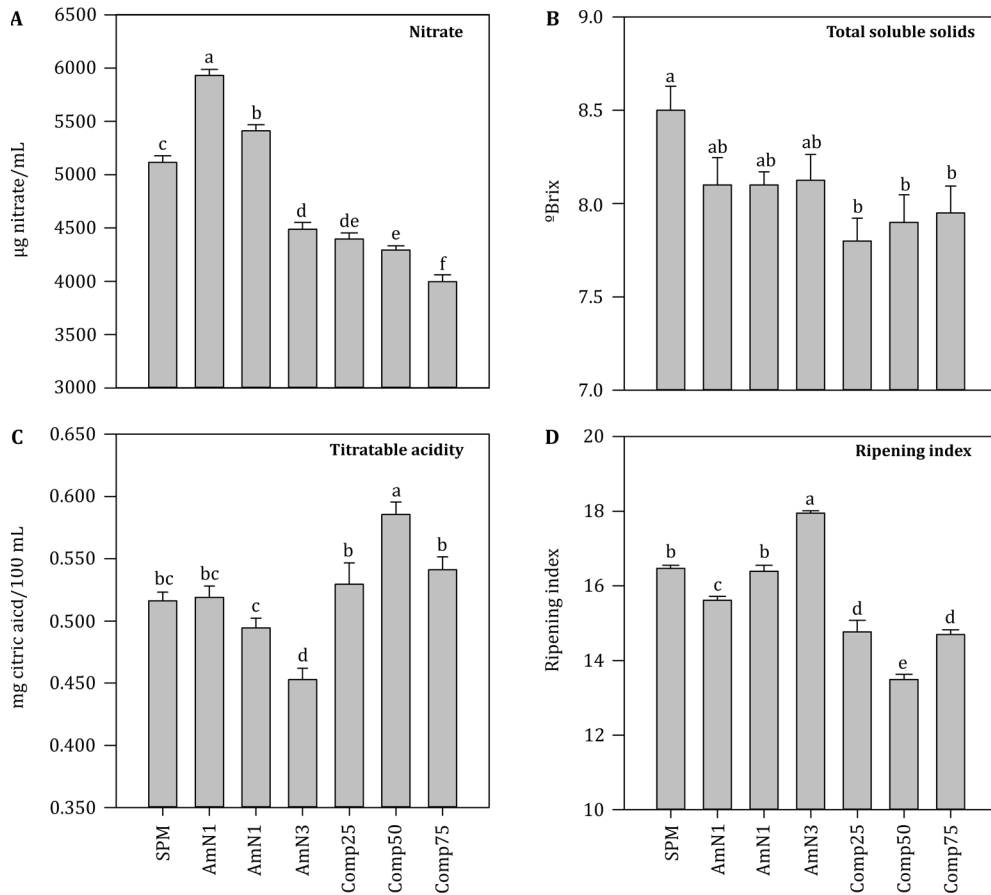


Figure 1. The effect of organic and inorganic source of nutrients.

Figura 1. Efecto de la fuente orgánica e inorgánica de nutrientes.

(A) nitrate content (B) total soluble solids, (C) titratable acidity and (D) ripening index. Different letters within a graph indicate significant differences ($P < 0.05$) and error bars on the columns represent standard error. $n=4$.

(A) contenido de nitrato, (B) sólidos solubles totales, (C) acidez titulable y (D) índice de maduración. Letras diferentes dentro de un gráfico indican diferencias significativas ($P < 0,05$) y las barras de error en las columnas representan el error estándar. $N = 4$.

and AmN1 (15.61), whereas the compost amendment resulted in red beets with the lowest ripening indices (13.49-14.76). NH_4NO_3 fertilized plants resulted in the highest pH values (6.41-6.46) of their root extracts, followed by those treated

with SPM (6.39), whereas compost amendment resulted in the lowest pH values (6.34-6.35). Besides, EC and Eh values of various beetroot extracts were statistically similar and not influenced by the fertilization (table 5, page 27).

Table 5. The effects of organic and inorganic source of nutrients on electrochemical properties of red beet.

Tabla 5. Efectos de la fuente orgánica e inorgánica de nutrientes sobre las propiedades electroquímicas de la remolacha roja.

Treatments	Potential acidity (pH)	Electrical conductivity (mS)	Redox potential (mV)
SPM	6.39 ± 0.018 ^{bc}	12.49 ± 0.10	309.30 ± 4.57
AmN1	6.42 ± 0.018 ^{ab}	12.42 ± 0.04	318.97 ± 13.68
AmN2	6.41 ± 0.018 ^{ab}	12.31 ± 0.30	323.24 ± 6.02
AmN3	6.46 ± 0.015 ^a	12.61 ± 0.03	334.24 ± 9.20
Comp25	6.34 ± 0.024 ^c	12.95 ± 0.12	321.32 ± 9.13
Comp50	6.34 ± 0.019 ^c	12.56 ± 0.22	324.85 ± 3.14
Comp75	6.35 ± 0.016 ^c	12.25 ± 0.11	339.98 ± 7.42
Probability	***	NS	NS

Values connected by the same letter within a column are statistically similar by DMR test at $\alpha=0.05$; NS = non-significant at $\alpha=0.05$; (Mean ± SE, $n=4$).

Los valores conectados por la misma letra dentro de una columna son estadísticamente similares por la prueba de DMR en $\alpha = 0,05$; NS = no significativo en $\alpha = 0,05$; (Media ± EE, $n = 4$).

Significant variation was observed for ascorbic acid in beetroot extracts in response to the nutrients (Figure 2a, page 28). SPM grown plants accumulated the highest ascorbic acid content (148.635 mg AA per 100 mL) in their roots, followed by AmN1, AmN2 and AmN3 (130.2, 123.0 and 121.0 mg AA per 100 mL, respectively), whereas Comp50 and Comp75 grown beetroot accumulated the lowest content (103.53 and 101.48 mg AA per 100 mL, respectively).

Moreover, a decreasing trend for ascorbic acid with the increase in the levels of both compost and NH_4NO_3 was observed.

AmN1 produced the highest betacyanin content (51.84 mg/100 g F_b) in beetroots, followed by AmN2 (49.31 mg/100 g F_b), SPM (45.88 mg/100 g F_b) and AmN3 (41.25 mg/100 g F_b) treatments, respectively (Figure 2B, page 28).

Plants grown in compost amendment accumulated the lowest betacyanin content (31.54-39.84 mg/100 g F_b), the lowest being in Comp25. Moreover, the plants grown with the lowest level of NH_4NO_3 (AmN1) had 65% higher betacyanins than those grown with the lowest level of compost (Comp25).

A significant increase in betacyanins was observed if either the level of compost increased or the concentration of NH_4NO_3 decreased.

Figure 2c (page 28) shows that the highest content of total flavonols (18.14 μg per mL) was observed in the AmN1 grown plants, which was statistically equal to the amount in beetroots grown in SPM (17.92 μg per mL) and AmN2 (17.19 μg per mL) nutrients. Composted plants contained the least concentration of flavonols in their root extracts that was up to 106% less than that of NH_4NO_3 fertigated plants and up to 104% less than SPM grown beetroots.

Similar to betacyanins, a significantly increasing trend for flavonols with the increasing compost or decreasing NH_4NO_3 was observed.

As a whole, NH_4NO_3 fertigated plants showed higher TEAC values compared to SPM or compost grown plants (Figure 2d, page 28). AmN1 and AmN2 resulted in the highest TEAC (9.08 and 8.78 $\mu\text{M TE/g F}_b$, respectively), whereas Comp25 the minimum TEAC (5.60 $\mu\text{M TE/g F}_b$).

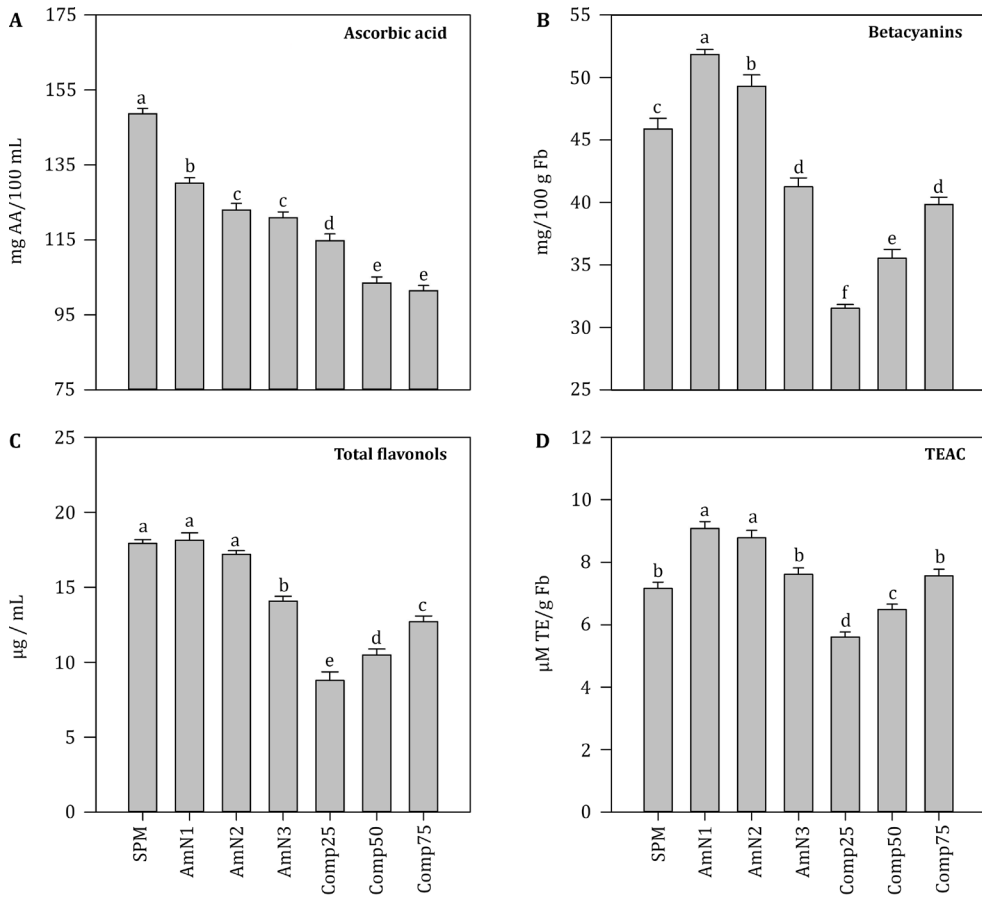


Figure 2. The effect of organic and inorganic source of nutrients.

Figura 2. Efecto de la fuente orgánica e inorgánica de nutrientes.

(A) ascorbic acid, (B) betacyanins, (C) total flavonols and (D) antioxidant activity. Different letters within a graph indicate significant differences ($P < 0.05$) and error bars on the columns represent standard error. $n=4$.

(A) ácido ascórbico, (B) betacianinas, (C) flavonoles totales y (D) actividad antioxidante. Letras diferentes dentro de un gráfico indican diferencias significativas ($P < 0,05$) y las barras de error en las columnas representan el error estándar. $N = 4$.

Owing to the betacyanins and flavonols, significant increase in TEAC was found with the increase in compost or decrease in NH_4NO_3 levels.

The statistical correlations between physical and biochemical quality attributes revealed that various quality parameters have linkage with each

other (table 6, page XXX). Fresh plant biomass had negative correlations that were medium in strength with nitrate, ascorbic acid, ripening index and pH, whereas weak in strength with betacyanins, flavonols and TEAC. A positive and medium correlation of fresh plant biomass with titratable acidity was also observed.

Table 6. Pearson's Coefficient of correlations between various yield and physiological quality attributes of red beets in response to organic and inorganic sources of nutrients.

Tabla 6. Coeficiente de Pearson de correlaciones entre el rendimiento y los atributos de calidad fisiológica de la remolacha roja en respuesta a fuentes orgánicas e inorgánicas de nutrientes.

	Fresh plant biomass	Fresh rosette biomass	Dry rosette biomass	Fresh root biomass	Dry root biomass	Root to rosette ratio	Nitrate content	Total soluble solids	Titrateable acidity	pH	Ascorbic acid	Total flavonols	Beta-cyanins
Nitrate content	-.70**	-.59**	-.66**	-.67**	-.56**	-.39*	1						
Total soluble solids	NS	-.66**	-.75**	NS	NS	NS	NS	1					
Titrateable acidity	.61**	NS	NS	.70**	.69**	.77**	NS	NS	1				
Ripening index	-.70**	NS	NS	-.73**	-.70**	-.61**	NS	.39*	-.91**				
pH	-.63**	NS	NS	-.67**	-.60**	-.64**	.43*	NS	-.69**	1			
Ascorbic acid	-.68**	-.77**	-.76**	-.58**	-.45*	NS	.70**	.52**	-.43*	.45*	1		
Total flavonols	-.52**	-.44*	-.61**	-.48**	-.46*	NS	.83**	.44*	NS	.52**	.58**	1	
Betacyanins	-.55**	-.53**	-.66**	-.49**	-.51**	NS	.79**	.55**	-.39*	.50**	.73**	.93**	1
TEAC	-.38*	NS	NS	-.39*	-.47*	-.39*	.67**	NS	NS	.47*	NS	.89**	.78**

* = p<0.05; ** = p<0.01; NS = non-significant at $\alpha=0.05$

* = P & lt; 0,05; ** = p & lt; 0,01; NS = no significativo en $\alpha = 0,05$

Further, negative correlations of fresh and dry rosette biomass with nitrate, TSS, ascorbic acid, betacyanins and flavonols were also evident.

However, fresh and dry root biomass were found to be negatively correlated with nitrate, titratable acidity, ripening index, pH, ascorbic acid, betacyanins, flavonols and TEAC, and positively correlated with titratable acidity. Although nitrate was found to be negatively correlated with the fresh and dry biomass parameters, it was positively linked with pH, ascorbic acid, betacyanins, flavonols and TEAC.

Similarly, TSS had a positive correlation with ascorbic acid, betacyanins and flavonols, whereas titratable acidity had a negative correlation with ascorbic acid and betacyanins. Also, pH was positively related to ascorbic acid, betacyanins, flavonols and TEAC. Positive correlations were observed between ascorbic acid, betacyanins and flavonols. Consequently, betacyanins and flavonols were positively and strongly linked to TEAC (table 6, page 29).

DISCUSSION

Fresh and dry biomasses of rosette and root were maximum in compost treated plants because roots contribute most of the plant fresh biomass in beetroots. On the other hand, N application increases vegetative growth, that could lead to a higher foliage growth at the expense of root growth and, therefore, to a less total plant biomass. This also caused root to rosette ratio to increase with increasing compost level and decreasing NH_4NO_3 level. Generally, crops grown from organic nutrient sources have higher fresh and dry weight contents (28).

Increase in the yield or plant biomass could be in response to improvement in soil physical, chemical and biological properties due to the amendment of peat moss and compost (5, 17).

Biomass partitioning (as measured by root:rosette ratio) indicated that not only above ground parts but also roots of compost treated beets grew better than those of NH_4NO_3 fertilized beets.

The same was also obvious in fresh and dry rosette and root biomasses. Generally, besides providing nutrients, compost provides additional benefits such as soil tilth improvement, a balanced blend of other nutrients needed by plants (8) and organic compounds that act as bio-stimulant agent, all these creating conducive conditions for plant growth.

Different parts of a plant accumulate nitrate differently and generally, the parts in decreasing order by nitrate content are petiole, leaf, stem, root, inflorescence, tuber, bulb, fruit and seed (18). Low nitrate accumulation in the roots of compost treated plants is the result of organically applied nutrients. Applying compost not only provides nutrients to the plant but also improves soil structure and adds organic matter necessary for the growth of microorganisms.

However, this reduces the availability of nutrient over time. Low nitrate concentration was accompanied with high fresh and dry root biomass and vice versa. A possible explanation is the reduction of nitrate and its utilization in plant physiological processes. This result is in line with the findings of Ugrinović *et al.* (2012) where decrease of dry biomass in beetroot was observed with the increase of N application. Similar trends in carrots were reported by John *et al.* (2003). Further, increase in soil EC with increasing the NH_4NO_3 level could have lowered the nitrate accumulation in roots.

However, contrary to fresh and dry biomass of roots, TSS in roots of compost treated plants was low. Normally, protein production of plant is accelerated with the continuous supply of nitrogen that results in exceeded growth of plant and, hence, production of more biomass, whereas accumulation of carbohydrates is less (28). Similarly, ascorbic acid was also low in the roots of compost treated plants, mainly owing to the scarcity of carbohydrates in these plants. Increased protein production is coupled with reduction in carbohydrate production which in turn, being precursor of ascorbic acid production, reduces vitamin C synthesis (28). Furthermore, massive growth of these plants might have a dilution effect on the concentration of TSS and ascorbic acid.

Compost grown beetroots showed less TSS content and higher titratable acidity that led to low ripening index for these plants. As in fruits and vegetables, the concentration and type of sugars and organic acids, and the balance between them essentially contribute to the product flavor, the higher ripening index in SPM and NH_4NO_3 additions indicated a good flavouring quality. Therefore, as was obvious, a negative correlation was noticed between pH and titratable acidity.

In response to different treatments, similar trend for accumulation of betacyanins and flavonols was observed in red beets. In compost treated plants, the decrease in the concentrations of betacyanins and flavonols was correlated with lower TSS and nitrate, and higher fresh plant biomass and fresh and dry biomass of rosettes and roots.

Consequently, similar to ascorbic acid, betacyanins and flavonols, TEAC was also higher in AmN1 and AmN2 applications

than in compost amendments. In addition, a decreasing trend for ascorbic acid, betacyanins, flavonols and TEAC with the increasing levels of NH_4NO_3 and an increasing trend for betacyanins, flavonols and TEAC with the increasing level of compost were also evident. Under limited supply of nutrients, biomass production is negatively correlated with phenolic component (14) and betacyanins (7), and therefore, although the fresh and dry biomasses were the highest in compost grown beetroots, the ascorbic acid, betacyanins, flavonols and TEAC were the lowest in these beetroots.

Furthermore, less nitrate accumulation in composted beetroots also indicates the deficiency of free N for other metabolic activities. Consequently, flavonol content increase significantly in N deficient plants, primarily, to prevent oxidative damage (24).

Moreover, according to the carbon nutrient balance, if there are certain nutrient levels, excess carbon leads to the synthesis of carbon based secondary metabolites and their precursors (10). Increasing the carbon increased the accumulation of carbohydrates over growth demands, which was evident from higher TSS in SPM grown beetroots, and therefore, plant used extra carbon for carbon based secondary metabolites.

However, contrary to high flavonols and betacyanins contents, plants grown in SPM and NH_4NO_3 produced less fresh and dry biomasses. It could be due to the fact that secondary metabolites are negatively correlated to the biomass production (14) due to the competition between protein synthesis and secondary metabolite production (11).

CONCLUSION

In red beet plants, although peat moss and NH_4NO_3 nutriment showed lower yield attributes like less plant biomass, fresh and dry rosette and root biomasses, and root to rosette ratio but, on the other hand, they also showed good internal quality pre-requisites including higher bioaccumulation of ascorbic acid, betacyanins and flavonol content, total soluble solids, ripening index and anti-

oxidant activity and less titratable acids. In terms of production, beets grown in only sphagnum peat moss were better than NH_4NO_3 fertigated beets; and also regarding internal quality, peat moss was the best substrate. It is further suggested to combine peat moss with NH_4NO_3 application for higher biomass and overall better growth of red beet plants.

REFERENCES

1. Apáez Barrios, P.; Escalante Estrada, J. A. S.; Sosa Montes, E.; Apáez Barrios, M.; Rodríguez González, M. T.; Raya Montaña, Y. A. 2016. Producción y calidad nutrimental de vaina del frijol chino, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, en función de arreglo topológico y tipo de fertilización. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 48(2): 31-42.
2. Brand-Williams, W.; Cuvelier, M. E.; Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate Antioxidant activity. LWT-Food Science and Technology. 28(1): 25-30.
3. Cai, Y.; Sun, M.; Wu, H.; Huang, R.; Corke, H. 1998. Characterization and quantification of betacyanin pigments from diverse Amaranthus species. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 46(6): 2063-2070.
4. Donoso, S.; Peña-Rojas, K.; Galdames, E.; Pacheco, C.; Espinoza, C.; Durán, S.; Gangas, R. 2016. Evaluación de la aplicación de biosólidos en plantaciones de *Eucalyptus globulus*, en Chile central. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 48(2): 107-119.
5. Doran, J. W.; Elliott, E. T.; Paustian, K. 1998. Soil microbial activity, Nitrogen cycling, and long-term changes in organic Carbon pools as related to fallow tillage management. Soil and Tillage Research. 49(1-2): 3-18.
6. Ejaz, S. K.; Jezik, M.; Stumpf, W.; Gosch, C.; Halbwirth, H.; Stich, K. 2015. Amelioration of an open soilless cultivation system for microgardening spinach (*Spinacia oleracea* L.). Zemdirbyste-Agriculture. 102(2): 201-208.
7. Felczyński, K.; Elkner, K. 2008. Effect of long-term organic and mineral fertilization on the yield and quality of red beet (*Beta Vulgaris* L.). Vegetable Crops Research Bulletin. 68(1): 111-125.
8. Gaskell, M.; Smith, R. 2007. Nitrogen sources for organic vegetable crops. HortTechnology. 17(4): 431-441.
9. Hortwitz, W. 1960. Official and tentative methods of analysis, in: Association of the Official Agriculture Chemist. Washington, D.C. p. 320-341.
10. Ibrahim, M. H.; Jaafar, H. Z. E.; Rahmat, A.; Rahman, Z. A. 2011. The relationship between phenolics and flavonoids production with total non structural carbohydrate and photosynthetic rate in *Labisia Pumila* Benth. under high CO_2 and Nitrogen fertilization. Molecules 16(1): 162-174.
11. Ibrahim, M. H.; Jaafar, H. Z. E.; Rahmat, A.; Rahman, Z. A. 2012. Involvement of Nitrogen on flavonoids, glutathione, anthocyanin, ascorbic acid and antioxidant activities of Malaysian medicinal plant *Labisia Pumila* Blume (Kacip Fatimah). International Journal of Molecular Sciences 13(1): 393-408.

12. John, A.; Ibrahim, M.; Ishaq, M. 2003. Nitrate accumulation in okra and carrot as influenced by fertilizer application. *Pakistan Journal of Botany* 35(4): 637-640.
13. Lansley, K. E.; Winyard, P. G.; Fulford, J.; Vanhatalo, A.; Bailey, S. J.; Blackwell, J. R.; DiMenna, F. J.; Gilchrist, M.; Benjamin, N.; Jones, A. M. 2011. Dietary nitrate supplementation reduces the O₂ cost of walking and running: A placebo-controlled study. *Journal of Applied Physiology*. 110(3): 591-600.
14. Lavola, A.; Julkunen-Tiitto, R. 1994. The effect of elevated carbon dioxide and fertilization on primary and secondary metabolites in birch, *Betula Pendula* (Roth). *Oecologia*. 99: 315-321.
15. Marwan, G.; Samhan, S.; Carlier, E.; Ali, W. 2011. Groundwater pollution due to pesticides and heavy metals in north west bank. *Journal of Environmental Protection*. 2: 429-434.
16. Ruck, J. A. 1961. Chemical method for fruit and vegetable products. Research Station Summerland. Research Branch. Canada. Department of Agriculture. No. 1154.
17. Ruiz, H. A.; Oliverio Sarli, G.; Gonçalves Reynaud Schaefer, C. E.; Filgueira, R. R.; Silva de Souza, F. 2016. La superficie específica de oxisoles y su relación con la retención hídrica. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 48(2): 95-105.
18. Santamaria, P. 2006. Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 86(1): 10-17.
19. Saucedo Castillo, O.; de Mello Prado, R.; Castellanos González, L.; Ely, N.; Silva Campos, C. N.; Pereira Da Silva, G.; Assis, L. C. 2015. Efecto de la fertilización fosfatada con cachaza sobre la actividad microbiana del suelo y la absorción de fósforo en caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 47(1): 33-42.
20. Schmidhalter, U. 2005. Development of a quick on-farm test to determine nitrate levels in soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 168(4): 432-438.
21. Schwarz, M. 2012. Culture methods, in: *Soilless Culture Management*. Springer Science and Business Media. Berlin. p. 33-90.
22. Schwarz, D.; Franken, P.; Krumbein, A.; Kläring, H. P.; Bar-Yosef, B. 2009. Nutrient management in soilless culture in the conflict of plant, microorganism, consumer and environmental demands. *Acta Horticulturae*. 843: 27-34.
23. Skevas, T.; Oude Lansink, A. G. J. M.; Stefanou, S. E. 2013. Designing the emerging EU pesticide policy: a literature review. *Wageningen Journal of Life Sciences*. 64: 95-103.
24. Stewart, A.; Chapman, W.; Jenkins, G.; Graham, I.; Martin, T.; Crozier, A. 2002. The effect of Nitrogen and Phosphorus deficiency on flavonol accumulation in plant tissues. *Plant, Cell and Environment*. 24: 1189-1197.
25. Ugrinović, K.; Kmecl, V.; Ćustić, M. H.; Žnidarčič, D. 2012. Contents of oxalic acid, nitrate and reduced nitrogen in different parts of beetroot (*Beta Vulgaris* Var. Conditiva Alef.) at different rates of Nitrogen fertilization. *African Journal of Agricultural Research*. 7(20): 3066-3072.
26. Voogt, W.; van Dijk, P.; Douven, F.; van der Maas, R. 2014. Development of a soilless growing system for blueberries (*Vaccinium corymbosum*): nutrient demand and nutrient solution. *Acta Horticulturae*. 1017: 215-221.
27. Wootton-Beard, P. C.; Ryan, L. 2011. A beetroot juice shot is a significant and convenient source of bioaccessible antioxidants. *Journal of Functional Foods*. 3(4): 329-334.
28. Worthington, V. 2001. Nutritional quality of organic versus conventional fruits, vegetables, and grains. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*. 7(2): 161-173.
29. Yao, S.; Merwin, I. A.; Abawi, G. S.; Thies, J. E. 2006. Soil fumigation and compost amendment alter soil microbial community composition but do not improve tree growth or yield in an apple replant site. *Soil Biology and Biochemistry*. 38(3): 587-599.

Dinámica poblacional de tallos de pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.) y ballico perenne (*Lolium perenne* L.) asociados con trébol blanco (*Trifolium repens* L.)

Population dynamics of orchard grass stalks (*Dactylis glomerata* L.) and perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) associated with white clover (*Trifolium repens* L.)

Adelaido Rafael Rojas García ¹, Alfonso Hernández Garay ², Marco Antonio Rivas Jacobo ³,
Sergio Iban Mendoza Pedroza ⁴, María de los Ángeles Maldonado Peralta ⁵, Santiago Joaquín Cancino ⁶

Originales: *Recepción*: 10/11/2015 - *Aceptación*: 24/06/2016

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar cuatro asociaciones de dos gramíneas y una leguminosa, en diferentes porcentajes. La siembra se realizó en febrero de 2010, en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México; tomando como base las densidades de 20, 30 y 5 kg ha⁻¹ para pasto ovilla (Ov), ballico perene (Ba) y trébol blanco (Tr), respectivamente. Los tratamientos consistieron de las siguientes asociaciones: 20-40-40, 00-50-50, 40-20-40, 50-00-50% de Ov, Ba y Tr. Los cuatro tratamientos se distribuyeron aleatoriamente en 12 parcelas experimentales de 9 por 8 m de acuerdo con un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. La asociación 50-00-50 de Ov-Ba-Tr es la que presenta mayor densidad de tallos de pasto ovilla con un promedio

-
- 1 Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia N°2. Universidad Autónoma de Guerrero. 41940. Cuajinicuilapa, Guerrero, México. rogarcia_05@hotmail.com
 - 2 Recursos Genéticos y Productividad Ganadería. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carretera México - Texcoco, México.
 - 3 Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Carretera San Luis Potosí-Matehuala km. 14.5, Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, S. L. P. México.
 - 4 Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México, México.
 - 5 Licenciatura en Ciencias y Tecnología de Alimentos. Unidad Académica Región de la Costa Chica. Universidad Autónoma de Guerrero. Cruz grande, Municipio de Florencio Villareal, Guerrero, México.
 - 6 Facultad de Ingeniería y Ciencias. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Centro Universitario Victoria, Edificio Centro de Gestión de Conocimiento. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

de 4.250 tallos m^{-2} , y el menor la asociación 20-40-40 de Ov-Ba-Tr con un promedio de 3.400 tallos m^{-2} ($p = 0,05$). La asociación 20-40-40 de Ov-Ba-Tr presentó mayor peso por tallo de pasto ovillo en ambos años con un promedio de 0,3 g tallo $^{-1}$, y menor peso la asociación 50-00-50 con 0,23 g tallo $^{-1}$. En conclusión se recomienda utilizar la asociación 20-40-40 de Ov-Ba-Tr ya que obtuvo el mayor peso por tallo en ambas gramíneas y la menor dinámica de población de tallos, por lo tanto, existió una compensación tamaño/ densidad, lo cual se reflejó en el mayor rendimiento de forraje; con una frecuencia de 4 semanas en primavera-verano y cada 5 y 6 semanas en otoño e invierno.

Palabras clave

tasa de aparición • muerte • sobrevivencia • peso por tallo

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate four associations of two grass and a legume in different percentages. Sowing was done in February 2010, in the Graduate College, Campus Montecillo, Mexico; based on the densities of 20, 30 and 5 kg ha^{-1} for orchard grass (Ov), perennial ryegrass (Ba) and white clover (Tr), respectively. Treatments consisted of the following associations: 20-40-40, 00-50-50, 40-20-40, 50-00-50% Ov, Ba and Tr. The four treatments were randomly distributed in 12 experimental plots of 9 by 8 m according to a design of a randomized complete block with three replications. The association 50-00-50 of Ov-Ba-Tr is the one with greater density orchard grass stalks with an average of 4,250 m^2 stems, and lower the association 20-40-40 of Ov-Ba-Tr with an average of 3,400 m^2 stems ($p = 0.05$). The association 20-40-40 of Ov-Ba-Tr showed greater weight orchard grass stem in both years with an average of 0.3 g stem $^{-1}$ and lower weight partnership 50-00-50 with 0.23 g stem $^{-1}$. In conclusion it is recommended to use the association 20-40-40 of Ov-Ba-Tr since I obtained the highest weight per stem in both grasses and the smallest population dynamics of stems, therefore, there was compensation size/density, which was reflected in the increased forage yield; with a frequency of 4 weeks in spring-summer and every 5 to 6 weeks in autumn and winter.

Keywords

rate of occurrence • death • survival • weight per stem

INTRODUCCIÓN

En las gramíneas la unidad básica de crecimiento es el hijuelo o fitómero, y en su conjunto, por unidad de superficie forman una población, por lo tanto una pradera puede ser vista como una población de tallos (20). De esta manera, un aumento en la población de tallos significa mayor producción de forraje, por ser el resultado del peso individual multiplicado por el número de tallos.

En una pradera de gramínea, los tallos emergen, crecen y mueren continuamente a tasas variables según las condiciones ambientales, estación del año y manejo de la defoliación (13, 14, 16, 19, 25).

La producción de forraje en una pradera puede ser dividida en dos componentes: el número de tallos por unidad de área de superficie y el rendimiento individual por tallo (13). Así, la persistencia y producción

de las especies forrajeras depende del balance entre la producción de nuevos tallos y la muerte de los ya establecidos.

El conocimiento de la dinámica poblacional de los tallos es una referencia esencial para el manejo de praderas. Con la manipulación de la defoliación, se pueden modificar los picos mensuales y estacionales de aparición de tallos y, con ello, incrementar la densidad de tallos y la productividad de las gramíneas (16, 21).

En una investigación realizada por Castro *et al.* (2013), en el valle de México en asociaciones de gramíneas y leguminosas el mayor peso por tallo de ballico perenne y pasto ovillo se registró en verano ($0,38 \text{ g}^{-1} \text{ tallo}^{-1}$) y las mayores densidades en la época de invierno con 9.961 y 10.423 tallos m^{-2} , respectivamente. Mientras tanto Hernández *et al.* (2015) reportaron la mayor densidad de tallos en pasto ovillo en invierno con 8.000 tallos m^{-2} disminuyendo en primavera y manteniéndose constante hasta verano con una densidad de 4.421 tallos m^{-2} y aumentando en otoño. Sin embargo, en México existen pocos estudios sobre dinámica de tallos y componentes del rendimiento (27).

Cuantificar dichas variables y su variación durante el año, genera información importante para diseñar una estrategia de manejo de praderas que favorezca simultáneamente una alta producción, utilización y persistencia de las especies forrajeras (17).

Objetivo

Evaluar la dinámica poblacional de tallos, tasa de aparición, muerte, sobrevivencia y peso por tallo en pasto ovillo y ballico perenne asociado con trébol blanco. La hipótesis fue que las asociaciones con tres especies presentan mejor comportamiento que cuando se asocian dos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó desde septiembre de 2012 a septiembre de 2014, en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México, ubicado a $19^{\circ}29' \text{ N}$ y $98^{\circ}53' \text{ de O}$, a una altura de 2.240 m s. n. m.

El clima del lugar es templado subhúmedo, con precipitación media anual de 636 mm y régimen de lluvias en verano, (junio a octubre) y temperatura media anual de $15,2^{\circ}\text{C}$ (8). El suelo es un Typic ustipsamments de textura franco arenoso, ligeramente alcalino con pH 7- 8, con 2,4% de materia orgánica (24).

Las praderas fueron establecidas en febrero de 2010, la siembra de las gramíneas se realizó en hileras a 30 cm, mientras que la leguminosa fue sembrada en forma perpendicular con una distancia entre surcos de 30 cm; tomando como base las densidades de 20, 30 y 5 kg ha^{-1} para pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.), ballico perenne (*Lolium perenne* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.).

Las praderas no fueron fertilizadas durante el período experimental y los riegos se realizaron en otoño-invierno y parte de primavera utilizando agua subterránea. Los riegos se aplicaron cada 15 días con una lámina de 32 mm aproximadamente cada uno, para recuperar el forraje después de la defoliación.

Antes de iniciar la investigación, se realizó un pastoreo de uniformidad con ovinos cosechando aproximadamente a 5 cm sobre el nivel del suelo.

Posteriormente los pastoreos se realizaron cada 4 semanas en primavera-verano y cada 5 y 6 semanas durante otoño e invierno, respectivamente, de acuerdo con lo recomendado por Velasco *et al.* (2002, 2007) en praderas puras de ballico perenne y pasto ovillo en el valle de México.

Los ovinos únicamente fueron utilizados como defoliadores, y para un mejor control en las parcelas experimentales se instaló un cerco eléctrico.

Las asociaciones de gramíneas y leguminosa fueron definidas mediante el paquete Minitab (22), con un diseño de vértices con tres componentes de la mezcla, con restricción a la leguminosa en un 40 y 50% como mínimo y máximo. Los tratamientos en la siembra consistieron de las siguientes asociaciones: 20-40-40, 00-50-50, 40-20-40, 50-00-50 % de pasto ovillo (Ov), ballico perenne (Ba) y trébol blanco (Tr), respectivamente.

Los cuatro tratamientos se distribuyeron aleatoriamente en 12 parcelas experimentales de 9 por 8 m.

Dinámica poblacional de tallos

Al inicio del experimento, en cada unidad experimental, se colocó dos aros de pvc de 10,4 cm de diámetro.

Cada aro delimitaba un macollo; cuando las praderas eran constituidas por la asociación de las dos gramíneas, cada aro registraba una especie, y cuando contenía una gramínea se delimitaba dos macollos de esta.

Cada uno de los tallos presentes dentro del aro fueron delimitados con anillos de cable de un mismo color, que se consideraron como población inicial.

Posteriormente, cada mes durante dos años los tallos nuevos fueron delimitados con anillos de diferente color, para cada generación, mientras que los tallos muertos se les retiraron los anillos y se contaron.

Con este procedimiento se determinaron los cambios mensuales en la población de tallos, así como la aparición y muerte de los mismos. Estos valores se multiplicaron por el número de plantas m^{-2} , con esos datos se estimó: la densidad poblacional de tallos (DPT; tallos m^{-2}) y sus respectivas tasas mensuales de aparición (TAT) y muerte

(TMT) (%), mediante la metodología sugerida por Hernández-Garay *et al.* (1997).

$$TAT = \frac{N^{\circ} \text{ de tallos nuevos}}{DT \text{ del muestreo anterior}} (100)$$

$$TAT = \frac{N^{\circ} \text{ de tallos muertos}}{DT \text{ del muestreo anterior}} (100)$$

donde:

DPT = N° de tallos vivos existentes en cada muestreo.

La tasa de sobrevivencia de tallos (TST) se obtuvo de manera indirecta mediante la ecuación:

$$TAT = 1 - TMT$$

Peso por tallo

Un día antes de cada pastoreo, se cosechó a ras de suelo 10 tallos de pasto ovillo y ballico perenne, se secaron en una estufa de aire forzado por 48 h a 55°C, hasta que alcanzó un peso constante, y posteriormente se registró su peso. El peso promedio se obtuvo al dividir el peso de la muestra entre el número de tallos.

Datos climáticos

En la figura 1 (pág. 39), se observa el promedio de la temperatura máxima y mínima mensual en los 2 años del experimento donde la temperatura máxima en promedio mensual osciló entre 20 y 27°C, en tanto que la temperatura mínima en promedio mensual osciló entre 1 y 11,3°C. La temperatura alta se presentó en primavera de ambos años, con un promedio de 26°C, registrándose la máxima en el mes de abril de 2013 con un promedio de 27°C y abril de 2014 con 26,8°C. Las menores temperaturas se presentaron en las estaciones de otoño e invierno, principalmente el mes de diciembre de 2012 con un promedio de 1,6°C, y el mes de enero de 2014 con un promedio de 1°C.

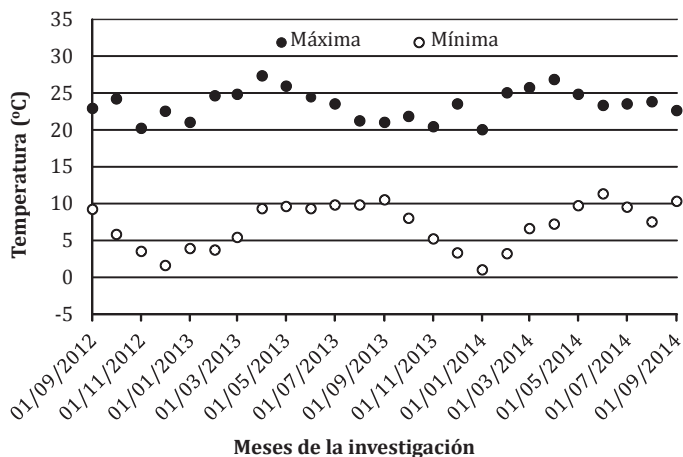


Figura 1. Temperaturas media mensual máxima y mínima durante el período de estudio (09/2012 a 09/2014).

Figure 1. Average monthly maximum and minimum temperatures during the study period (09/2012 to 09/2014).

La precipitación acumulada se observa en la figura 2 (pág. 40), donde se registró una precipitación acumulada en el primer año de 408,87 mm, en los meses de junio, julio y agosto de 2013 se obtuvo la precipitación mayor con 269,65 mm (66%).

La precipitación acumulada del segundo año fue de 348,75 mm, obteniendo la precipitación mayor en los meses de mayo, junio, julio y septiembre de 2014 con el 75% (261,44 mm) (primavera y verano).

En los meses sin presencia de precipitación que abarcan las estaciones: otoño, invierno y parte de primavera de ambos años y verano del último año se proporcionó riegos cada dos semanas.

Desde septiembre de 2012 a abril de 2013 se efectuó 14 riegos con una lámina neta de 448 mm y entre septiembre de 2013 a agosto de 2014 se efectuó 16 riegos con una lámina neta de 512 mm. El total de agua recibida por las praderas en el primer

y segundo año de evaluación, considerando la precipitación acumulada fue de 856,87 y 860,75 mm, respectivamente.

Análisis estadístico

Para comparar el efecto de las asociaciones estudiadas, se realizó un análisis de varianza con el procedimiento de Modelos Mixtos (28), con un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ajustada ($p = 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dinámica de población de tallos

En la figura 3 (pág. 41), se observan diferentes tonalidades de bandas mensuales que representan generaciones de tallos y disminución en el tiempo debido a la muerte de tallos; en su conjunto muestran la densidad de población de tallos.

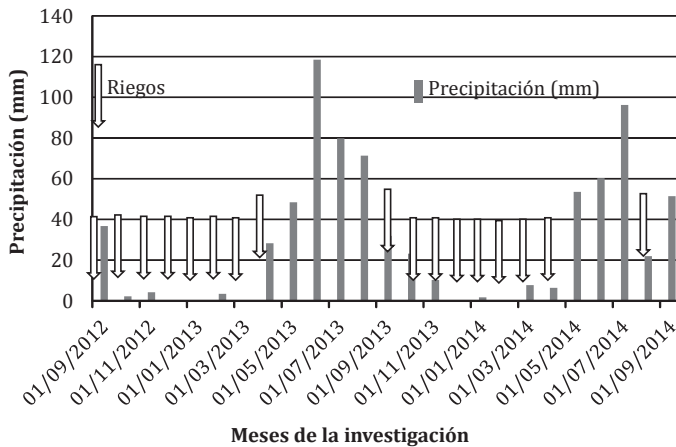


Figura 2. Precipitación acumulada y riegos durante el período de estudio (09/2012 a 09/2014).

Figure 2. Cumulative rainfall and irrigation during the study period (09/2012 to 09/2014).

En los dos años se presentan diferencias entre asociaciones ($p = 0,05$) en densidad poblacional de tallos de pasto ovillo (figura 3 a, b, c; pág. 41); en las estaciones de otoño e invierno se presenta la mayor densidad, independientemente de la asociación. La asociación 50-00-50 de Ov-Ba-Tr fue la que presentó mayor densidad de tallos de pasto ovillo con un promedio de 4.250 tallos m^{-2} , en contraste, la asociación 20-40-40 de Ov-Ba-Tr registró la menor densidad de tallos a lo largo de la investigación con un promedio de 3.400 tallos m^{-2} ($p = 0,05$).

En promedio, las asociaciones presentan menor densidad en primavera y verano, dependiendo de la asociación, y se le puede atribuir a la mayor temperatura registrada en esas estaciones ya que los macollos tienden a tener mayor tamaño, (área foliar) y por lo tanto sombrean a los nuevos macollos, ya que en primavera y verano tienden a ser de mayor peso que en otoño e invierno (1).

Otro factor que afectó el comportamiento fue la competencia inter-específica e intra-específica por nutrientes, agua, luz y espacio (5), ya que las plantas no rebrotan en una pradera como individuos aislados, si no como una población usualmente densa donde la vegetación que los rodea ejerce una influencia muy fuerte sobre las características inherentes de cada especie a través de la competencia.

En una investigación realizada en el valle de México, Castro *et al.* (2013), reportaron la mayor densidad de tallos de pasto ovillo en los meses de abril, octubre y noviembre (inicios de primavera y otoño), similar a lo encontrado en esta investigación.

Resultados parecidos fueron reportados por otros investigadores (8, 12) quienes observaron, en praderas puras de pasto ovillo, la mayor densidad de tallos en otoño e invierno y menor en primavera-verano.

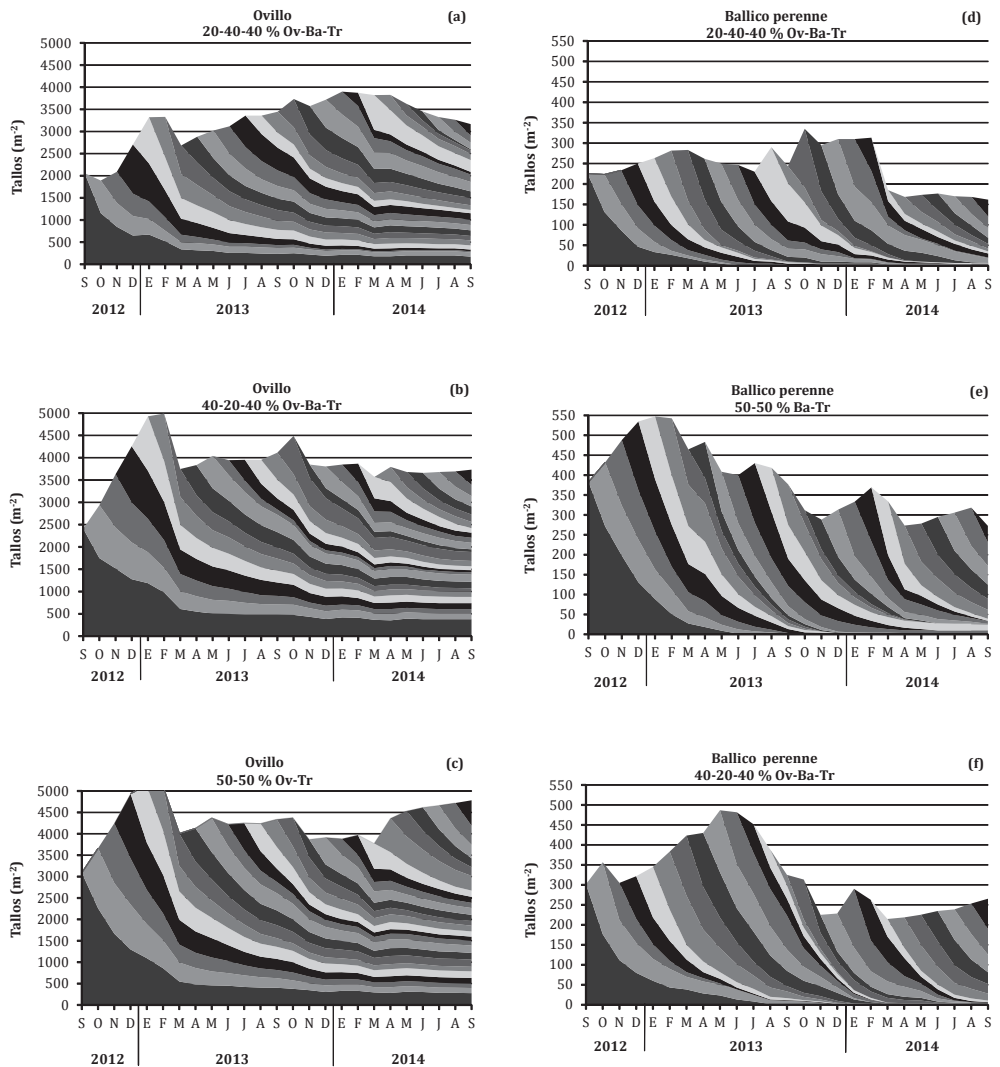


Figura 3. Cambios mensuales en la densidad de tallos de pasto ovillo y ballico perenne asociados con trébol blanco con: a)= 20% de pasto ovillo, b)= 40% de pasto ovillo, c)= 50% de pasto ovillo, d)= 40% de ballico perenne, e)= 50% de ballico perenne y f)= 20% de ballico perenne.

Figure 3. Monthly changes in tiller population density of orchard grass and perennial ryegrass associated with white clover: a)= 20% orchard grass, b)= 40% orchard grass, c)= 50% orchard grass, d)= 40% perennial ryegrass, e)= 50% perennial ryegrass f)= 20% perennial ryegrass.

Con respecto al ballico perenne, se observó una gran variación en su comportamiento, dependiendo del porcentaje en la asociación (figura 3 d, e, f, pág. 41).

Todas las asociaciones con ballico perenne tendieron a disminuir en el tiempo y existieron diferencias entre asociaciones siendo la asociación 00-50-50 de Ov-Ba-Tr la que obtuvo mayor densidad de tallos con un promedio de 420 tallos m^{-2} , mientras que la asociación con la menor densidad fue 20-40-40 de Ov-Ba-Tr con un promedio de 240 tallos m^{-2} ($p = 0,05$).

Todas las asociaciones presentaron la mayor densidad en las estaciones de otoño e invierno, con excepción de la asociación 40-20-40 de Ov-Ba-Tr que presentó la mayor densidad de tallos en primavera y verano del primer año de evaluación.

La poca densidad que presentó el ballico perenne se puede atribuir al tiempo de establecimiento de la pradera, ya que al inicio de la investigación llevaba tres años desde la siembra y a la temperatura promedio máxima registrada en primavera (26°C, figura 1, pág. 39), ya que la temperatura óptima de crecimiento de ballico perenne es de 18°C (2). Hernández-Garay *et al.* (1997), mencionan que dichas temperaturas ocasionan reducción en el crecimiento y tasa de acumulación de forraje, por influencia directa de una menor tasa de aparición y expansión foliar (18).

Existió una amplia variación entre las asociaciones en la densidad de tallos, y según Hernández-Garay *et al.* (1997), se debe a que al marcar los tallos, se acelera la tasa de aparición, debido a los disturbios que ocasionan las mediciones realizadas, al permitir una mayor tasa de filtración de luz a la base de los tallos. Castro *et al.* (2013), encontraron en ballico perenne la mayor densidad en abril y noviembre relacionada con la temperatura mínima.

En otro estudio (31), en monocultivo de ballico perenne reportaron las mayores densidades en verano e invierno y las menores en otoño y primavera.

Por otra parte otros investigadores mencionan que el ballico perenne promueve una rápida formación de tallos con defoliaciones frecuentes (14).

Tasa de aparición, muerte y sobrevivencia de tallos

En la tabla 1 (pág. 43), se presenta la tasa de aparición, muerte y sobrevivencia de tallos de pasto ovillo. Se registraron diferencias estadísticas en la tasa de aparición de tallos ($p = 0,05$) siendo mayor en el promedio del primer año y menor en el segundo año con 0,36 y 0,22 tallos $*100$ tallos d^{-1} , respectivamente ($p = 0,05$). Independientemente de los tratamientos se encontró diferencias en las estaciones con tendencia en disminución en el tiempo, teniendo la mayor aparición en las estaciones de otoño e invierno del primer año con un promedio de 0,71 tallos $*100$ tallos d^{-1} , mientras que la menor se encontró en la estación de verano del primer año y otoño e invierno del segundo año con un promedio de 0,12 tallos $*100$ tallos d^{-1} .

Existió diferencias en el promedio anual, obteniendo la mayor tasa de muerte en el primer año comparada con el segundo año con 0,5 y 0,44 tallos $*100$ tallos d^{-1} , respectivamente ($p = 0,05$). En el primer año las asociaciones 40-20-40 y 50-00-50 de Ov-Ba-Tr obtuvieron la mayor tasa de muerte con un promedio de 57 tallos $*100$ tallos d^{-1} y la menor la asociación 20-40-40 de Ov-Ba-Tr con un promedio de 0,36 tallos $*100$ tallos d^{-1} ($p = 0,05$).

Tabla 1. Tasa de aparición, muerte y sobrevivencia de tallos de pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.) asociado con ballico perenne (*Lolium perenne* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.).

Table 1. Rate of occurrence, death and survival stems orchard grass (*Dactylis glomerata* L.) association with perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and white clover (*Trifolium repens* L.).

Asociación	Otoño	Invierno	Primav.	Verano	Otoño	Invierno	Primav.	Verano	Promedio	
Ov-Ba-Tr	2012	2012	2013	2013	2013	2013	2014	2014	Año 1	Año 2
Tasa de aparición de tallos (Tallos *100 tallos d ⁻¹)										
20-40-40	0,35 ^a	0,11 ^c	0,11 ^c	0,1 ^c	0,14 ^c	0,19 ^b	0,43 ^a	0,11 ^c	0,16 ^B	0,21 ^B
00-50-50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
40-20-40	0,96 ^a	0,69 ^a	0,13 ^c	0,1 ^c	0,14 ^c	0,16 ^c	0,3 ^b	0,38 ^b	0,47 ^A	0,24 ^A
50-00-50	0,97 ^a	1,21 ^a	0,44 ^b	0,15 ^d	0,06 ^d	0,12 ^d	0,28 ^c	0,41 ^b	0,47 ^A	0,21 ^B
Promedio	0,76 ^a	0,67 ^a	0,22 ^{bc}	0,11 ^c	0,11 ^c	0,15 ^c	0,33 ^b	0,3 ^b	0,36 ^a	0,22 ^b
Tasa de muerte de tallos (Tallos *100 tallos d ⁻¹)										
20-40-40	0,46 ^a	0,32 ^b	0,33 ^b	0,34 ^b	0,33 ^b	0,4 ^{ab}	0,48 ^a	0,6 ^a	0,36 ^B	0,45 ^B
00-50-50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
40-20-40	0,67 ^a	0,65 ^a	0,42 ^c	0,45 ^{bc}	0,33 ^d	0,35 ^d	0,51 ^b	0,78 ^a	0,54 ^A	0,49 ^A
50-00-50	0,58 ^{ab}	0,7 ^a	0,66 ^a	0,48 ^b	0,44 ^b	0,28 ^d	0,45 ^b	0,38 ^c	0,6 ^A	0,39 ^C
Promedio	0,57 ^a	0,55 ^a	0,47 ^{ab}	0,42 ^{ab}	0,36 ^b	0,34 ^b	0,48 ^{ab}	0,58 ^a	0,5 ^a	0,44 ^b
Tasa de sobrevivencia de tallos (TST)										
20-40-40	0,53 ^a	0,67 ^a	0,66 ^a	0,65 ^a	0,66 ^a	0,6 ^a	0,51 ^a	0,39 ^a	0,62 ^A	0,54 ^B
00-50-50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
40-20-40	0,32 ^c	0,34 ^c	0,57 ^{ab}	0,54 ^{ab}	0,66 ^a	0,64 ^a	0,48 ^b	0,21 ^d	0,44 ^B	0,5 ^B
50-00-50	0,41 ^b	0,29 ^c	0,33 ^{bc}	0,51 ^{ab}	0,55 ^{ab}	0,71 ^a	0,54 ^{ab}	0,61 ^a	0,38 ^B	0,6 ^A
Promedio	0,42 ^b	0,43 ^b	0,52 ^{ab}	0,56 ^{ab}	0,62 ^a	0,65 ^a	0,51 ^{ab}	0,40 ^b	0,48 ^b	0,54 ^a

abc = Medias con la misma letra minúscula en una misma hilera, no son diferentes (p = 0,05);
 ABC = Medias con la misma letra mayúscula en una misma columna, no son diferentes (p = 0,05);
 Primav. = primavera; Ov = pasto ovilla; Ba = ballico perenne; Tr = trébol blanco.

abc = Means with the same literal lowercase in the same row are not different (p = 0.05);
 ABC = Means with the same literal capital in the same column are not different (p = 0.05);
 Primav. = spring; Ov = orchard grass; Ba = perennial ryegrass; Tr = white clover.

En el segundo año la asociación 40-20-40 de Ov-Ba-Tr es la que obtuvo la mayor tasa de muerte con un promedio de 0,49 tallos *100 tallos d⁻¹ y el menor la asociación 50-00-50 de Ov-Ba-Tr con un promedio de 0,39 tallos *100 tallos d⁻¹ (p = 0,05).

Entre estaciones también existieron diferencias estadísticas, siendo las cuatro estaciones del primer año y primavera-verano del segundo año las que reportaron la mayor tasa de muerte con un promedio de 0,51 tallos *100 tallos d⁻¹.

Caso contrario sucedió en la tasa de sobrevivencia siendo las asociaciones con mayor tasa a 20-40-40 de Ov-Ba-Tr para el primer año y 50-00-50 de Ov-Ba-Tr para el segundo año con 0,62 y 0,6, respectivamente.

Las estaciones con mayor tasa de sobrevivencia fueron primavera-verano del primer año y otoño, invierno y primavera del segundo año con un promedio de 0,57, las restantes estaciones fueron las menores con un promedio de 0,41.

Castro *et al.* (2013), reportaron en pasto ovilla diferencias entre asociaciones durante el invierno, presentando dos picos más altos en primavera y otoño en tasa de aparición de tallos.

Por su parte, Durand *et al.* (1999) mencionan que la velocidad de crecimiento de las plantas forrajeras depende de los factores ambientales, particularmente el clima por lo que las variaciones observadas en la dinámica de ahijamiento (aparición y muerte de tallos), podría deberse a los cambios drásticos en la calidad de la luz y a la temperatura óptima de crecimiento de la especie, así como, a la disminución progresiva en la biomasa verde, conforme crece la pradera (21). Esto se debe a que la tasa de formación de tallos se reduce como resultado de una respuesta fotomorfogénica y el sombreado de las capas inferiores de la pradera.

Por otro lado, cuando varias especies se encuentran en su máximo potencial de crecimiento, el componente más importante del rendimiento de forraje es el peso por tallo (15), por lo que la alta tasa de muerte de tallos registrada en el primer año de evaluación, se debió a la mayor tasa de crecimiento individual de cada tallo, lo que sombreó a los tallos pequeños, presentes en los estratos inferiores de la pradera, incrementando la mortalidad de los mismos (20).

En la tabla 2 (pág. 45), se encuentra la tasa de aparición, muerte y sobrevivencia de tallos de ballico perenne; se encontró diferencias estadísticas entre la tasa promedio de aparición de tallos del primer año y el segundo año con 0,77 y 0,57 tallos *100 tallos d⁻¹, respectivamente (p = 0,05).

Las asociaciones 40-20-40 y 00-50-50 de Ov-Ba-Tr obtuvieron la mayor tasa de aparición, en ambos años, con un promedio de 0,85 y 0,6 tallos *100 tallos d⁻¹, para el primer y segundo año.

La menor tasa de aparición la obtuvo la asociación 20-40-40 de Ov-Ba-Tr en ambos años con 0,62 y 0,51 tallos *100 tallos d⁻¹, para el primer y segundo año (p = 0,05).

Las estaciones que mayor tasa de aparición aportaron independientemente de las asociaciones fueron otoño, invierno y primavera del primer año e invierno del segundo año con un promedio de 0,78 tallos*100 tallos d⁻¹, mientras que las demás estaciones fueron las menores con un promedio de 0,52 tallos *100 tallos d⁻¹ (p = 0,05).

Castro *et al.* (2013) reportan en ballico perenne la mayor tasa de aparición en abril y noviembre (primavera y otoño) similares a los de esta investigación ya que en otoño se encontraron las mayores tasas de aparición de tallos.

Sin embargo, Garduño *et al.* (2009), al evaluar ballico perenne a diferentes frecuencias e intensidad de pastoreo, registraron la mayor densidad de tallos a finales de verano.

Por su parte, Velasco *et al.* (2007), en praderas puras de ballico perenne, registraron las mayores tasas de aparición de tallos en verano e invierno, las cuales duplicaron a las de otoño y primavera, similar a lo observado en este estudio, ya que se encontró en invierno de ambos años la mayor tasa de aparición.

La tasa de muerte de tallos disminuyó con el tiempo teniendo la menor tasa en la estación de verano del segundo año con un promedio de 0,36 tallos *100 tallos d⁻¹, mientras que las restantes fueron superiores con un promedio de 0,67 tallos *100 tallos d⁻¹ (p = 0,05).

Existieron diferencias estadísticas entre años, presentando el primer año la mayor tasa de muerte con 0,72 y 0,54 tallos *100 tallos d⁻¹ y el segundo año la menor con 0,54 tallos *100 tallos d⁻¹.

Tabla 2. Tasa de aparición, muerte y sobrevivencia de tallos de ballico perenne (*Lolium perenne* L.) asociado con pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.).

Table 2. Rate of occurrence, death and survival stems of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) associated with orchard grass (*Dactylis glomerata* L.) and white clover (*Trifolium repens* L.).

Asociación	Otoño	Invierno	Primav.	Verano	Otoño	Invierno	Primav.	Verano	Promedio	
Ov-Ba-Tr	2012	2012	2013	2013	2013	2013	2014	2014	Año 1	Año 2
Tasa de aparición de tallos (Tallos *100 tallos d ⁻¹)										
20-40-40	0,57 ^b	0,71 ^a	0,66 ^{ab}	0,56 ^b	0,85 ^a	0,67 ^{ab}	0,25 ^c	0,27 ^c	0,62 ^B	0,51 ^B
00-50-50	0,95 ^a	0,9 ^a	0,7 ^b	0,8 ^{ab}	0,36 ^c	0,81 ^{ab}	0,63 ^b	0,63 ^b	0,83 ^A	0,60 ^A
40-20-40	0,91 ^a	0,84 ^a	0,95 ^a	0,31 ^d	0,48 ^c	0,76 ^b	0,56 ^{bc}	0,63 ^b	0,87 ^A	0,61 ^A
50-00-50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Promedio	0,81 ^a	0,81 ^a	0,77 ^b	0,55 ^b	0,56 ^b	0,74 ^{ab}	0,48 ^b	0,51 ^b	0,77 ^a	0,57 ^b
Tasa de muerte de tallos (Tallos *100 tallos d ⁻¹)										
20-40-40	0,55 ^b	0,6 ^{ab}	0,72 ^a	0,57 ^{ab}	0,52 ^b	0,7 ^a	0,44 ^{bc}	0,31 ^c	0,61 ^B	0,49 ^C
00-50-50	0,9 ^a	0,8 ^{ab}	0,8 ^{ab}	0,83 ^{ab}	0,72 ^b	0,57 ^c	0,53 ^c	0,23 ^d	0,83 ^A	0,51 ^B
40-20-40	0,86 ^a	0,66 ^b	0,78 ^a	0,65 ^b	0,81 ^a	0,58 ^b	0,62 ^b	0,54	0,73 ^{AB}	0,63 ^A
50-00-50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Promedio	0,77 ^a	0,68 ^a	0,76 ^a	0,68 ^a	0,68 ^a	0,61 ^{ab}	0,53 ^b	0,36 ^c	0,72 ^a	0,54 ^b
Tasa de sobrevivencia de tallos (TST)										
20-40-40	0,45 ^b	0,39 ^{bc}	0,27 ^c	0,42 ^b	0,47 ^b	0,3 ^c	0,55 ^b	0,68 ^a	0,38 ^A	0,5 ^A
00-50-50	0,1 ^c	0,2 ^c	0,2 ^c	0,16 ^c	0,27 ^c	0,42 ^b	0,46 ^b	0,76 ^a	0,16 ^C	0,47 ^A
40-20-40	0,13 ^b	0,33 ^{ab}	0,21 ^b	0,34 ^{ab}	0,18 ^b	0,41 ^a	0,37 ^a	0,45 ^a	0,25 ^B	0,35 ^B
50-00-50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Promedio	0,22 ^d	0,3 ^{cd}	0,22 ^d	0,3 ^{cd}	0,3 ^{cd}	0,37 ^c	0,46 ^b	0,63 ^a	0,26 ^b	0,44 ^a

abc = Medias con la misma letra minúscula en una misma hilera, no son diferentes (p = 0,05);
 ABC = Medias con la misma letra mayúscula en una misma columna, no son diferentes (p = 0,05);
 Primav.= primavera; Ov = pasto ovillo; Ba = ballico perenne; Tr = trébol blanco.

abc = Means with the same literal lowercase in the same row are not different (p = 0.05);
 ABC = Means with the same literal capital in the same column are not different (p = 0.05); Primav.= spring;
 Ov = orchard grass; Ba = perennial ryegrass; Tr = white clover.

La asociación que obtuvo la menor tasa de muerte en ambos años fue 20-40-40 de Ov-Ba-Tr con un promedio de 0,55 tallos *100 tallos d⁻¹, mientras que la asociación con la mayor tasa de muerte en el primer año fue 00-50-50 con 0,83 tallos *100 tallos d⁻¹ y en el segundo año 40-20-40 de Ov-Ba-Tr con 0,63 tallos *100 tallos d⁻¹.

La tasa de sobrevivencia de tallos mostró una tendencia a aumentar con el tiempo, teniendo, en promedio del segundo año, la mayor tasa comparado

con en el primer año con 0,44 y 0,26, respectivamente (p = 0,05).

En verano del segundo año se encontró la mayor tasa de sobrevivencia con un promedio de 0,63 y las estaciones con la menor tasa de sobrevivencia fueron otoño y primavera del primer año con un promedio de 0,22 (p = 0,05). Entre asociaciones existieron diferencias en la tasa de sobrevivencia siendo la asociación 20-40-40 de Ov-Ba-Tr la que presentó la mayor tasa con un promedio de 0,5 y 0,38 para el segundo y primer año, respectivamente (p = 0,05).

Castro *et al.* (2013), reportaron en praderas de ballico perenne variación en la tasa de mortalidad de tallos entre asociaciones durante el período de evaluación y solo se registraron diferencias estadísticas ($p = 0,05$) en abril y en octubre cuando hubo la mayor mortalidad, atribuido principalmente a la presencia de heladas y a la defoliación severa y selectiva de los ovinos.

Otros autores, registraron la mayor tasa de muerte en verano (septiembre) y lo atribuyen a la competencia por luz, nutrientes y a la defoliación de tallos reproductivos que son la fuente de nutrientes de los tallos jóvenes (10). Sin embargo, los resultados anteriores difieren a los encontrados en esta investigación, ya que se puede atribuir a que las asociaciones llevaban tres años desde la siembra y

la persistencia fue disminuyendo con el tiempo (plantas m^{-2}) por la competencia inter-específica e intra-específica por nutrientes, luz y espacio, lo que pudo aumentar la tasa de muerte de los tallos.

Peso por tallo

Como se observa en la tabla 3, el peso por tallo de pasto ovido presentó diferencias en peso de tallos de pasto ovido en el promedio por año.

En primavera-verano de ambos años y otoño del primer año se encontró en promedio el mayor peso por tallo en pasto ovido con un promedio de $0,29 \text{ g tallo}^{-1}$, mientras que las demás estaciones fueron donde se presentó el menor peso por tallo con un promedio de $0,2 \text{ g tallo}^{-1}$ ($p = 0,05$).

Tabla 3. Peso de tallos de pasto ovido (*Dactylis glomerata* L.) y ballico perenne (*Lolium perenne* L.) asociados con trébol blanco (*Trifolium repens* L.).

Table 3. Weight stems orchard grass (*Dactylis glomerata* L.) and perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) associated with white clover (*Trifolium repens* L.).

Asociación	Otoño	Invierno	Primav.	Verano	Otoño	Invierno	Primav.	Verano	Promedio	
Ov-Ba-Tr	2012	2012	2013	2013	2013	2013	2014	2014	Año 1	Año 2
Pasto ovido (g tallos ⁻¹)										
20-40-40	0,35 ^a	0,26 ^b	0,28 ^b	0,3 ^{ab}	0,31 ^{ab}	0,27 ^b	0,27 ^b	0,31 ^{ab}	0,3 ^A	0,29 ^A
00-50-50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
40-20-40	0,26 ^b	0,18 ^c	0,39 ^a	0,31 ^{ab}	0,2 ^{bc}	0,17 ^c	0,35 ^a	0,31 ^{ab}	0,28 ^A	0,25 ^B
50-00-50	0,22 ^{ab}	0,16 ^b	0,31 ^a	0,27 ^a	0,17 ^b	0,15 ^b	0,3 ^a	0,27 ^a	0,24 ^B	0,22 ^C
Promedio	0,27 ^{ab}	0,2 ^b	0,32 ^a	0,29 ^{ab}	0,22 ^b	0,19 ^b	0,30 ^a	0,29 ^{ab}	0,27 ^a	0,25 ^b
Ballico perenne (g tallos ⁻¹)										
20-40-40	0,25 ^b	0,23 ^b	0,6 ^a	0,27 ^b	0,23 ^b	0,21 ^b	0,55 ^a	0,28 ^b	0,34 ^A	0,32 ^A
00-50-50	0,23 ^{bc}	0,2 ^c	0,45 ^a	0,25 ^b	0,22 ^{bc}	0,19 ^c	0,42 ^a	0,24 ^b	0,28 ^B	0,26 ^B
40-20-40	0,14 ^c	0,11 ^c	0,48 ^a	0,36 ^b	0,12 ^c	0,1 ^c	0,43 ^a	0,35 ^b	0,27 ^B	0,25 ^B
50-00-50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Promedio	0,2 ^c	0,18 ^c	0,51 ^a	0,29 ^b	0,19 ^c	0,16 ^c	0,46 ^a	0,29 ^b	0,29 ^a	0,27 ^b

abc = Medias con la misma letra minúscula en una misma hilera, no son diferentes ($p = 0,05$);

ABC = Medias con la misma literal letra mayúscula en una misma columna, no son diferentes ($p = 0,05$);

Primav. = primavera; Ov = pasto ovido; Ba = ballico perenne; Tr = trébol blanco.

abc = Means with the same literal lowercase in the same row are not different ($p = 0.05$);

ABC = Means with the same literal capital in the same column are not different ($p = 0.05$);

Primav.= spring; Ov = orchard grass; Ba = perennial ryegrass; Tr = white clover.

La asociación 20-40-40 de Ov-Ba-Tr, fue la que obtuvo el mayor peso por tallo de pasto ovillo, en ambos años, con un promedio de 0,3 g tallo⁻¹, y la menor fue 50-00-50 de Ov-Ba-Tr con un promedio de 0,23 g tallo⁻¹ ($p = 0,05$).

Estos resultados son similares a los encontrados por diferentes investigadores quienes evaluaron el pasto ovillo solo (10, 27, 30) y asociado con ballico perenne y trébol blanco (3, 7, 23, 26, 27), y observaron que en primavera y verano se presenta la mayor cantidad de biomasa producida, lo cual está estrechamente correlacionado con el peso por tallo.

Los investigadores que evaluaron gramíneas solas y asociaciones (4, 7, 26) reportaron el mayor rendimiento en praderas en asociación con trébol blanco, y ellos se lo atribuyen a la leguminosa ya que esta posee bacterias del género *Rhizobium* que fija nitrógeno atmosférico al suelo y es aprovechado por la gramínea aumentando el rendimiento. Ya que Grünwaldt *et al.* (2015), mencionan que en una especie sola es indispensable el aporte de fertilizantes nitrogenados para aumentar su rendimiento.

Por otra parte Castro *et al.* (2013), en asociaciones, en pasto ovillo reportan en verano el mayor peso por tallo.

El ballico perenne presenta diferencias estadísticas en el peso por tallo en promedio por año y (tabla 3, pág. 46) entre asociaciones siendo 20-40-40 de Ov-Ba-Tr la que registró el mayor en el primer y segundo año con 0,34 y 0,32 g tallo⁻¹; mientras que el menor peso la obtuvieron las demás asociaciones en los dos años de investigación ($p = 0,05$).

En primavera de ambos años se presentó mayor peso de tallos de ballico perenne con un promedio de 0,48 g tallo⁻¹, seguido de verano con un promedio de 0,29 g tallo⁻¹, mientras que el menor peso por tallo se observó en las estaciones de invierno y otoño de ambos años con un promedio de 0,18 g tallo⁻¹ ($p = 0,05$).

Varios autores (4, 31) reportaron resultados similares en ballico perenne cuando, en primavera-verano y otoño, se registraron el mayor y menor peso promedio por tallo, respectivamente.

CONCLUSIÓN

La asociación 20-40-40 de Ov-Ba-Tr fue la que obtuvo el mayor peso por tallo y la menor dinámica de población de tallos en ambos pastos, por lo tanto, existió una compensación tamaño/densidad, lo cual se reflejó en el mayor rendimiento de forraje.

En todas las asociaciones durante primavera-verano se presentó el mayor peso por tallo.

La tasa de aparición y muerte de tallos en ambas gramíneas tendieron a disminuir con el tiempo, en contraste, su tasa de sobrevivencia aumentó conforme pasó el tiempo.

Se recomienda utilizar la asociación 20-40-40 de Ov-Ba-Tr cosechándola durante primavera-verano a una frecuencia de 4 semanas y en otoño e invierno a 5 y 6 semanas; se sugiere continuar con investigaciones futuras de asociaciones empleando mayor número de especies y tiempo de evaluación en estos parámetros de producción.

BIBLIOGRAFÍA

1. Berone, G. D. 2016. Leaf expansion and leaf turnover of perennial C4 grasses growing at moderately low temperatures. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 48(2): 69-82.
2. Brock, J. L.; Tilbrook, J. C. 2000. Effect of cultivar of white clover on plant morphology during the establishment of mixed pastures under sheep grazing. *New Zealand Journal of Agricultural Research.* 43(3): 335-343.
3. Castro, R. R.; Hernández-Garay, A.; Vaquera, H. H.; Hernández, P. G. J.; Quero, C. A. R.; Enríquez, Q. J. F.; Martínez, H. P. A. 2012. Comportamiento productivo de asociaciones de gramíneas con leguminosas en pastoreo. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 35(1): 87-95.
4. Castro, R. R.; Hernández-Garay, A.; Ramírez, R. O.; Aguilar, B. G.; Enríquez, Q. J. F.; Mendoza, P. S. I. 2013. Crecimiento en longitud foliar y dinámica de población de tallos de cinco asociaciones de gramíneas y leguminosa bajo pastoreo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias.* 4(2): 201-215.
5. Chapman, D. F.; Lemaire, G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. *Proceedings of the XVII International Grassland Congress. New Zealand and Australia* 95-104 p.
6. Durand, J. L.; Schaufele, R.; Gastal, F. 1999. Grass leaf elongation rate as a function of developmental stage and temperature: Morphological analysis and modeling. *Annals of Botany.* 83(5): 577-588.
7. Flores, S. E. J.; Hernández, G. A.; Guerrero, R. J. D.; Quero, C. A. R.; Martínez, H. P. A. 2015. Productividad de asociaciones de pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.), ballico perenne (*Lolium perenne* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias.* 6(3): 337-347.
8. Ganderats, F. S.; Hepp, K. C. 2003. Mecanismos de crecimiento de *Lolium perenne*, *Festuca arundinacea* y *Dactylis glomerata* en la zona intermedia de Aysén. *Agricultura Técnica.* 63(2): 259-265.
9. García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 4 (ed). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 217 p.
10. Garduño, V. S.; Pérez, P. J.; Hernández-Garay, A.; Herrera, H. J. G.; Martínez, H. P. A.; Joaquín, T. B. M. 2009. Rendimiento y dinámica de crecimiento estacional de ballico perenne, pastoreado con ovinos a diferentes frecuencias e intensidades. *Técnica Pecuaria en México.* 47(2): 189-202.
11. Grünwaldt, J. M.; Guevara, J. C.; Grünwaldt, E. G.; Martínez Carretero, E. 2015. Cacti (*Opuntia* spp.) as forage in Argentina dry lands. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 47(1): 263-282.
12. Hernández, G. F. J.; Hernández-Garay, A.; Ortega, J. E.; Enríquez, Q. J. F.; Velázquez, M. M. 2015. Comportamiento productivo del pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.) en respuesta al pastoreo. *Agronomía Mesoamericana.* 26(1): 33-42.
13. Hernández-Garay, A.; Hodgson, J.; Matthew, C. 1997. Effect of spring grazing management on perennial ryegrass/White clover pastures. 2. Tiller and growing point densities and population dynamics. *New Zealand Journal Agricultural Research.* 40(1): 37-50.
14. Hernández-Garay, A.; Matthew, C.; Hodgson, J. 1999. Tiller size/density compensation in perennial ryegrass miniature swards subject to differing defoliation heights and a proposed productivity index. *Grass and Forage Science.* 54(4): 347-356.
15. Hernández-Garay, A.; Matthew, C.; Hodgson, J. 2000. The influence of defoliation height on dry-matter partitioning and CO₂ exchange of perennial ryegrass miniature swards. *Grass and Forage Science.* 55(4): 372-376.
16. Hodgson, J. 1990. *Grazing Management: Science into Practice.* Longman Scientific and Technical. Harlow, England. 204 p.
17. Hodgson, J.; Da Silva, S. C. 2002. Options in tropical pasture management. *Proc Annu Meet Brazilian Society of Animal Science. Recife, Brazil.* 180-202 p.

- 18 Horrocks, R.; Vallentine, J. F. 1999. Harvested Forages. Academic Press. Oval Road, London, United States of America. 426 p.
19. Lemaire, G. 2001. Ecophysiology of grasslands: dynamic aspects of forage plant population in swards. Proceedings. XVII. International Grassland Congress. Brazil. 29-37 p.
20. Matthew, C. 1996. Seasonal patterns of rood, tiller and leaf production in a Grassland Ruanui ryegrass sward. Proceeding of the New Zealand Grassland Association. 58: 73-76.
21. Matthew, C.; Val Loo, E. R.; Tom, E. R.; Dawson, L. A.; Care, D. A. 2001. Understanding shoot and root development. Proceeding of the XIX International Grassland Congress. Sao Pedro, Sao Paulo, Brasil. 19-17 p.
22. Minitab. 2006. Meet minitab, Manual for the basic practice of statistics. W Freeman (ed). USA.
23. Moreno, C. M. A.; Hernández-Garay, A.; Vaquera, H. H.; Trejo, L. C.; Escalante, E. J. A.; Zaragoza, R. J. L.; Joaquín, T. B. M. 2015. Productividad de siete asociaciones y dos praderas puras de gramíneas y leguminosas en condiciones de pastoreo. Revista Fitotecnia Mexicana. 38(1): 101-108.
24. Ortiz, S. C. 1997. Colección de Monolitos. Depto. Génesis de Suelos. Edafología. IRENAT. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 17 p.
25. Pérez, B. M. T.; Hernández-Garay, A.; Pérez, P. J.; Herrera, H. J. G.; Bárcena, G. R. 2002. Respuesta productiva y dinámica de rebrote del ballico perenne a diferentes alturas de corte. Técnica Pecuaria en México. 40(3): 251-263.
26. Rojas, G. A. R.; Hernández-Garay, A.; Quero, C. A. R.; Guerrero, R. J. D.; Ayala, W.; Zaragoza, R. J. L.; Trejo, L. C. 2016. Persistencia de *Dactylis glomerata* L. solo y asociado con *Lolium perenne* L. y *Trifolium repens* L. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 7(4): 885-895.
27. Rojas, G. A. R.; Hernández-Garay, A.; Ayala, W.; Mendoza, O. S. I.; Joaquín, C. S.; Vaquera, H. H.; Santiago, O. M. A. 2016. Comportamiento productivo de praderas con distintas combinaciones de ovillo (*Dactylis glomerata* L.), ballico perenne (*Lolium perenne* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 48(2): 57-68.
28. SAS, Institute. 2009. SAS/STAT® 9.2. Use's Guide Release. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA.
29. Velasco, Z. M. E.; Hernández-Garay, A.; González, H. V. A.; Pérez, P. J.; Vaquera, H. H.; Galvis, S. A. 2001. Curva de crecimiento y acumulación estacional del pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.). Técnica Pecuaria en México 39(1): 1-14.
30. Velasco, Z. M. E., Hernández-Garay, A.; González, H. V. A. 2002. Curvas estacionales de crecimiento del ballico perenne. Revista Fitotecnia Mexicana. 25: 97-106.
31. Velasco, Z. M. E.; Hernández-Garay, A.; González, H. V. A. 2007. Cambios en componentes del rendimiento de una pradera de ballico perenne, en respuesta a la frecuencia de corte. Revista Fitotecnia Mexicana. 30(1): 79-87.
32. Villareal, G. J. A.; Hernández-Garay, A.; Martínez, H. P. A.; Guerrero, R. J. D.; Velasco, Z. M. E. 2014. Rendimiento y calidad de forraje del pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.) al variar frecuencia e intensidad de pastoreo. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 5(2): 231-245.

Sorghum (*Sorghum bicolor*) pollen availability and seed set under different proportion male:female plants in Mexican highlands

Disponibilidad de polen y producción de semilla en sorgo (*Sorghum bicolor*) bajo diferente proporción de plantas macho y hembra en valles altos de México

María E. Cisneros-López ¹, Alberto J. Valencia-Botín ², Yokiushirdhilgilmara Estrada-Girón ³

Originales: *Recepción*: 28/05/2014 - *Aceptación*: 04/12/2015

ABSTRACT

The availability of pollen in sorghum (*Sorghum bicolor* [Moench] L.) production is generally not considered a restrictive factor due to the sorghum self-pollination process. However, during the cross pollination process restrictions could play a role that depends on the distance of the pollen source, the proportion of male to female plants and the sowing date. The objective of this experiment was to establish the relationship between pollen production, deposition and season variations in seed set under different proportion male:female rows. The A9/B9-line was sowed on May 3, June 10, 2005, with the proportions: 2:4, 2:6 and on April 3, 2006 with proportions of 2:12 and 2:16 in Montecillo, State of Mexico. In isolines, number of flowers per panicle was measured at the ending of flowering. During all the flowering period, pollen production was quantified in male line and pollen deposition on female line rows using passive traps. During harvest the length of panicle was measured, quantified by the number of seeds per panicle and seed set was estimated. The pollen availability, synchrony floral, duration of phenological stage and seed production were influenced by sowing date and varied with the male and female rows. Precocity was observed in A9 female isoline more than B9-male line in three sowing dates. Number of pollen grains and seeds declined proportionally with increasing distance from the pollen source, but the rate was different for each proportion. The pollination was associated more to the size of pollen source and its dispersion than with population of female plants.

Keywords

Sorghum bicolor • floral synchrony • pollen production • pollen availability

-
- 1 INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias), Campo Experimental Rio Bravo, Tamaulipas, México.
 - 2 Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Ciénega. Av. Universidad 1115, Ocotlán, Jalisco, México. botin77@gmail.com (Corresponding author's).
 - 3 Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Guadalajara, Blvd. M. García Barragán 1451, Guadalajara, Jalisco, México.

RESUMEN

La disponibilidad de polen en la producción de sorgo (*Sorghum bicolor* [Moench] L.) generalmente no se considera un factor restrictivo debido al proceso de auto polinización; sin embargo durante la polinización cruzada diversas restricciones como la distancia de la fuente del polen, proporción de plantas macho y hembra y la fecha de siembra, podrían jugar un papel importante. El objetivo de este experimento fue establecer la relación entre la producción, deposición y cambios estacionales de polen en la producción de semilla; utilizando diferentes proporciones de surcos masculinos:femeninos. La línea A9/B9 se sembró el 3 de mayo y 10 de junio de 2005 con las proporciones 2:4, 2:6 y el 3 de abril de 2006 con los proporciones 2:12 y 2:16 en Montecillo, Estado de México. En las líneas, se midió el número de flores por panícula al final de la floración. Durante todo el período de floración, se cuantificó la producción de polen en línea masculina y la deposición de polen en surcos femeninos, utilizando trampas pasivas. En la cosecha se midió la longitud de la panícula, cuantificado por el número de semillas por panícula y la producción estimada de semillas. La disponibilidad de polen, sincronía floral, duración del estado fenológico y la producción de semillas fueron influenciadas por la fecha de siembra y varió por los surcos masculinos y femeninos. Se observó precocidad en la línea femenina A9 más que en la línea masculina B9 para las tres fechas de siembra. El número de granos de polen y semillas declinó proporcionalmente según se incrementó la distancia de la fuente de polen, pero la tasa fue diferente para cada proporción. La polinización se asoció más con el tamaño de la fuente de polen y su dispersión más que con la población de plantas femeninas.

Palabras clave

Sorghum bicolor • sincronía floral • producción de semilla • disponibilidad de polen

INTRODUCTION

The pollination and floral biology of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] are important factors for hybrid seed production (33) and relate to the incidences of sorghum midge [*Contarinia sorghicola* (Coquillett)] and sorghum ergot (*Claviceps africana* Frederickson, Mantle and de Millano) (16, 18). In anemophilous species the floral morphology, synchrony and weather conditions affect the pollen shedding (24).

The level of cross pollination varies with genotype of the male and female lines (31). The pollen emission is linked to the fraction of plants emitting pollen, pollen concentration in the air and pollen

deposition within the crop (23). Successful pollination in seed plots depends on the pollen dispersion, space, and time restrictive factors (4, 35).

Temperatures under 12°C reduce the quantity of viable pollen in susceptible genotypes of sorghum. Low temperature could also affect stigma receptivity (26, 32) and the viability of pollen as measured by the seed set (9, 22).

Moreover, the abundant pollen is critical for genetic purity during cross pollination (1, 15). The combination of male per female rows and their densities for maximum yield per female is often

based on practical experience rather than quantitative information on the flowering biology of crop (39). There is a general lack of information about the effectiveness of cross pollination in seed set of sorghum. Recently, studies have been conducted for evaluating the risk of GM flow (34), as well as the adverse effects of global climate change in pollen production, pollen viability and seed set (29, 32).

Objectives

a) Evaluate the changes of pollen availability by quantifying the pollen production of male plant and pollen deposition on passive pollen traps in female rows during flowering period,

b) Measure the floral synchrony in the pair A9/B9 isolines by flowering dynamics,

c) Measure the effect of distance to pollen source and female population in seed set of A9/B9 sorghum line using five proportions male:female rows (MFR) under field condition.

MATERIALS AND METHODS

Experiment settings

Experiments were conducted in Montecillo, State of Mexico (18°56'48" N; 97°49'54" W; 2240 m altitude). The male-sterile A9-line (A9 x B9) was sowed in May 3 and June 10, 2005. The proportion male:female rows (MFR) were 2:4 and 2:6. The number of female rows was increased in the year 2006 to 2:12 and 2:16 and the sowing date was April 3. In all the cases, harvest was completed by October. Orientation row plot was according to the dominant wind. The rows were of 20 meters long, with a spacing 0.90 m and 0.10 m among plants in both parents. Final plant population in female rows were 74,000 (2:4); 83,000 (2:6),

95,000 (2:12) and 99,000 (2:16). Each proportion represents male number rows *versus* female rows.

Ten rows of tall (3.0 m) maize (*Zea mays* L.) were used to wall and separate each subplot and boot stage in order to eliminate tassel and to tramp maize pollen during pollination. The plots were maintained as isolated for sowing date in order to avoid alien pollen on tramps.

The experiment was free of weeds and of watering. Air temperature (°C), relative humidity (%), rain (mm), direction and wind speed (m/s) at 2 m height were measured using a meteorological station located at 150 m from the experimental site.

Pollen production and viability

At the beginning of flowering; a branch from the middle of the panicle of five male-fertile plants was fixed in FAA (3.6% formaldehyde, 5% acetic acid and 50% ethanol in distilled water).

The pollen viability (PV) was determined in ten anthers per branch (five 20 grains fields per anther, on average) using acetocarmine with five repetitions. Pollen was considered fertile when it had a cytoplasm density of at least 75% (9).

In each sowing date at the beginning of flowering, 15 male plants were bagged for collection and quantified pollen production (PP) per plant per day until ending of flowering. The samples were dried at 75°C during 24 h and were weighed (Acculab Balance Mod. VI-3, precision = 0.001 g).

Pollen deposition

The pollen concentration was quantified during all the flowering period using passive traps of adhesive strip of paper tape (15 x 4 cm), attached to a metallic structure. The traps were orientated in a North and South direction

(dominant winds). The first structure was placed inside the male row (0.0 m) and, subsequently each female row from 0.90 to 7.2 m, at the panicle high (1.50 m). At the pollination beginning, the pollen was collected from female rows until the ending of flowering of the male B9-line. The strips were placed since the morning (0900 h) until afternoon (1800 h).

Afterwards, they were taken and kept on plastic Petri dishes (8 cm). The number of pollen grains was counted in an area of 7 x 4 cm (28 cm²) using a light microscope (Swift® No. 815944 in 10X). The variable was reported as the number of pollen grains cm² per day (PG), the total - pollen grains cm² per day of each proportion (TPG) and the pollen grains cm² per day per row of each proportion (PGR).

Floral synchrony

In each sowing date and proportion, 60 male and female plants at flag-leaf stage and complete competence were identified for measuring days to the beginning, (DB), days to 50% flowering or anthesis(DA) and ending of flowering (DE); flowering period (FP) (days from when the first plant began to flower and the last plant ended flowering). The flowering progress was evaluated as the percentages of florets which were exposed in the panicle (25, 50, 75 and 100%); the results were shown in the graphics. The total flowers per panicle in both lines (FFP) was quantify in 30 plants per proportion at the flowering ending.

Seed production and seed set

At harvest, in 30 plants per female row was quantified length of panicle (LP), the seed yield production per panicle (YP), 100 seeds weight (W100S), seeds number per panicle (SP = YP/W100S x 100). In this experiment, only SP was reported and the seed set was estimated by SS = SP/FFP

Data analysis

In all comparisons between the male and female lines (A9 vs. B9), sowing dates (D1 vs. D2, D1 vs. D3, D2 vs. D3) and the proportions male: female rows (2:4, 6:2, 2:8, 2:12 and 2:16) were made according to the Student "t" test. Simple linear regression analyses were conducted using the relationships to determine the relationship between PGR and SP and the distance to pollen emission source (0.9, 1.8, 2.7, 3.6, 4.5, 5.4, 6.3, 7.2 m.). The results were only shown by the third sowing date (April 3, 2006.) A simple linear regression was used between number of female rows (4, 6, 8, 12 and 16) and the variables LP, FFP, TPG, SP and SS (data average per proportion) and Pearson's correlations were calculated among these variables between PP and PG (daily data).

RESULTS

Weather conditions

During all the flowering period were registered differences in quantity of rainfall among sowing dates. In the first and third sowing dates, the total rainfall was similar in duration and intensity: 18 d; 100±2 mm, whereas, in the second sowing date it was registered as 13 d with 52 mm. During all of the floral period the rainfall was recorded in the afternoon. The values of wind speed were 0.8-2.2; 0.5-1.5 and 0.5- 2.2 m/s (D1, D2 and D3, respectively). The average temperature fluctuated between 19±2°C in August, 2005 (D1), 17±2°C in September 2005 (D2), and 18.5±1.5°C in July, 2006 (D3). Averages of relative humidity were from 70-95%, 65-80% and 70-85% (D1, D2 and D3, respectively) with variations < 10 points.

Pollen production, viability and deposition

The variation in pollen production of line-B9 among dates was significant ($p < 0.01$) followed by a normal distribution during flowering period in three sowing dates. Curve shape varied with respect to quantity and distribution of pollen produced in each sowing date (figure 1, page 56). On average, the total pollen production per sowing date was of 169, 194 and 401 mg and pollen production per day was of 8, 9 and 18 mg in first May 3, 2005 second June 10, 2005 and third April 3, 2006, respectively. The results of pollen viability showed significant differences among sowing date 89 ± 5.5 , 80 ± 6.8 and 76 ± 9.5 (D1, D2 and D3, respectively).

Pollen grains were deposited on female panicle rows during the pollination; some peaks were formed during tramping period (figure 1d, e, f, page 56). The maximum quantity of pollen deposited ($\text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$) did not correspond with the maximum of pollen production (mg) in all dates. Pollen production was delayed by four and three days in first and third sowing dates on May 3, 2005 and on April 3, 2006 and it was speeded up for four days during the second day on June 10, 2005. Among sowing dates, the average pollen trapped was significantly different ($p < 0.01$) to the total of pollen deposition (868, 512 and 836 cm^2) and the counting per day was 42, 33, and 27 cm^2 (D1, D2 and D3, respectively).

Floral synchrony

At the anthesis, the female line showed more precocity than the male line of 2 until 9 d and its floral period was shorter than male line from 3 and 5 d. There were significant differences ($p < 0.01$) among dates in the floral behavior. On average,

both parents flowered earlier in the second sowing date June 10, 2005 than the first date of the same year, for 9 days and 17 days, respectively, to the third sowing date April 3, 2006. On average, the floral period was similar among dates (20 d). The number of flowers per female panicle was 2003, 2155, and 1969 in average 2042 and 2228, 2301 and 2146 per male line in average 2225 (D1, D2, D3, respectively). All differences were significant ($p < 0.01$).

The female parent had 5% (183) less flowers than the male line. In the field, both lines flowered heterogeneously in each proportion and sowing date. In figure 1 (page 56), it showed the flowering pattern in plant population in both line, in base on flowering opening of panicle in female (a, b, c) and male (g, h, i). On average, only 15% of female population began to flower near to 10% of plants was delayed (figure 1a, b, c, page 56) and the male line had similar response (figure 1g, h, i, page 56). A fraction of the female population was completely coincident with the maximum quantity of pollen production of male line (mg per day) during the pollination (figure 1d, e, f, page 56); the differences varied with the sowing date and this response was observed at the beginning of flowering by precocity of the female line (figure 1a, b, c, page 56). Thus, the average of flowers per panicle of the female line and its flowering progress between 25 and 50% of population had near to 400, 1000 and 1500 flowers exerted before pollination (D1, D2 and D3, respectively).

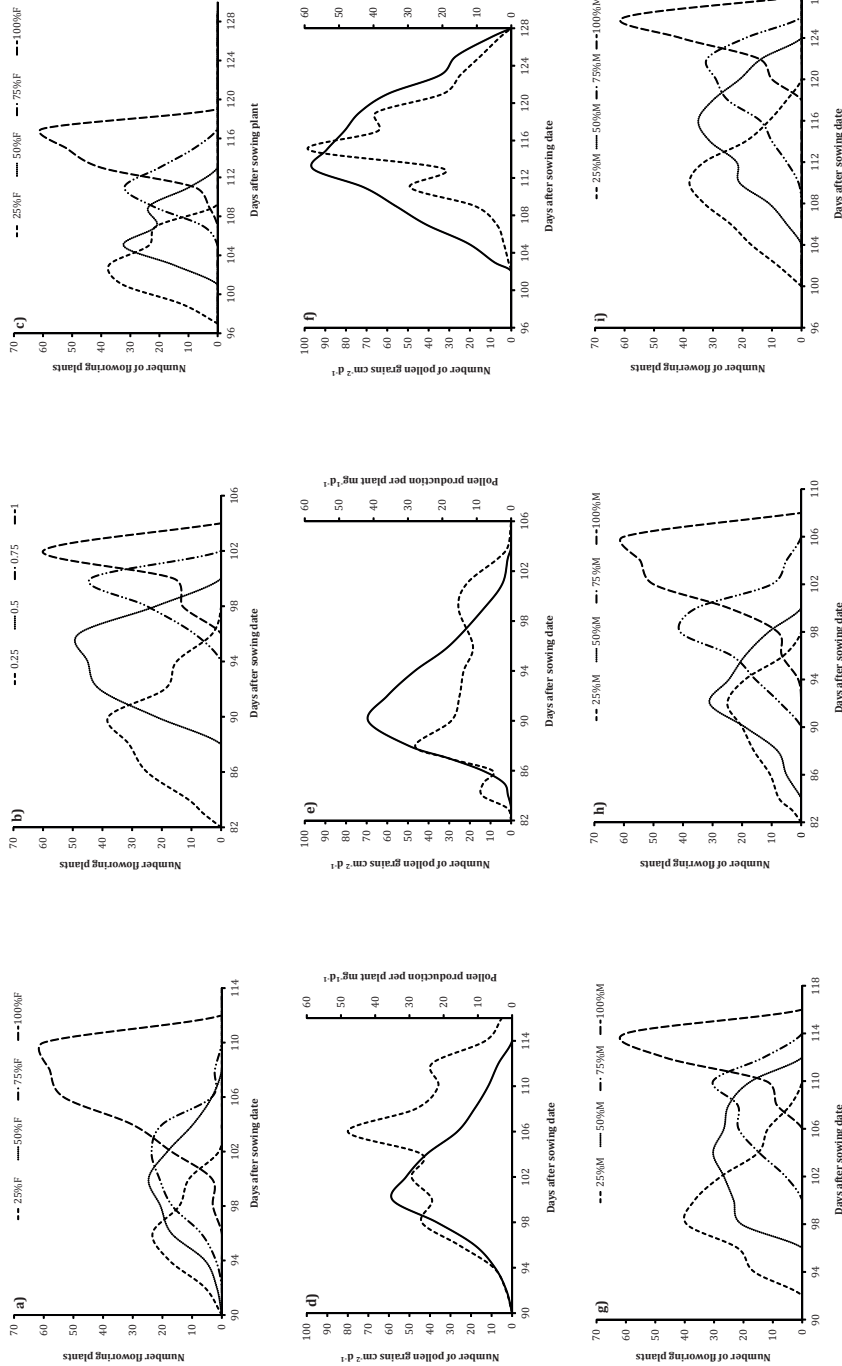


Figure 1. Progress flowering in population of female line (F= a, b, c) and male line (M= g, h, i), pollen production and deposition (d, e, f) in the sowing dates May 3, 2005 (a, d, g), June 10, 2005 (b, e, h) and April 3, 2006 (c, f, i).

Figura 1. Progreso de la floración de línea femenina (F= a, b, c) y línea masculina (M= g, h, i), producción de polen y deposición (d, e, f) en las fechas de siembra mayo 3, 2005 (a, d, g), junio 10, 2005 (b, e, h) y abril 3, 2006 (c, f, i).

Effect of distance in pollen deposition, seed production and seed set

The average of pollen grains trapped cm^2 per day (PGR) and seed per panicle (SP) for each proportion 2:8, 2:12 and 2:16 in year 2006 as a function of distance from the pollen source for each female row, based on simple regression analyses (figure 2). These results confirm the distance effect in the pollen deposition.

At 7.2 m of of distance from the pollen source, the number of pollen grains and seeds declined, but the rate of change was different for each proportion (figure 2).

The regression data showed that for each female row added (0.90 m) both variables in average diminished two times, in others words the tendency was similar ($r=0.94$).

Size source of pollen and seed set

Results from t-tests showed significant differences ($p < 0.01$) for the comparisons among sowing dates by floral and reproductive variables (table 1, page 58). On average, the second date (data of the

proportions 2:4 and 2:6) was superior to the first (data of the proportions 2:4, 2:6 and 2:8) and third (data of the proportions 2:8, 2:12 and 2:16) dates in length of panicle (18.8 ± 1.5 cm), flowers per panicle (2155 ± 176), and seeds per panicle (1262 ± 176) and seed set (0.62 ± 0.20), which represented a difference of 11%.

Contrary to these results, the number of pollen grains cm^2 per day trapped during all of the flowering period was 40% less (512 ± 22) than the first (868 ± 25) and third (836 ± 31) dates.

There were no significant differences among rows proportions, except for proportion 2:16 where the panicle was shorter than the average the others proportions; the panicle was shorter (16.7 ± 0.1) with less flowers (1916 ± 128) and seeds per panicle (969 ± 146). These results represented 180 seeds (16%), however, there were no differences in seed set (0.51 ± 0.07), in contrast to the proportions 2:8 and 2:12, although the proportion 2:16 had more female rows.

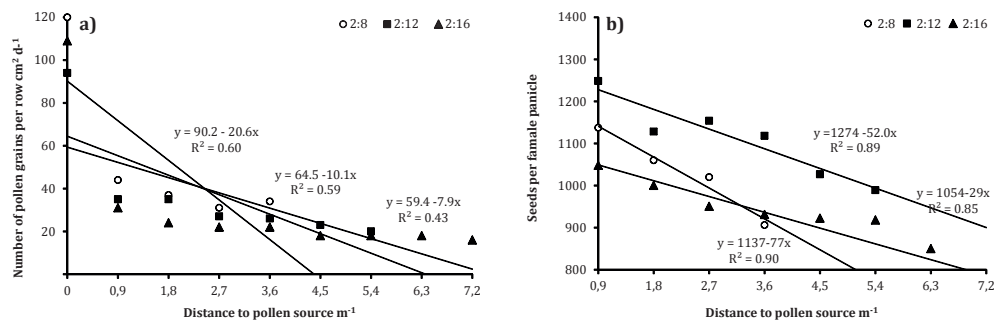


Figure 2. Changes in pollen grains cm^2 per day (a) and seeds per panicle (b) as the distance to the pollen source increases in female rows. Data only of sowing date of April 3, 2006.

Figura 2. Cambios en los granos de polen cm^2 per day (a) y semillas por panícula (b) según el incremento de la distancia de la fuente de polen en surcos femeninos. Datos únicamente para la fecha de siembra abril 3, 2006.

Table 1. Differences among sowing dates in the variables studied.**Tabla 1.** Diferencias entre fechas de siembra en las variables estudiadas.

Sowing date	LP	FFP	TPG	SP	SS
May 3, 2005 (D1)	17.6±1.9	2003±200	868±25	1108±245	0.51±0.18
June 10, 2005(D2)	18.8±1.5	2155±176	512±22	1262±139	0.62±0.20
April 3, 2006 (D3)	17.3±1.2	1969±142	836±31	1026±203	0.57±0.21
Comparisons					
D1 vs. D2	-1.2*	-151*	+178*	-154*	-0.11*
D1 vs. D3	+0.29 ns	+34 ns	+16 ns	+82*	-0.06*
D2 vs. D3	+1.5*	+185*	-162*	+236*	-0.04*

LP= Length of female panicle (cm), FFP= flowers per female panicle, TPG= total of pollen grains cm² per day, SP= seed per panicle per row and SS= seed set. * Significant according to Student's t-test.

LP= Longitud de la panicula femenina (cm), FFP= flores por panicula femenina, TPG= total de granos de polen cm² por día, SP= semillas por panicula por surco y SS= producción de semilla. * Significativo de acuerdo con la prueba t de Student.

Unexpected differences ($p < 0.01$) were found among proportions in panicle length (17.7 ± 0.59) and flowers per panicle (2018 ± 65), because these variables should not be associated with the increase of female rows (table 2, page 59).

However, the correlation of these two variables with number of female rows was high $r = -0.91^*$ and -0.87^* , while the totals of pollen grains cm² per day, seed per panicle and seed set were less correlated ($r = 0.63$, -0.63 and -0.51).

With the increasing of number of female rows, the simple regression analyses showed progressive reductions in the panicle length and flowers per panicle ($y = 18.7 - 0.1x$ $R^2 = 0.83$; $y = 2125 - 11.6x$ $R^2 = 0.73$) and decreased logarithm in seeds per panicle ($y = 1608 - 235 \ln(x)$ $R^2 = 0.52$) and seed set ($y = 0.72 - 0.08 \ln(x)$, $R^2 = 0.34$).

The total of pollen grains deposited followed a logarithmic tendency ($y = 444 + 160 \ln(x)$, $R^2 = 0.58$) to be taken into account.

DISCUSSION

Pollen production, viability and deposition

The real pollen production per plant is pollen grains per anther (26, 30). In this experiment, it was performed by estimating plants emitting pollen associated with tassel behavior of shedding pollen (39).

The pattern of pollen production followed normal distribution among sowing dates (figure 1, page 56) This tendency was also observed in maize (23, 37).

The difference among sowing dates was registered as the quantity in pollen produced. The major production was in third sowing date (400 mg), twice more than the other dates (figure 1, page 56).

The maximum production was registered 4, 2 and 3 days before male anthesis (figure 1, page 56).

In maize (*Zea mays* L.) the aptitude to produce pollen is primarily under genetic and physiological controls (13, 14). Another important factor affecting pollen production is tassel architecture.

Table 2. Mean and standard deviation among male:female rows proportions plants in the variables studied.**Tabla 2.** Media y desviación estándar entre proporción de surcos macho:hembra en las variables estudiadas.

MRF	PL	FFP	TPG	SP	SS
4:2	18.2 a	2075 a	578 c	1419 a	0.68 a
6:2	18.0 a	2067 a	804 b	1014 c	0.49 c
8:2	17.9 a	1999 b	846 a	1050 c	0.53 b
12:2	17.8 a	2034 ab	854 a	1111 b	0.55 b
16:2	16.7 b	1916 c	824 b	969 d	0.51 b
Mean	17.7	2018	782	1113	0.55 b

MFR= male to female rows proportions, LP= Length of panicle cm, FFP= flowers per panicle, TPG= total of pollen grains cm², SP= seed per panicle per row and SS= seed set. Data of the proportions 2:4 and 2:6 were average of two sowing date of 2005 and the proportion 2:8 were average of sowing date May 3, 2005 and April 3, 2006. Data of 2:12 and 2:16 correspond to April 3, 2006. Means followed by the same letter in each column were statistically similar (Student's t-test, $p < 0.05$).

MFR= proporciones de surcos machos y hembras, LP= Longitud de panícula cm, FFP= flores por panícula, TPG= total de granos de polen cm², SP= semillas por panícula por surco y SS= producción de semillas. Datos de las proporciones 2:4 y 2:6 se obtuvieron del promedio de dos fechas de siembra en 2005 y la proporción 2:8 fueron el promedio de la fecha de siembra mayo 3, 2005 y abril 3, 2006. Los datos de 2:12 y 2:16 corresponden para abril 3, 2006. Medias seguidas de la misma letra en cada columna fueron estadísticamente similares (prueba t de Student, $p < 0,05$).

The total of male flowers, flowers per branch, number of branches per tassel are the best morphological traits for estimating pollen production in maize (36). In previous report, B- and R-lines adapted to High Valley of México were diverse in pollen traits.

The B-lines produced less viable pollen (379 mg/75%), shorter panicle (22±2 cm) and minor flowers per panicle (1577±150) than R-lines and another difference was in anther size (9). In this experiment the B9-line on average had a similar number of flowers per panicle in the two sowing dates in the year 2005 (2200±330) and 6% more flowers than the third sowing date (2371±213).

The variations observed in the number of flowers did not explain the changes of pollen production between sowing dates. Neither did we expect relevant changes in anther size of B9-line.

A previous study among species of family Poaceae shows that this trait is conservative (30).

Another aspect was the flowering progress of male line (figure 1g, h, i, page 56).

The time and number of male plants that remained shedding pollen during flowering period in the third date was more than the others dates (figure 1i, page XXX) due to heterogeneous stand. In the field, the timing and pattern of tassel development of maize is not the same from plant-to-plant (3).

The pattern of pollen deposition (pollen grains cm⁻² d⁻¹) varied among sowing dates. Pollen deposition registered some peaks and did not follow the tendency of pollen production of B9-line (mg¹ per day) (figure 1, page 56). In maize, pollen concentration in the air has a diurnal periodicity with a daily maximum in the morning and similar dynamics as pollen production (19).

The first peaks occurred at five and three days after a maximum quantity of pollen production in the first and third sowing dates (figure 1a, c, page 56), and in the second date pollen production peak appeared two days before (figure 1b, page 56).

Contrary to the graphic results, simple correlation between pollen production and deposition per day was significant for each date ($r = 0.64^*$, 0.75^* and 0.82^*). In sorghum and maize, it was determined that pollen deposition (pollen grains $\text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$) could be related to effective pollen production per plant (pollen reaching the location of silks) and the shedding pollen curve of male line (26, 39). On the first date, the pollen deposition pattern was different in comparison to other dates; because the pollen dispersion was more uniform during all flowering period. The wind had daily oscillations from the lowest value 0.8 until 2.2 m/s and more frequently after the anthesis.

The wind speed on the third day had similar values to the first day, however, the oscillating wind occurred before anthesis and it was less frequently along a flowering period and the pollen deposition was not moved over the production curve.

The increases of wind velocity in the second day oscillated from 0.5 to 1.6 m s^{-1} during all of the flowering period and the dispersion pollen was lower than the others dates (figure 1d, page 56). In the three cases, the peaks appeared near to the increases of wind even under the presence of precipitation.

The maximum peak of rainfall (30 mm) was registered near anthesis in the third sowing date, and this may have influenced the minor dispersion of pollen. Normal presence of rainfall during the flowering was in the afternoon, the average values oscillated from 0 to 10 mm and none storms. When the rain falls near to the

point of highest pollen concentration, it decreased by two to three times, in hybrid of sorghum MR Buster® (33).

The velocity of wind determines the rate of pollen deposition (19). The most pollen grains in maize are dislocated from anther by wind speeds from 0.2 to 0.5 m/s (4). In this experiment, the velocity of wind was of 0.8-2.0 (1.3 ± 0.32 m/s); 0.4-1.5 (0.7 ± 0.30 m/s); 0.2-2.2 (0.7 ± 0.45 m/s) (first, second and third sowing days, respectively) and these values were sufficient to remove sorghum pollen. Moreover, the pollen size of sorghum is two times smaller than maize pollen (8, 9). The wind velocity on the first day was sufficient to disperse pollen beyond the curve of pollen production (figure 1d, page 56) and this did not occur on the others days. Effect of the wind direction during pollination has been observed in Redlan A-line of sorghum; the most plants have more seeds on the front hemisphere than the backward-orientation hemisphere (34). Pollen level dynamics in the atmosphere is a complex process, because it is associated to pollen production, release and dispersion (6), in addition to the length of flowering time (30). Also, grass pollen concentration in the air is greatly influenced by weather conditions (17, 32).

The factors climate is closer related therefore, their effect on pollination is additive, and this result is related to temporal variations and specifically the atmospheric conditions (4), which includes a probabilistic event (39). Under field conditions the specific floral structure plays an important role in pollen concentration (24). There are differences between genotypes of sorghum for flowering diurnal hour (flowering stage of each spikelet, since beginning to open glumes to completely closing) (18).

The male B9-line or pollen donor in this experiment started shedding pollen from 0930 to 1000 h, and before this time the relative humidity was high (90%) and the temperature oscillated between 0 and 15°C. Its anthers exerted after pollination, in others words, there is a probability that some of pollen was not released to the environment or prevented anther aperture. Redlan B-line sheds pollen in the morning from 0600 to 1130 h and sometimes also in the afternoon from 1600 to 1800 h under field temperature of 21.3°C and relative humidity of 61.8% (34). More than 75% of pollen grains of commercial hybrid MR Buster® are trapped between 0300 h and 1000 h during the Australian mid-summer with 95% of relative humidity and near to 30°C of temperature (18). The decrease of relative humidity and increase of temperature are paired processes.

The effect of anther behavior or the threshold necessary to start of anther dehiscence in sorghum has not been explored completely. The low levels of relative humidity prevent the anther dehiscence in *Oryza sativa* L. cv. Nipponbare (25).

The pollen release differs among rice genotypes depending on the response of anthers to changes in adverse factors such as drought stress (21).

On average, the seeds per panicle varied between 969 and 1419 and the pollen viability varied between 76 and 89%. This data was taken during the beginning of flowering before release and the pollen remained inside the anther, which is a wet environment and did not have an effect on the changes during the transportation (22). The drying process is the principal cause of loss of pollen viability in sorghum (20). Rainfall during the flowering period in the three sowing

dates avoided drastically the changes of relative humidity. In commercial sorghum hybrids, pollen viability is from 20 to 65% and the seeds per panicle are from 100 to 350, and these increase from between 300 to 400, when pollen viability is from 70 to 80% (40).

Floral synchrony

The correspondence between the plants that shed pollen and plants silking is often a measure of floral synchrony, necessary for high seed set and for prevention of ergot incidence (7, 16). Significant differences ($p < 0.01$) were observed in floral behavior between both parents and among sowing dates. The female line showed more precocity during all the flowering period from day 1 to 9, and had on average 5% less flowers per panicle. In the third sowing date (April 3, 2006) the largest difference was registered between both parents -4, -8, -9 and -5 days (DB, DA, DE and FP, respectively).

In the field, the synchrony floral between pollen donor and the receptor had a large impact on cross pollination. Highest rates of cross-pollination were found in maize at synchrony of up +3 days, with decrease beyond this range (5). Theoretically, the isogenic pair of A9/B9-lines only differs in pollen fertility. Previous studies have shown significant variations in phenological and reproductive traits among six pairs of isogenics lines (9). Dahlberg *et al.* (2001) also reported differences 1 to 3 days in male/female floral synchrony in 12 A/B pairs. These results show that it is common to find variation in isogenic pairs of sorghum, even though, it is not known why this response occurs in sorghum.

The pair A9/B9-lines in the field flowered heterogeneously in each proportion and sowing date (figure 2, page 57).

The A9-female line had a floral period shorter ($p < 0.01$) than B9-male line at the three sowing dates (-3, -3 and -5 days for D1, D2 and D3 respectively). In a sorghum study, flowering progress was measured as the fraction of flowered plants in the population after eight days of the start of flowering later, sorghum A-lines were divided into three groups as fast (80-90%), moderate (75-79%) and slow (60-70%) (16).

A similar criterion was used in the present study to assess flowering in pair A9/B9-lines. On the first sowing date May 3, 2005 at the 102 days after sowing both lines had started to flower, but intrapanicle floret aperture was different between A9- and B9-lines; the female line had two times more exert florets (50%). In the second sowing date June 10, 2005 at 94 days after sowing day, 55% of female plants had flowered two times more than male plants, in this case both lines had similar proportion of exposed flowers (25%).

The flowering progress in the third sowing date April 3, 2006 was very contrasting between both parents, as the male plants delayed flowering; only 28% had begun pollen emission, when the 100% of female plants was in anthesis (figure 2, page 57). In this experiment the female line was more precocious than male line.

The biggest difference occurred in the third date; 12 days between both parents. In field is common, the delayed during sorghum seedling establishment and then effect in later phenological stages.

One probably reason is differences in sowing deep. It no rule out any kind effect of temperature above all female line. Temperature is a major determinant of the rate of ant development. It is not known why this response occurs in this sorghum (32).

Effect of distance in pollen deposition and seed production

The distance from pollen source had an effect in pollen dispersal and seed production. The most direct way of assessing success of pollen dispersal is measured by the level of fertilization (4).

The simple regression analyses confirm that the greater the distance from the pollen source, the number of pollen grains and seeds declined proportionally with increasing distance, but the rate was different for each proportion. In maize the rate of cross-pollination between yellow donor and white receptor decreased exponentially and rates varied from year to next year (38).

In this experiment the first passive traps of pollen collection was placed on the row of fertile B-9 line (0.0 m) and was counted in an average of 108 pollen grains cm^2 per day per row (data of third sowing date). At a distance of 0.90 m from pollen source, only 34% of pollen arrived to the female A9-line and at a distance of 7.2 m, 15%.

Jarosz *et al.* (2003) in a commercial plot of maize, reported that the pollen concentration and deposition decreased with source distance and high $< 10\%$ for each 1 m and decrease above 2 m, respectively. After the pollen release, during transportation the pollen can modify water status, shape and density, therefore, affecting the quantity of viable pollen that arrives to the crop (2), although, during flowering *S. bicolor* releases more pollen than other species, such as annual grass (33).

According to the number of flowers per panicle of female line the rate of out-crossing was of 56% at 0.90 m of pollen source and of 42% to 7.2 m (figure 2, page 57). For small fields of maize (< 2 h), the majority of cross-pollination occurs within the first 6 m, irrespective of donor size (5).

In many self-pollinated crops, floral morphology controls the cross-pollination (31). *Sorghum bicolor* and its relatives are self-pollinated that can be used in open-pollination. Pedersen *et al.* (1998) found that in four B- and R-lines there were differences in out-crossing on average the values ranging from zero to 10%, but it is possible that some individual plants inside the population reached 26%.

Size source of pollen and seed set

The mean comparison among sowing dates showed significant differences in floral and reproductive variables, although there were no differences between D1 vs. D3 in length of panicle and flowers per panicle. We expected less seed production per panicle in the second date (D2) because the total pollen deposition diminished by 40% compared with other dates and the panicle was larger with more flowers (2155±176) (table 1, page 58).

The results, in part, could be explained by confounded effect of the proportions between male and female rows. On the second date the proportions were established with less female population 2:4 and 2:6, the floral synchrony and the flowering progress was more uniform (figure 2, page 57).

Pollen production generally is not considered a limiting factor in maize production. However, Westgate *et al.* (2003) demonstrate that a minimum pollen shed density per exposed silk is required to achieve maximum kernel set and grain yield. In maize hybrids the grain yield remained stable, decreasing only until 20% of pollen remains (39).

The size of female population had a significant effect on panicle size, total pollen deposition, seed per panicle and seed set. Unexpected low values in seed per panicle and seed set were recorded

in the proportion 2:6, due to heterogeneous plants stands. Widely varying field size proportions of donors to receptors in maize of approximately 4:1-1:8 influenced the cross-pollination rate at distances of 0-20 m from the pollen donor (5).

The sizes of pollen source were 33, 25, 20, 14 and 11% of the field population (2:4, 2:6, 2:8, 2:12, and 2:16, respectively). Pollen production per panicle is influenced by size panicle and floral behavior. In field during increases hybrid seed, it is possible chance the proportion male: female rows. This depends on male ability for pollen production (12). In this study, the proportion 2:4 had the best seed production (1419 seeds) and seed set (0.68) with a maximum distance from pollen source of 1.8 m.

The panicle size (length and flowers per panicle) diminished almost proportionately ($r = 0.80$) with increase of female plants. The largest reduction was observed in the proportion 2:16. In this experiment is confounding effect between proportions and sowing dates, the different panicle size, also attributable to sowing date. When the female population increased four times (2:16) until maximum distance of 7.2 m, the reduction in length panicle and flowers per panicle was 8% (160 flowers), but the reduction of seeds per panicle and seed set was of highest magnitude (32 and 25%).

The variation in the number of spikelets per panicle could be explained by genotypic variation and panicle length (28) and flowers per panicle which are components of yield (36). Using average data of proportions male to female rows the correlation between flowers per panicle and seeds per panicle and seed set was not significant ($r = 0.61$ and 0.46). This implies that the success of pollination was associated more with the size of

pollen source and its dispersion than with the density of female plants.

Theoretically, nearly 2000 viable pollen grains are required to pollinate all flowers of female line per panicle (38).

Only one pollen grain is required to fertilize the sorghum ovule, but sometimes higher quantity raises the probability of a successful pollination, although restrictions could be considered during the interaction between pollen-stigma (10, 32).

The average pollen grains cm² counting was 782. Moreover, as less than 50% (578 pollen grains cm²) were sufficient to produce 1419 seeds per panicle in proportion 2:4, while in the proportions 2:6, 2:8, 2:2 and 2:16 near 800 pollen grains cm² were needed to produce around 1000 seeds per panicle. These results suggest a minimum level of pollen by successful pollination with low levels of pollen shed density, using male sterile and male fertile isolines. The prediction model of maize pollen flux at silk height with typical proportion 4:1 in seed plot, has only 23% of expected amount, considering the pollen release duration of ±6 h (3).

With passive pollen traps it was not possible to estimate this threshold in this study. This methodology has limitations of accuracy, but in the field it was adapted to experimental conditions. Pollen shed

estimation by pollen deposition using passive traps presents restrictions as pollen can disperse out of the field and it underestimates pollen production per tassel, because some pollen remains in the foliage (39).

CONCLUSIONS

The largest production of pollen was 400 mg on April, 2006, twice more than other dates. Seeds per panicle varied from 969 to 1419 and the pollen availability from 76 to 89%.

The A9/B9 isolines flowered heterogeneously in each proportion and sowing date. The A9 female isolate had a floral period shorter (precocity) than B9-male line. Number of pollen grains and seeds declined proportionally with increasing distance from the pollen source, but the rate was different for each proportion.

Finally, the success of pollination was associated more to the size of pollen source and its dispersion than with population of female plants. Five hundred and seventy eight pollen grains were sufficient to produce 1419 seeds in proportion 2:4, while in the proportions 2:6, 2:8, 2:2 and 2:16 at least 800 pollen grains were need to produce 1000 seeds per panicle.

REFERENCES

1. Araneda, X.; Caniullan, R.; Catalán, C.; Martínez, M.; Morales, D.; Rodríguez, M. 2015. Nutritional contribution of pollen from species pollinated by bees (*Apis mellifera* L.) in the Araucanía Region of Chile. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(1): 139-144.
2. Aylor, D. E. 2002. Setting speed of corn (*Zea mays*) pollen. Journal of Aerosol Science 33: 1601-1607.
3. Aylor, D. E. 2005. Quantifying maize pollen movement in a maize canopy. Agricultural and Forest Meteorology. 131: 247-256.
4. Aylor, D. E.; Schultes, N. P.; Shields, E. J. 2003. An aerobiology framework for assessing cross-pollination in maize. Agricultural and Forest Meteorology. 119: 111-129.
5. Bannert, M.; Vogler, A.; Stamp, P. 2008. Short-distance cross-pollination of maize in a small-field landscape as monitored by grain color markers. European Journal of Agronomy. 29: 29-32.

6. Barnes, C.; Pacheco, F.; Landuty, J.; Hu, F.; Portony, J. 2001. The effect of temperature, relative humidity and rainfall on airborne ragweed pollen concentrations. *Aerobiology*. 17: 61-68.
7. Cárcova, J.; Uribelarrea, M.; Borrás, L.; Otegui, M. E.; Westgate, M. E. 2000. Synchronous pollination within and between ears improves kernel set in maize. *Crop Science*. 40: 1056-1061.
8. Chaturvedi, M.; Yunus, D.; Datta, K. 1994. Pollen morphology of *Sorghum* Moench sections *Eusorghum* and *Para-sorghum*. *Grana*. 33: 117-123.
9. Cisneros-López, M. E.; Mendoza-Onofre, L. E.; Zavaleta-Mancera, H. A.; González-Hernández, V. A.; Córdova-Téllez, L.; Hernández-Martínez, M.; Mora-Aguilera, G. 2009. Floral traits and seed production of sorghum A-, B-, and R- lines under chilling field temperatures. *Journal of Agronomy and Crop Science* 195: 464-471.
10. Cisneros-López, M. E.; Mendoza-Onofre, L. E.; Zavaleta-Mancera, H. A.; González-Hernández, V. A.; Mora-Aguilera, G.; Córdova-Téllez, L.; González-Hernández, V. A. 2010. Pollen-pistil interaction, pistil histology and seed production in A x B grain sorghum crosses under chilling field temperatures. *Journal of Agricultural Science* 148: 3-82.
11. Dahlberg, J. A.; Bandyopadhyay, R.; Rooney, W. L.; Odvody, G. N.; Madera-Torres, P. 2001. Evaluation of sorghum germplasm used in US breeding programs for sources of sugary disease resistance. *Plant Pathology* 50: 681-689.
12. Duvick, D. N. 1997. What is yield?/Developing drought and low N-tolerant maize. In: Edmeades, G. O.; Bänziger, M.; Mickelson, H. R.; Peña-Valdivia, C. B. (eds.) *CIMMYT, El Batán, Mexico*. p. 332-335.
13. Flores-Pérez, L.; López, P. A.; Gil-Muñoz, A.; Santacruz-Varela, A.; Chávez-Servia, J. L. Variación intra-racial de maíces nativos del altiplano de Puebla, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 47(1): 1-17.
14. Fonseca, A. E.; Lizaso, J. I.; Westgate, M. E.; Grass, L.; Dornbos Jr, D. L. 2004. Simulating potential kernel production in maize hybrid seed fields. *Crop Science*. 44: 1696-1709.
15. Fonseca, A. E.; Westgate, M. E. 2005. Relationship between desiccation and viability of maize pollen. *Field Crops Research*. 94: 114-125.
16. Frederickson, D. E.; Mantle, P. G.; De Milliano, W. A. J. 1993. Windborne spread of ergot disease (*Claviceps africana*) in sorghum A-lines in Zimbabwe. *Plant Pathology*. 42: 368-377.
17. García-Mozo, H.; Galán, C.; Belmonte, J.; Bermejo, D.; Candau, P.; Díaz de la Guardia, C.; Elvira, B.; Gutiérrez, M.; Jato, V., Silva, I.; Trigo, M. M.; Valencia, R.; Chuine, I. 2009. Predicting the start and peak dates of the poaceae pollen season in Spain using process-based models. *Agricultural and Forest Meteorology*. 149: 256-262.
18. Herde, D. J.; Ryley, M. J.; Jordan, D. R.; Henzell, R. G.; Galea, V. J. 2005. Timing of anthesis in the sorghum hybrid MR Buster and elite line 31945-2-2. *International Sorghum and Millets Newsletter*. 46: 20-22.
19. Jarosz, N.; Loubet, B.; Durand, B.; McCartney, A.; Foueillassar, X.; Huber, L. 2003. Field measurements of airborne concentration and deposition rate of maize pollen. *Agricultural and Forest Meteorology*. 119: 37-51.
20. Lansac, A. R.; Sullivan, C. Y.; Johnson, B. E., Lee, K. W. 1994. Viability and germination of pollen of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Annals of Botany* 74: 27-33.
21. Liu, J. X.; Liao, D. Q.; Oane, R.; Estenor, L.; Yang, X. E.; Li, Z. C.; Bennett, J. 2006. Genetic variation in the sensitivity of anther dehiscence to drought stress in rice. *Field Crops Research*. 97: 87-100.
22. Luna, S. V.; Figueroa, J. M.; Baltazar, B. M.; Gomez, R. L., Townsend, R.; Shoper, J. B. 2001. Maize pollen longevity and distance isolation requirements for effective pollen control. *Crop Science*. 41: 1551-1557.
23. Marceau, A.; Benjamin, L.; Bruno, A.; Brigitte, D., Xavier, F.; Laurent, H. 2011. Modeling diurnal and seasonal patterns of maize pollen emission in relation to meteorological factors. *Agricultural and Forest Meteorology* 151: 11-21.
24. Martin, M. D.; Chamecki, M.; Brush, G. S. 2010. Anthesis synchronization and floral morphology determine diurnal patterns of ragweed pollen dispersal. *Agricultural and Forest Meteorology*. 150: 1307-1317.

25. Matsui, T.; Omasa, K.; Hoies, T. 1999. Mechanism of anther dehiscence in rice (*Oryza sativa* L.). *Annals of Botany*. 84: 501-506.
26. Osuna-Ortega, J.; Mendoza-Castillo, M. del C.; Mendoza-Onofre, L. E. 2003. Sorghum cold tolerance, pollen production, and seed yield in the Central High Valleys of Mexico. *Maydica*. 48: 125-132.
27. Pedersen, J. F.; Toy, J. J., Johnson, B. 1998. Natural out crossing of sorghum and Sudan grass in the central great plains. *Crop Science*. 38: 937-939.
28. Pendleton, B. B.; Teetes, G. L.; Peterson, G. G. 1994. Phenology of sorghum flowering. *Crop Science*. 34: 1263-1266.
29. Prasad, P. V.; Boote, K. J.; Allen, L. H. J. 2006. Adverse high temperature effects on pollen viability, seed-set, seed yield and harvest index of grain-sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] are more severe at elevated carbon dioxide due to higher tissue temperatures. *Agricultural and Forest Meteorology*. 139: 237-251.
30. Prieto-Baena, J. C.; Hidalgo, P. J.; Domínguez, E.; Galán, C. 2003. Pollen production in Poaceae family. *Grana*. 42: 153-160.
31. Rao, K. M.; Devi, K. U.; Arundhati, A. 1990. Applications of genie male sterility. *Plant Breeding*. 105: 1-25.
32. Rosenthal, W. D.; Gerik, T. J. 1989. Flowering distribution within and among grain sorghum panicles. *Crop Science*. 29: 1054-1057.
33. Ryley, M. J. 2005. Pollen release in Australian commercial grain sorghum hybrid cultivar, MR Buster. *International Sorghum and Millets Newsletter*. 46: 25-28.
34. Schmidt, M.; Bothma, G. 2006. Risk assessment for transgenic sorghum in Africa: Crop-to-crop gene flow in sorghum. *Crop Science*. 46: 790-798.
35. Subba-Reddi, C.; Reddi, N. S. 1986. Pollen production in some anemophilous angiosperms. *Grana*. 25: 55-61.
36. Vidal-Martínez, V. A.; Clegg, M. D.; Johnson, B. E.; Osuna-García, J. A.; Coutiño-Estrada, B. 2004. Phenotypic plasticity and pollen production components in maize. *Agrociencia*. 38: 273-284.
37. Viner, B. J.; Westgate, M. E.; Arritt, R. W. A. 2009. Model to predict diurnal pollen shed in maize. *Crop Science*. 50: 235-245.
38. Vogler, A.; Bertossa, M.; Aulinger-Leipner, I.; Stamp, P. 2010. Weather effects on cross pollination in maize. *Crop Science*. 50: 713-717.
39. Westgate, M. E.; Lizaso, J.; Bachelor, W. 2003. Quantitative relationships between pollen shed density and grain yield in maize. *Crop Science*. 43: 934-942.
40. Wood, A. W.; Tan, D. K. Y., Mamun, E. A.; Sutton, B. G. 2006. Sorghum can compensate for chilling-induced grain loss. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 192: 445-451.

ACKNOWLEDGMENTS

The first author gratefully acknowledges the scholarship granted by the National Council of Science and Technology of México (CONACYT). Also, we thank Ph. D. Matthew Copley for critical review of the English style.

Effect of harvesting time on seed quality of two bell pepper cultivars (*Capsicum annuum*)

Efecto del momento de cosecha sobre la calidad de semilla en dos cultivares de pimiento (*Capsicum annuum*) tipo cuatro cascós

Mónica B. Ruiz ^{1,2}, Carlos A. Parera ^{2,3}

Originales: *Recepción*: 07/09/2016 - *Aceptación*: 14/02/2017

ABSTRACT

The maturation status of seeds is fundamental at the harvest time to get high rates of germination and vigor. The aim of this study was to determine the effect of harvest time on the quality of pepper seeds. The trial was conducted in two bell type cultivars: Fyuco INTA and Lungo INTA. Fruits were harvested at 4, 5, 6, 7, 8 and 9 weeks after anthesis. Starting from the eighth week the average seed weight stabilized, coincidentally with the change in the fruit colour to red. Germination percentage increased linearly as it increased the age of the seed. The electrical conductivity of the leachate was also stabilized in seeds got from fruit harvested from 8 weeks after anthesis, showing that they had reached physiological maturity. The results demonstrate to harvest the fruits of pepper cv Fyuco INTA and Lungo INTA with over 8 weeks of age after anthesis to reach high quality seeds.

Keywords

physiological maturity • germination • vigor

-
- 1 INTA EEA San Juan Calle 11 y Vidart 5427-Villa Aberastain, San Juan. Argentina. ruiz.monica@inta.gob.ar.
 - 2 Cátedra de Fisiología Vegetal, Departamento de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan. Calle 11 y Vidart 5427-Villa Aberastain, San Juan. Argentina.
 - 3 INTA Centro Regional Mendoza-San Juan. Acceso Sur y Aráoz, Luján de Cuyo Mendoza, Argentina.

RESUMEN

El nivel de maduración de la semilla es fundamental al momento de cosecha para obtener elevadas tasas de germinación y buen vigor. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del momento de cosecha sobre la calidad de semillas de pimiento. El ensayo se realizó en dos cultivares tipo cuatro cascos: Fyuco INTA y Lungo INTA. Se cosecharon frutos a las 4, 5, 6, 7, 8 y 9 semanas después de la antesis. A partir de la octava semana el peso promedio de las semillas se estabilizó, coincidiendo con el cambio de coloración del fruto a rojo. La germinación se incrementó linealmente conforme aumentó la edad de la semilla. La conductividad eléctrica del sobrenadante se estabilizó también, en las semillas obtenidas de los frutos cosechados a partir de las 8 semanas después de la antesis, indicando que estas habían alcanzado la madurez fisiológica. Los resultados demuestran la importancia de cosechar los frutos de pimiento de estas cultivares con más de 8 semanas de edad para lograr semillas de calidad.

Palabras claves

madurez fisiológica • germinación • vigor

INTRODUCTION

The pepper is grown in all countries of the world in temperate and warm areas (22). Its production includes fresh and dried fruits. According to FAO (2016) pepper is the fifth global horticultural crop in terms of area and the eighth in terms of production volume. In Argentina, in 2008 it accounted for 2% of the production (weight) of fresh vegetables (16). Many authors have reported difficulty in achieving a fast and efficient emergency in pepper seeds (23, 27). The low quality of the seed can affect significantly the productivity because affects crop establishment (13).

One factor that can change seed quality is the stage of fruit maturation at the time of the harvest. The physiological maturity of the fruit is essential to achieve high rates of germination and good vigor (21, 32). During seed development we can distinguish different stages in which the ripening of the seed is fundamental (18). During embryogenesis the seed accumulated proteins, carbohydrates and lipids (7), used by the embryo during germination process (3, 12).

The seed quality increases with the time after anthesis, reaching the maximum viability and vigor at the physiological maturity, to then begin a process of aging and deterioration (18, 25). Physiological maturity is related to reserve accumulation in optimal amounts (7, 26), but also with the acquisition of tolerance to desiccation (2). The time of harvest to get the best quality of seed depends on the species, cultivar and even the production system (13).

Previous studies on the effect of fruit maturity on pepper seed quality indicate that the highest percentages of germination was got in a over ripe mature fruits (6, 8). In *Capsicum frutescens*, Edwards & Sundström (1987) conclude similar results. However in these works, the authors do not related seed maturity with the age. The objective of the present study was to determine the effect of the age of bell pepper seed on quality to establish the optimum harvest time.

MATERIALS AND METHODS

Plant material and crop management

We used two bell pepper cultivars: Fyuco INTA and Lungo INTA. Both are open pollinated cultivars, resistant to *Phytophthora capsici* Leonian and used for fresh market or dehydrated industry (17). The plants were produced in trays of 416 cell polyurethane and transplanted into field 80 days after sowing (19/12/2014), with a of 33,000 plants per hectare (0.85 x 0,35 m) density, in the experimental field of INTA in San Juan, Argentina (latitude: 31°37' S and longitude 68°32' W, altitude: 618.23 meters above the sea level). Irrigation was carried out by a pressurized system using a tape of 3 droppers/meter with a flow rate of 3.3 l h⁻¹ m⁻¹ to 1 atm (Naan peace) and fertigated with 100 kg ha⁻¹ of nitrogen during the entire crop cycle.

Age and seed extraction

To determine the age of the seed, during anthesis, the flowers were marked with different paper labels. In this way it was possible to harvest fruits with 4, 5, 6, 7, 8 and 9 weeks of age after anthesis. The seeds were extracted manually and dried in a closed container with silica gel at 30°C and 0% HR during 2 days. They were subsequently preserved in containers sealed at 20°C and 20% of HR for 30 days (year 0) for the evaluation of leachate electrical conductivity and germination. After a year (year 1), we repeated the tests to evaluate the effect of the time on the quality of the seed in them different treatments.

Dry weight

The extracted seeds were dehydrated in an oven at 70° C for 48 hours and weighed in a precision scale. Four replicates of 100 seeds were used for each cultivar and

harvest age.

Leachate electrical conductivity

A hundred seeds (distributed in four replicates of 25 seeds) of both cultivars and harvest age were soaked in 30 ml of distilled water at 25°C, The conductivity was measured after four hours with a conductivity meter (Oacton Instruments, Vernon Hills, Ill) and expressed as $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ of seed.

Germination tests

Four replicates of twenty-five seeds for each varieties and harvest age were sown in Petri dishes with germination paper (Munktell filter 1700, Sweden) moistened with 4 ml of distilled water (20) and were placed in a germination chamber scheduled at 25/15°C (16/8 h) for 14 days. The seed was considered germinated when the radicle emerged 1 mm. Germination was controlled every 24 h and calculated germination percentage and emergency rate index (ERI) (28).

Statistical analysis

All evaluations were conducted as a randomized design, with treatments replicated four times. Percentage data were converted and analyzed as the square root arc sine transformation. Means were compared with a least significant difference test (LSD) at P=0.05. Linear regression analyses were performed between age of the seeds (WAA) with seed weight, percentage of germination, ERI and leachate electrical conductivity. The SAS statistical programme (SAS Institute, Cary, NC) was used for the analysis of the data.

RESULTS

The increase in seed weight was similar in both cultivars in response to a linear trend (figure 1). The average seed weight was stabilized from the eighth week after anthesis, coincidentally with the change of the fruit color from green to red (figure 2, page 71). The seeds of Cv Lungo showed a significantly less average dry weight than Cv Fyuco eight weeks after flowering ($p=0.0021$).

The leachate electrical conductivity in both cultivars showed a significant negative linear regression with the age of the seed (figure 3, page 72). The highest conductivity values were obtained from seeds of 4 weeks age. From the 8th week

after anthesis we observed a marked decrease in the loss of electrolytes in both cultivars, coinciding with the stabilization of the seed weight and the change of the fruit color.

The time of harvest (seed age) and cultivar significantly modified the germination percentage, also in the fresh seeds (Year 0) there was a significant interaction between Cv and seed age (table 1, page 72). The Cv Fyuco showed percentages of germination significantly above the Lungo INTA. After one year (year 1) only seed age significantly modified the germination percentage, reached the highest value (73%) 9 weeks after anthesis.

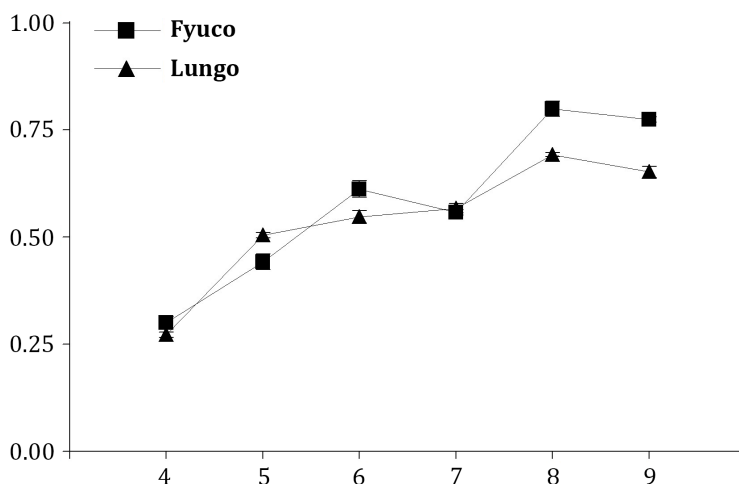


Figure 1. Relationship between seed age (WAA: week after anthesis) and the dry weight of the seeds in the two pepper cultivars evaluated. Lungo ($y= 0.079+ 0.071(\text{sdf})$ $R^2= 0.79^{**}$) and Fyuco ($y= -0.049+0.097(\text{sdf})$ $R^2= 0.87^{**}$).

Figura 1. Relación entre la edad (WAA: semanas después de antesis) y el peso seco de las semillas en las dos Cultivares de pimiento evaluados. Lungo ($y= 0,079+ 0,071(\text{sdf})$ $R^2= 0,79^{**}$) y Fyuco ($y= -0,049+0,097(\text{sdf})$ $R^2= 0,87^{**}$).

Error bars represent standard deviations / Las barras de error representan desviaciones estándar.



Figure 2. Fruits of Cvs Fyuco INTA and Lungo INTA 6 and 8 weeks after anthesis (WAA).

Figura 2. Evolución del color de frutos de los Cvs Fyuco INTA y Lungo INTA 6 y 8 semanas después de antesis (WAA).

In Cv Fyuco a significant linear response was observed when we relate the germination percentage with the seed age (figure 4, page 73) in new seeds (Year 0) and old seed (Year 1) (figure 4, page 73). Seeds extracted 4, 5, 6 and 7 weeks after the anthesis showed germination percentages lower than 40% while the seeds harvested 8 and 9 weeks

after anthesis the percentages ranged between the 50 and 80%. Seeds from of one year age, in all harvest time, showed lower germination percentages, but with the same trend as in the new seeds. In Cv Lungo the similar response was observed, however the germination percentages were lower compared to Cv Fyuco (figure 5, page 73).

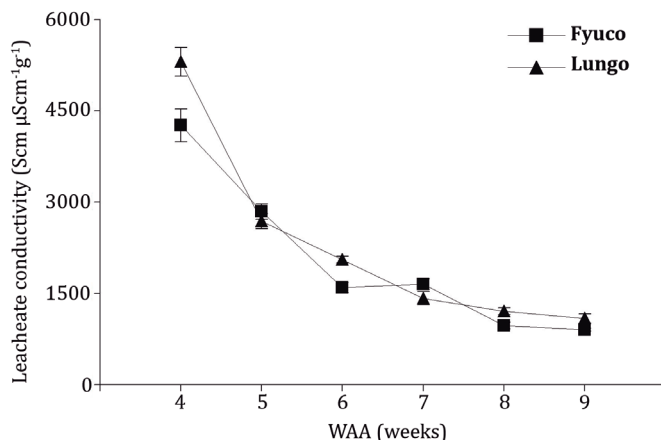


Figure 3. Relationship between seed age (WAA) and leachate electrical conductivity ($\mu\text{Scm}^{-1}\text{g}^{-1}$) of bell pepper cultivars evaluated. Lungo ($y = 7152.38 - 747.33 (\text{WAA})$ $R^2 = 0.75^{**}$); Fyuco ($y = 6193.42 - 639.15 (\text{WAA})$ $R^2 = 0.82^{**}$).

Figura 3. Relación entre la edad de la semilla (WAA) y la conductividad del sobrenadante en las cultivares de pimiento evaluados. Lungo ($y = 7152,38 - 747,33 (\text{WAA})$ $R^2 = 0,75^{**}$); Fyuco ($y = 6193,42 - 639,15 (\text{WAA})$ $R^2 = 0,82^{**}$).

Error bars represent standard deviations. / Las barras de error representan desviaciones estándar.

Table 1. Effect of cultivar (Cv) and seed age (WAA) on germination percentage and germination rate (ERI) in two bell pepper (Cv Lungo INTA and Fyuco INTA) after seed extraction (Year 0) and one year later (Year 1).

Tabla 1. Efecto del cultivar y edad de la semilla sobre el porcentaje de germinación y velocidad de germinación (ERI) en pimiento Cvs. Fyuco INTA y Lungo INTA luego de la extracción de la semilla (Año 0) y un año después (Año 1).

Fuente de variación	Year 0		Year 1	
	Germination (%)	ERI	Germination (%)	ERI
	Significancy		Significancy	
Cultivar (Cv)	< 0.0001	< 0.0001	0.4988	0.0106
Seed Age (WAA)	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Cv x WAA	0.0332	< 0.0001	0.0772	0.0098
Cv	Means			
Fyuco INTA	38.33	4.25	24.60	2.77
Lungo INTA	27.33	2.11	22.60	1.87
LSD	5.06	0.51	5.90	0.67
SDF	Means			
4 Weeks	0.00	0.00	0.00 ^a	0.00
5 Weeks	0.00	0.43	0.00 ^a	0.00
6 Weeks	20.00	1.96	5.50 ^a	0.54
7 Weeks	36.50	3.12	25.50 ^b	2.27
8 Weeks	59.00	5.72	38.00 ^c	4.00
9 Weeks	76.00	7.83	73.00 ^d	7.13

Column means not followed by the same letter differ significantly LSD test (5%).

Medias de las columnas no seguidas por la misma letra difieren significativamente LSD (5%).

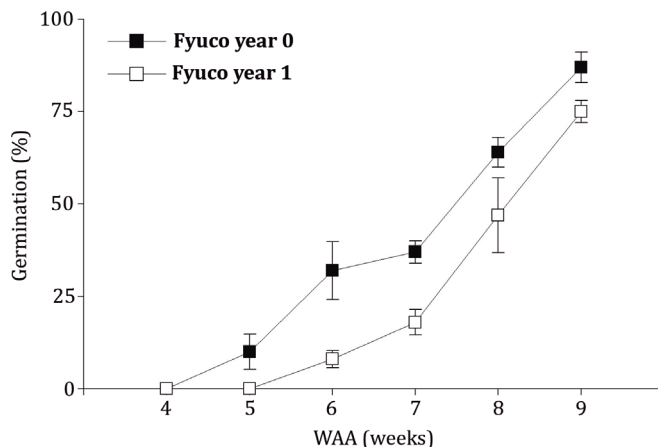


Figure 4. Relationship between seed age (WAA) and germination percentage in fresh seeds (Year 0) of Cv Fyuco INTA in ($y = -73.47 + 17.2 (WAA) R^2 = 0.90^{**}$) and one year old seeds (Year 1) ($y = -73,02 + 15.2 (WAA) R^2 = 0.79^{**}$).

Figura 4. Relación entre la edad de la semilla (WAA) y el porcentaje de germinación en la Cv Fyuco INTA en semillas frescas ($y = -73,47 + 17,2 (WAA) R^2 = 0,90^{**}$) y semillas de un año ($y = -73,02 + 15,2 (WAA) R^2 = 0,79^{**}$).

Error bars represent standard deviations. / Las barras de error representan desviaciones estándar.

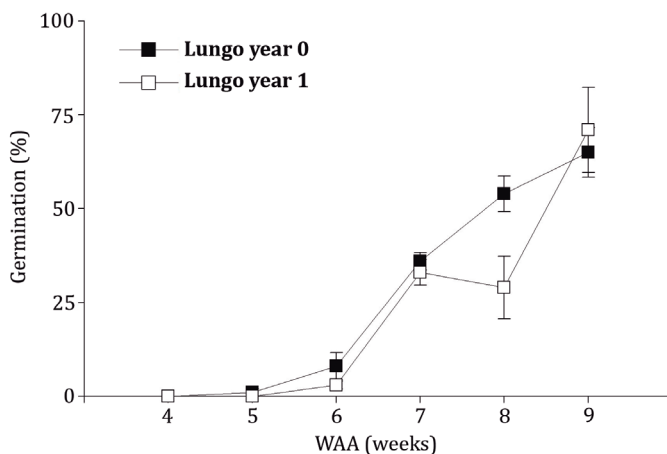


Figure 5. Relationship between seed age (WAA) and germination percentage in fresh seeds (Year 0) of Cv Lungo INTA, ($y = -67.75 + 14.63 (WAA) R^2 = 0.88^{**}$) and one year old seeds (Year 1) ($y = -64.99 + 13.48 (WAA) R^2 = 0.70^{**}$).

Figura 5. Relación entre la edad de la semilla (WAA) y el porcentaje de germinación en la Cv Lungo INTA, en semillas frescas ($y = -67,75 + 14,63 (WAA) R^2 = 0,88^{**}$) y semillas de un año ($y = -64,99 + 13,48 (WAA) R^2 = 0,70^{**}$).

Error bars represent standard deviations. / Las barras de error representan desviaciones estándar.

As in the analysis of germination percentage, the germination speed, expressed as ERI, showed a significant differences between cultivars, seed age and its interaction (table 1, page 72). The maximum values of ERI corresponded to the Cv Fyuco INTA (figure 6, page 75). The seeds harvested 9 weeks after anthesis germinated significantly more quickly than the seeds harvested 4, 5, 6, 7 and 8 weeks after anthesis.

DISCUSSION

The results observed in this study confirm that the age of the fruits, at the time of seed extraction is essential to obtain good quality seed (8, 11, 23, 29).

The seeds of both bell pepper cultivars (Fyuco INTA and Lungo INTA) extracted from fruits of 7 or less weeks after anthesis, do not accumulate enough metabolic reserve and also do not develop physiological mechanisms that allow seeds to tolerate desiccation.

High values of electrical conductivity in seeds harvested between 4 and 7 weeks are related to the inability of the cell membranes to control the loss of metabolites (2, 30). Cell membranes undergo changes in their molecular organization during the process of physiological seed ripeness, allowing to tolerate desiccation. Quickly recover of membranes integrity allows selective permeability of ions and solutes from the cell (2).

In pepper the electrical conductivity of the supernatant test has proven to be the most efficient method to determine physiological quality of seeds (1) since it correlates strongly with the germination percentages.

Panayotov & Aladhzhazhian (1999) reported that the largest increases in pepper seed dry weight were produced between 20 and 45 days after flowering and the physiological maturity 70 days after anthesis, where the leachate conductivity levels are stabilize.

The results obtained in this experiment showed that the seeds dry weight, in both cultivars, reached the highest value 8 weeks after anthesis however the highest germination percentage was observed 9 weeks after anthesis. In several species such as pepper (23), eggplant (10), tomato (9) and beans (5) the maximum dry matter accumulation and seed quality are not coincident.

The germination percentages and ERI responded linearly regarding the age of seeds. These results are coincident with those obtained by other authors (15, 23) where the highest germination percentages was observed in fruits harvest of 8 to 10 weeks of age.

The Cv Fyuco presented higher and faster germination than Cv Lungo. These differences between cultivars have been informed by other authors and usually are associated to different optimal temperatures for germination (8).

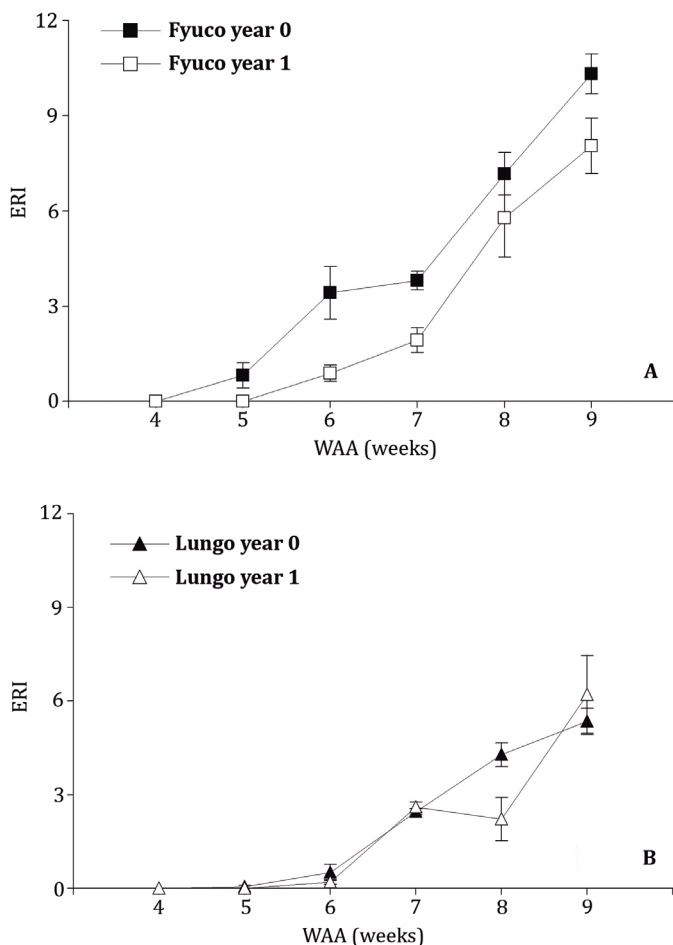


Figure 6. Relationship between seed age (WAA) and ERI (Emergency Rate Index) in both bell pepper cultivars. A) Fresh seeds in Fyuco INTA (Year 0) ($y = -8.93 + 2.03 (WAA) R^2 = 0.88^{**}$) and one year old seed (Year 1) ($y = -8.12 + 1.67 (WAA) R^2 = 0.76^{**}$). B) Lungo INTA ($y = -5.57 + 1.18 (WAA) R^2 = 0.88^{**}$); and one year old seed (Year 1) ($y = -5.57 + 1.15 (WAA) R^2 = 0.65^{**}$).

Figura 6. Relación entre la edad de la semilla (WAA) y ERI (índice de velocidad de emergencia) en las dos cultivares de pimiento evaluados. A) en semillas frescas de Fyuco INTA ($y = -8,93+2,03 (WAA)R^2= 0,88^{**}$) y en semillas de un año ($y = -8,12+1,67 (WAA) R^2= 0,76^{**}$). B) Lungo INTA ($y = -5,57+ 1,18 (WAA) R^2= 0,88^{**}$); y en semillas de un año ($y = -5,57+1,15 (WAA) R^2= 0,65^{**}$).

Error bars represent standard deviations / Barras verticales representan error estándar.

CONCLUSIONS

The optimal timing of fruit harvest for seed production in both cultivars is coincident with the change of color of the fruit to red, which is consistent with reported by other authors for other varieties of peppers (8, 11, 15, 27, 29).

The results demonstrate that the fruits should be harvest over 9 weeks after anthesis to get high seed quality in Cvs Fyuco INTA and Lungo INTA.

REFERENCES

1. Barros Torres, S.; Minami, K. 2000. Qualidade fisiológica de sementes de pimentão. *Scientia Agrícola* 57:109-11.
2. Bewley, J. D. 1986. Membrana changes in seeds as related to germination and the perturbations resulting from deterioration in storage. In *Physiology of seed deterioration*. Crop Science Society of America. USA. p. 27-46.
3. Bewley, J. D. 2001. Seed germination and reserve mobilization. *Encyclopedia of life science*. Nature Publishing Group. p. 7.
4. Bewley, J. D.; Black, M. 1986. *Seeds physiology of development and germination*. Plenum Press (Ed), NY. p. 367.
5. Bewley, J. D.; Bradford, K.; Hilhorst, H. 2012. *Seeds: physiology of development, germination and dormancy*. Springer Science & Business Media.
6. Biberdzic, M.; Ilic, Z.; Milenkovic, L. 1997. The influence of maturity stage and place of fruit formation on a plant some on the qualitative distinctive features of pepper seed. *Selekcija-i-semenarstvo*. 4(3-4): 139-142.
7. Boesewinkel, F. D.; Bouman, F. 1995. The Seed: Structure and Function. En *Seed Development and Germination*. Jaime Kigel y Gad Galili (Ed). Editorial Marcel Dekker, Inc. New York, USA. p. 1-24.
8. Cavero, J.; Gil Ortega, R.; Zaragoza, C. 1995. Influence of fruit ripeness at the time of seed extraction on pepper (*Capsicum annum*) seed germination. *Scientia Horticulturae*. 60:345-352.
9. Demir, I., Ellis, R. H. 1992. Changes in seed quality during seed development and maturation in tomato. *Seed Science Research*. 2(02): 81-87.
10. Demir, I.; Mavi, K.; Sermenli, T.; Ozcoban, M. 2002. Seed development and maturation in Aubergine (*Solanum melongena* L.)/Samenentwicklung und Samenreife bei auberginen (*Solanum melongena* L.). *Gartenbauwissenschaft*. 148-154.
11. Edwards, R.; Sundstrom, F. 1987. Afterripening and harvesting effects on Tabasco peppers seed germination performance. *HortScience* 22:473-475.
12. Egli, D. B. 1994. Seed growth and development. In *Physiology and determination of crop yield*. (ed: Boote, K., J. Bennet, T.R. Sinclair and G. M. Paulsen) ASA. Madison Wisconsin USA. p. 127-148.
13. Eskandari, H. 2012. Seed quality variation of crop plants during seed development and maturation. *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 3 (11): 557-560.
14. FAO. 2016. *Faostat Production and Trade Statistics*. Disponible en: <http://www.fao.org/economic/ess/ess-trade/en/> (fecha: 23/08/2016).
15. Fernandes Abud, H.; Fontes Araujo, E.; Fontes Araujo, R.; Vinicius Araujo, A.; Ferreira Pinto, C. 2013. Qualidade fisiológica de sementes das pimentas malagueta e biquinho durante a ontogênese. *Pesq. Agropec. Bras*. 48 (12):1546-1554.
16. Fernández Lozano, J. 2008. *La producción de hortalizas en Argentina*. Corporación del Mercado Central de Buenos Aires. Disponible en: http://www.mercadocentral.gob.ar/zip tecnicas/la_produccion_de_hortalizas_en_argentina.pdf (Fecha de consulta: 23/08/2016).

17. Galmarini, C. R. 1999. El género capsicum y las perspectivas del mejoramiento genético de pimiento en Argentina. *Avances en Horticultura* 4(1):24-32.
18. Guerrero C., J.; Meriño-Gergichevich, C.; Ogass C., K.; Alvarado N., C.; Sobarzo M., V. 2015. Características de calidad y condición de frutos de avellano europeo (*Corylus avellana* L.) cv. Barcelona en la zona centro-sur de Chile. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 47(2): 1-14.
19. Gutierrez, L.; Van Wuytswinkel, O.; Castelain, M.; Bellini, C. 2007. Combines networks regulating seed maturation. *Trends in plant Science.* 12(7): 296-300.
20. ISTA, 2007. International Rules for Seed Testing Association. Bassersdorf. Switzerland.
21. McDonald, M. B.; Copeland, L. 1997. Seed production, principles and practices. Chapman & Hall, NY. 749 p.
22. Nuez F.; Gil Ortega R.; Costa J. 1996. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Ediciones Mundi Prensa.
23. Oliveira, A. P.; De Goncalves, C. P.; De La Bruno, R.; Alves, E. U. 1999. Physiological maturity of pepper seeds in function of fruit age after anthesis. *Revista Brasileira de Sementes.* 21(2): 88-94.
24. Panayotov, N.; Aladzhadzhian, A. 1999. Electrical and optical properties of pepper seeds through the different stages of growth and development. *Rastenievodni-nauki.* 36(9): 485-489.
25. Powell, A. A.; Matthews, S. 1984. Application of the controlled deterioration vigour test to detect seed lots of *Broussels sprouts* with low potential for storage under commercial conditions. *Seed Science & Tech.* 12:649-657.
26. Romero Tejada, M. de la L.; Martínez Damián, M. T.; Rodríguez Pérez, J. E.; Beryl Colinas León, M. T.; Martínez Solís, J. 2015. Cambios en la calidad poscosecha de salvia (*Salvia officinalis*) almacenada bajo condiciones de frigoconservación. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 47(2): 53-69.
27. Schulttheis, J.; Cantliffe, D. J. 1988. Improvement of plant establishment in bell pepper with a gel mix planting medium. *J. Amer. Soc. Hort. Sci* 113:546-562.
28. Shmueli, M.; Goldberg, D. 1971. Emergence, early growth, and salinity of five vegetable crops germinated by sprinkle and trickle irrigation in an arid zone. *Hort Science.* 6:563-565.
29. Valdés, V.; Anguita, P.; Ulriksen, C. 1992. Efecto del estado de madurez de los frutos de pimiento (*Capsicum annuum*) sobre la calidad de la semilla. *Ciencia e Investigación Agraria.* 19:3-7.
30. Vertucci, C. W. 1989. Seed Moisture. *Crop Science Society of America. CSSA Special Publication* N° 14. Chapter 6: 93-115.
31. Vidigal, D. D. S.; Dias, D. C. F. D. S.; Dias, L. A. D. S.; Finger, F. L. 2011. Changes in seed quality during fruit maturation of sweet pepper. *Scientia Agricola.* 68(5): 535-539.
32. Welbaum, G. E. 1999. Cucurbit seed development and production. *Horticulture Technology.* 9: 341-348.

Análisis del crecimiento de tres líneas de cebada para producción de forraje, en el valle de México

Growth analysis of three lines of barley for forage production, in the valley of Mexico

Claudia Yanet Wilson García ¹, Alfonso Hernández Garay ¹,
María Esther Ortega Cerrilla ¹, Cándido López Castañeda ¹, Ricardo Bárcena Gama ¹,
José Luis Zaragoza Ramírez ², Gilberto Aranda Osorio ²

Originales: *Recepción*: 01/06/2015 - *Aceptación*: 08/08/2016

RESUMEN

Los objetivos del estudio fueron construir curvas de acumulación de forraje, y determinar el momento óptimo de corte para forraje de tres líneas de cebada, durante dos ciclos de crecimiento. Los cortes se iniciaron a los 43 días después de la siembra (DDS) y hasta que se alcanzó la máxima acumulación de materia seca. La acumulación de forraje, composición morfológica, índice de área foliar, altura de planta e interceptación luminosa se evaluaron semanalmente. Los datos de los experimentos se analizaron con SAS, para un diseño experimental de bloques al azar en arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones. La radiación interceptada y el índice de área foliar pueden ser criterios utilizados para determinar el momento óptimo de corte. El momento óptimo de corte en el segundo ciclo de cultivo fue a los 70 DDS, con valores de interceptación luminosa de 94, 95 y 91%, con índices de área foliar de 7, 5 y 3 y alturas de 88, 82 y 59 cm para Esp x O'Connor, Esp x Cp y Lenetah ($p < 0,05$), en el estado de elongación del tallo. El período óptimo de desarrollo para corte de forraje verde o henificado en cebada es la etapa de elongación del tallo, debido a que en esta etapa se registró la mayor cantidad de hojas, interceptación luminosa e índice de área foliar. Desde el punto de vista de rendimiento total se recomienda cosechar en el inicio del estado masoso del grano que es cuando se tiene la mayor cantidad de forraje y grano.

Palabras clave

composición morfológica • altura de planta • radiación interceptada • etapa fenológica

1 Colegio de Postgraduados, Programa de Recursos Genéticos y Productividad. Ganadería; Km. 36.5, Carretera México. Texcoco, Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. México. hernan@colpos.mx

2 Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Zootecnia; Km. 38.5, Carretera México. Texcoco, Texcoco de Mora, Estado de México. C. P. 56227. México.

ABSTRACT

The objectives of the research were to generate forage accumulation curves, and to determine the optimal cutting time for forage for three lines of barley, during two growth cycles. Cuttings started 43 days after sowing (DAS), and until the maximum accumulation of dry matter was reached. Forage accumulation, morphological composition, leaf area index, plant height and light interception were evaluated weekly. Data from the experiments were analyzed using SAS software, using a randomized block design and a split-plot arrangement with three replicates. Intercepted radiation and leaf area can be used to determine the optimal cutting time. The optimal cutting time in the second growth cycle was 70 DAS, with intercepted radiation values of 94, 95, and 91%, leaf area indices of 7, 5, and 3, and heights of 88, 82 and 59 cm for Esp x O'Connor, Esp x CP and Lenetah ($p < 0.05$), respectively, at the stem elongation stage. The optimum period or optimum phenological stage for cutting of green forage or haying is the stem elongation stage, due to high values of leaves number, light interception and leaf area index recorded in this phenological stage. Since a point of view of total dry matter yield it is recommended to harvest at the beginning of grain dough stage, when the grain yield and dry matter yield are the highest.

Keywords

morphological composition • plant height • light interception • phenological stage

INTRODUCCIÓN

La cebada (*Hordeum vulgare* L.) es uno de los cereales forrajeros que se utiliza en muchas partes del mundo para la alimentación en sistemas ganaderos de producción de carne y leche (15). Además debido a su alto rendimiento, la cebada es utilizada para compensar las deficiencias de los forrajes perennes cuyo rendimiento es muy bajo, como consecuencia de las condiciones climáticas que se presentan en invierno e inicios de primavera (12). Tiene la ventaja sobre otros cereales de ser más vigorosa, resistente a la sequía, salinidad y puede cultivarse en suelos marginales (14, 20). Este cultivo presenta rápido desarrollo, por lo cual produce forraje y grano en menor tiempo, en comparación con otros cultivos del mismo ciclo, y presenta buena calidad forrajera dependiendo de la etapa de desarrollo en que se realice el corte (4, 11).

Los cereales forrajeros de invierno presentan diferencias en sus curvas de crecimiento, es por eso que antes de sembrar, se deben seleccionar las especies y variedades de acuerdo con las necesidades de cada sistema de producción (22).

El análisis de crecimiento vegetal, es una herramienta de gran valor para conocer la formación y acumulación de biomasa. Además, si en cada etapa de crecimiento se determina la composición morfológica del cultivo, es probable definir el número y el rendimiento por hectárea de hojas, tallos, material muerto o espigas presentes, los cuales pueden utilizarse como indicadores de calidad del forraje cosechado.

En diversos estudios se establece que la calidad de un forraje se encuentra relacionada con el área foliar y con la

cantidad de radiación interceptada por el cultivo. Además, si los parámetros mencionados se relacionan con la altura de la planta, esta puede ser utilizada como indicador de fechas óptimas de cosecha. Al respecto, algunos autores en especies templadas (10), y en gramíneas tropicales (1, 6, 7) mencionan que el punto óptimo para cosecharlas es cuando alcanzan el 95% de intercepción luminosa, debido a que en ese punto es la hoja el órgano mayoritario y con mejor calidad de la planta, y es por tanto el punto óptimo de crecimiento en el cual se evita la acumulación de materia muerta.

En México, la superficie sembrada con cebada en 2013 fue de 355.782 ha, de la cual el 90 % fue para producción de malta (21).

Los estudios hechos han sido enfocados a la evaluación de producción de grano.

Los principales usos de la cebada forrajera es en forma de paja incluida en dietas (fuente de fibra) o en la elaboración de ensilados en etapas avanzadas de madurez y existe escasa información sobre el desempeño productivo forrajero en etapas de desarrollo tempranas, cuando puede ser utilizada como forraje verde (pastoreo o corte) o henificada.

Debido a que las hojas se asocian a la calidad de la planta completa, es importante determinar el momento de corte en el cual hay una mayor cantidad, de esta forma los productores podrán decidir si la cosecha es en una etapa de madurez temprana o retrasar la cosecha, dependiendo de las necesidades del productor ya sea menor rendimiento con mayor calidad o mayor rendimiento con menor calidad. Esto es válido en el estado vegetativo hasta elongación del tallo y a partir de ahí lo importante es la acumulación en el tallo y translocación a los granos.

Por lo anterior, los objetivos del presente estudio fueron realizar las curvas

de acumulación de forraje y determinar el momento óptimo de corte para forraje de tres líneas de cebada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó dos experimentos en condiciones de campo en el ciclo de invierno-primavera 2012-2013 (EIP1) e invierno-primavera 2013-2014 (EIP2), en el Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México (19°29' L N, 98°54' L W y 2250 m s. n. m.).

La textura del suelo del área de estudio es franco-arenoso (23), ligeramente alcalino (pH: 7,8) con 2,4% de materia orgánica. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, precipitación media anual de 645 mm y temperatura media anual de 15°C; la temperatura promedio más baja es de 11,6°C en el mes de enero y la más alta de 18,4°C en el mes de mayo (9).

Forrajes

Se utilizó dos líneas F_6 de cebada seleccionadas por su alto vigor inicial, resistencia a sequía, rendimiento de grano, biomasa y adaptadas a las condiciones del Valle de México, proporcionadas por el Postgrado en Genética, Colegio de Postgraduados (13); Cebada F_6 (2H) Esperanza x O'Connor CPRSC-6-2M-1MR-2M-OMR (Esp x O'Connor) (2 hileras), Cebada F_6 (6H) Esperanza x CP CPRSC-5-2M-2MR-7M-OMR (Esp x CP) (6 hileras) y la variedad Lenetah (2 hileras), proporcionada por la Colección de Cereales de Grano Pequeño (CIho 15229 H0971D SD, Order: 197878, Idaho, USA) como testigo. Estos materiales genéticos se eligieron con base a su buen comportamiento agronómico como productores de biomasa.

La preparación del terreno consistió de un barbecho y dos rastreos.

En los dos experimentos la siembra se realizó en forma manual en suelo seco.

La siembra del EIP1 se realizó el 5 de diciembre de 2012 y la de EIP2 el 4 de diciembre de 2013; La densidad de siembra utilizada fue de 100 kg ha⁻¹, con una densidad de población aproximada de 210 plantas por m².

Las parcelas se distribuyeron aleatoriamente en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Se aplicó una dosis de fertilización de 40-40-00 en la siembra y 40 unidades de nitrógeno al inicio de la etapa de amacollamiento (25), utilizando a la urea como fuente de nitrógeno y superfosfato de calcio triple como fuente de fósforo. Se aplicaron 9 riegos durante el experimento.

Variables

Acumulación de forraje (AF)

A partir del día 43 después de la siembra y hasta que los cultivos alcanzaron la máxima acumulación de materia seca se realizaron cortes semanales.

Para el caso del ciclo EIP1 solo se muestreó hasta los 84 DDS porque se presentó una helada que provocó la muerte de las plantas.

La unidad experimental consistió de cinco surcos de 2 m de longitud, separados a 0,30 m. El muestreo para determinar las curvas de acumulación de forraje, se hizo en un área de 0,45 m² a una altura de corte de 12 cm, en los surcos centrales de cada unidad experimental.

El forraje cosechado se lavó y se colocó en bolsas de papel, para su secado en una estufa con circulación de aire forzado a una temperatura de 55°C hasta peso constante. Las cosechas realizadas a los 70 y 106 DDS en el EIP2 coincidieron con las etapas de elongación del tallo e inicio del estado masoso del grano (25).

Composición morfológica (CM)

La composición morfológica se evaluó con una submuestra del 20 % del forraje cosechado y se separó en los componentes: hoja, tallo, espiga y material muerto.

Las muestras se secaron a 55°C hasta peso constante y posteriormente se pesaron. Con los datos de peso seco se obtuvo la contribución de los componentes hoja, tallo, espiga y material muerto al rendimiento total en kg ha⁻¹.

Índice de área foliar (IAF)

De la submuestra del 20% que se utilizó para composición morfológica se tomaron las hojas de cada muestra y se le determinó el área foliar con un integrador modelo LI-3100 (LI-COR, inc.).

Con los datos obtenidos de área foliar y la superficie de muestreo, se estimó el índice de área foliar.

Altura de planta

Antes de cada muestreo se realizaron 20 mediciones al azar en cada unidad experimental; con una regla de 1,00 mm de precisión.

Intercepción luminosa (IL)

Antes de cada corte se tomaron 5 lecturas al azar de radiación interceptada para cada unidad experimental con el Ceptómetro modelo LP-80 (Decagon Devices, Inc.). Las mediciones se realizaron a las 12:00 horas.

Análisis estadístico

Los datos de los dos experimentos se analizaron con los procedimientos GLM de SAS (24), para un diseño experimental de bloques al azar en arreglo en parcelas divididas con tres tratamientos correspondientes a las tres líneas de cebadas y tres repeticiones.

Las curvas ajustadas de crecimiento con su modelo y coeficientes respectivos para cada línea evaluada se obtuvieron con el programa Curve Expert Professional 2.2 (5).

Datos climatológicos

Los datos de temperaturas del aire (mínima, media y máxima) y precipitación pluvial de los experimentos EIP1 e EIP2 se obtuvieron de la Estación Meteorológica de la Universidad Autónoma Chapingo, localizada a 2 km del lugar donde se realizaron los experimentos (tabla 1).

La temperatura máxima y mínima promedio del aire en el EIP1 fue similar al EIP2 durante el ciclo de las plantas; las temperaturas extremas fueron más frecuentes en los meses de diciembre y enero, reflejando en un mayor número de heladas en ese período (tabla 1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Acumulación total de forraje

En la figura 1 (pág.84) y figura 2 (pág.85),

se presentan los cambios semanales en la acumulación de forraje total de las tres cebadas evaluadas en los ciclos EIP1 y EIP2.

En el EIP1 se presentó un incremento progresivo en la acumulación de forraje desde los 43 DDS hasta alcanzar los máximos rendimientos de materia seca a los 84 DDS que fueron para Esperanza x O'Connor, de 5253,3 kg ha⁻¹, Esperanza x CP de 4280,7 kg ha⁻¹ y Lenetah de 3021,4 kg ha⁻¹ (p ≤ 0,05) en el estado fisiológico de espigado, esta fue la última fecha de muestreo, debido a la helada que causó la muerte de las plantas.

En el EIP2 el máximo crecimiento fue a los 106 DDS cuando las plantas se encontraban en estado de inicio masoso. Esperanza x O'Connor fue la que obtuvo el mayor rendimiento de materia seca con 13.155,48 kg ha⁻¹, seguida de Esperanza x CP con 12.488,29 kg ha⁻¹ y Lenetah con 5.745 kg ha⁻¹ (p ≤ 0,05).

En el EIP1 al no completarse las fases de desarrollo de las plantas debido a la helada, el modelo con mejor ajuste fue de tipo exponencial con R² ≥ 0,93.

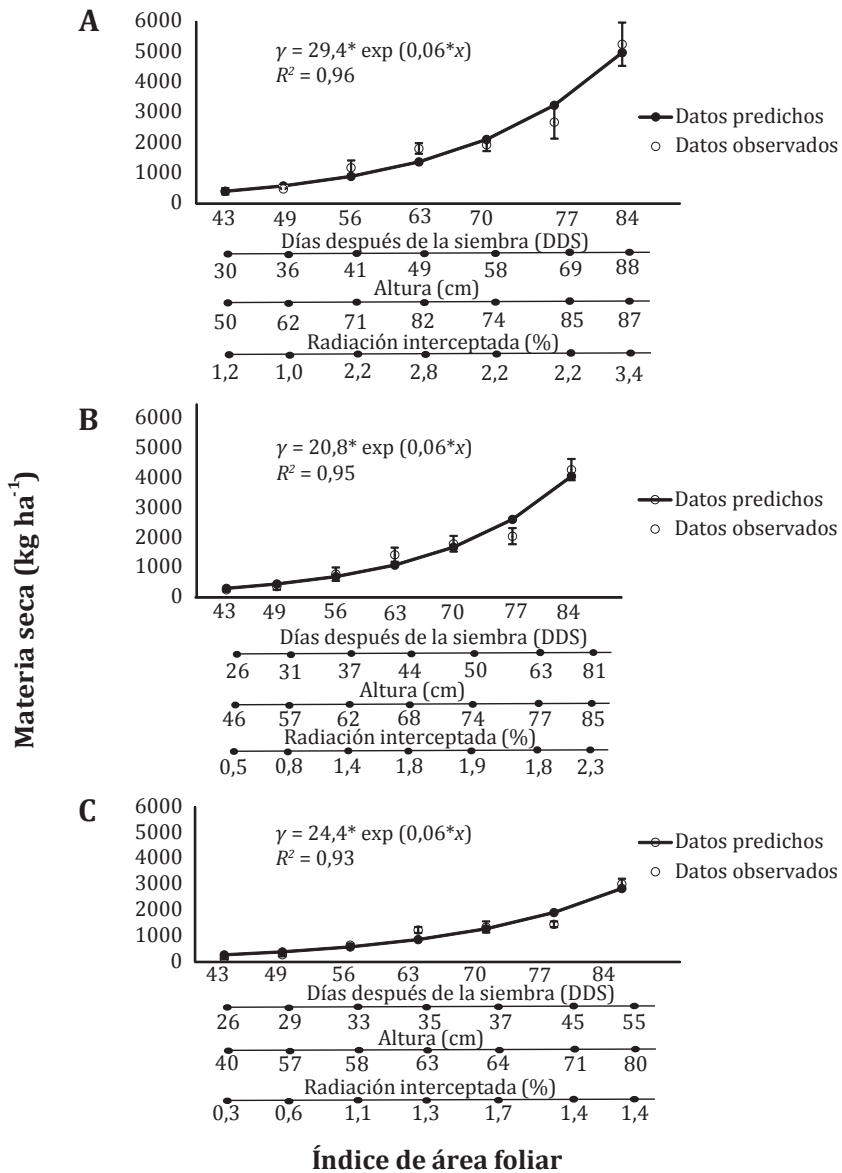
Tabla 1. Promedio mensual de temperaturas máximas y mínimas, precipitación y número de heladas durante los dos períodos experimentales. Estación Meteorológica Universidad Autónoma Chapingo.

Table 1. Monthly average of maximum and minimum temperatures, precipitation and number of frosts during the two experimental periods. Universidad Autónoma Chapingo Meteorological Station.

Mes	Temperaturas (°C)				Precipitación (mm)		Heladas (número)	
	*EIP1	EIP1	**EIP2	EIP2	EIP1	EIP2	EIP1	EIP2
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima				
Diciembre	23,5	3,1	23,6	4,4	0	0,9	25	17
Enero	22,6	4,4	21,4	2,2	0	2,6	18	25
Febrero	26	4,4	25,6	4	2,8	2,4	15	12
Marzo	24,9	5	26,5	7,2	1,6	27,7	18	5
Abril	27,9	9,1	27,3	8,4	23	20,1	3	3
Media	25,0	5,2	24,9	5,2	-	-	-	-
Total	-	-	-	-	27,4	53,7	79	62

* EIP1: ciclo de invierno-primavera 2012-2013; ** EIP2: ciclo de invierno-primavera 2013-2014.

* EIP1: winter-spring cycle 2012-2013; ** EIP2: winter-spring cycle 2013-2014.



Las barras \pm representan 1 desviación estándar (n = 3).

\pm bars represent 1 standard deviation (n = 3).

Figura 1. Curvas de acumulación total de forraje, altura de planta, radiación interceptada e índice de área foliar de las cebadas Esp x O'Connor (A), Esp x CP (B) y Lenetah (C), en el experimento EIP1.

Figure 1. Total forage accumulation curves, plant height, intercepted radiation and leaf area index of barley Esp x O'Connor (A), Esp x CP (B), and Lenetah (C), in the EIP1 experiment.

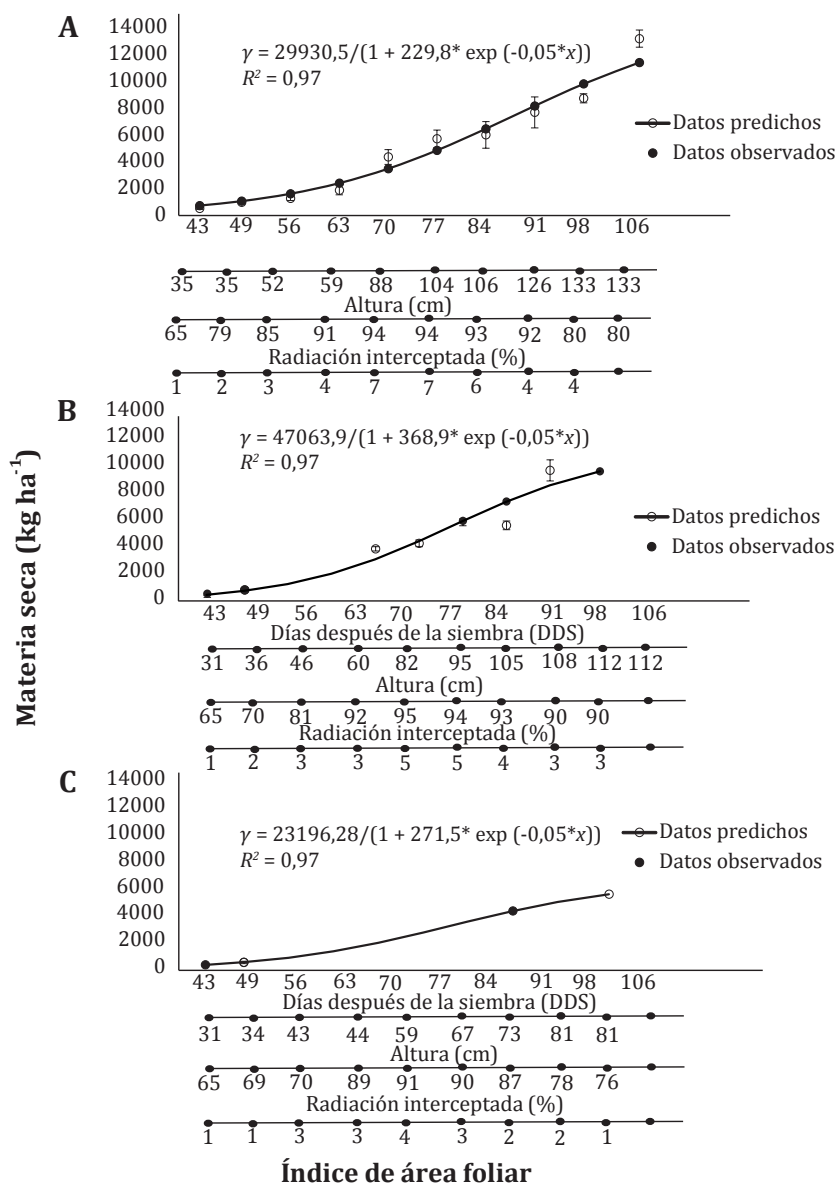


Figura 2. Curvas de acumulación de forraje, altura de planta, radiación interceptada e índice de área foliar de las cebadas Esp x O'Connor (A), Esp x CP (B) y Lenetah (C), en el experimento EIP2.

Figure 2. Total forage accumulation curves, plant height, intercepted radiation and leaf area index of barley Esp x O'Connor (A), Esp x CP (B), and Lenetah (C), in the EIP2 experiment.

Mientras que para el EIP2 al completarse todas las fases de crecimiento, las tres cebadas presentaron curvas de crecimiento de tipo sigmoidal, con $R^2 \geq 0,97$; coincidiendo con otros autores (17), quienes señalan, que la mayoría de las plantas presentan este tipo de comportamiento.

Los bajos rendimientos en el EIP1 comparado con el EIP2 probablemente se debieron al mayor número de heladas que se presentaron en ese ciclo (tabla 1, pág. 83) provocando daños en el aparato fotosintético de las plantas y por lo tanto menor acumulación de materia seca.

La mayor acumulación de forraje en el EIP2 probablemente está relacionado a que las temperaturas fueron mayores y por lo tanto el crecimiento y desarrollo de las plantas fue mejor, ya que como se indica en la bibliografía, la temperatura es uno de los factores que más incide en el crecimiento y desarrollo de las plantas, afectando los procesos de crecimiento, expansión foliar, tasa de asimilación neta, tasa de aparición de hojas y tasa relativa de crecimiento, así como el proceso de desarrollo.

En cuanto a los máximos rendimientos encontrados en el EIP2 a los 106 DDS (Zadocks, 83) coinciden con lo reportado en la literatura (3) quienes al evaluar 36 genotipos de cebadas en tres localidades diferentes reportan rendimientos superiores a 11 ha^{-1} .

Altura, intercepción luminosa e Índice de área foliar

Para el EIP1 a los 84 DDS las alturas encontradas fueron de 88, 81 y 55 cm para Esp x O'Connor, Esp x Cp y Lenetah; sin embargo, para el experimento EIP2 para la misma fecha fueron de 106, 105 y 73 cm para las mismas variedades.

Las máximas alturas de planta, en el EIP2 se encontraron a los 98 DDS con 133 y 112 cm para Esp x O'Connor y Esp x Cp

y a los 91 DDS con 81 cm para Lenetah ($p < 0,05$).

Las máximas radiaciones interceptadas en el EIP2 se encontraron a los 70 DDS con 94, 95 y 91% para Esp x O'Connor, Esp x Cp y Lenetah; mientras que para el EIP1 fueron de 82, 74 y 64%, respectivamente; lo que indica que las cebadas no alcanzaron las máximas radiaciones posiblemente relacionado con las menores temperaturas y al mayor número de heladas presentes. Para efectos prácticos se señala que existe una correlación positiva entre la RI y la altura de los cultivos (6).

En el EIP1, los máximos IAF se encontraron en las fechas 63 y 70 DDS con 2,8, 1,8 y 1,3 para Esp x O'Connor, Esp x Cp y Lenetah ($p < 0,05$). En el EIP2 los IAF se incrementaron conforme avanzó la edad de las plantas y fue a los 70 DDS para todas las cebadas evaluadas que se observaron los máximos valores con 7, 5 y 4 para Esp x O'Connor, Esp x Cp y Lenetah ($p < 0,05$).

En el ciclo EIP1 las máximas intercepciones encontradas no coinciden con los máximos IAF y estos fueron variables a través de los muestreos como respuesta a los factores del clima, principalmente temperatura y se vio reflejado en las menores alturas encontradas en comparación con el ciclo EIP2.

En el EIP2 los máximos IAF para las tres cebadas coinciden con las máximas intercepciones luminosas encontradas y mayores alturas para todas las fechas en comparación con el EIP1. De manera general, en ambos ciclos, la línea Esp x O'Connor la que presentó la mayor acumulación de forraje y los máximos IAF y RI.

En muchos trabajos realizados en pastos tropicales se ha observado que el punto óptimo de cosecha es cuando las plantas alcanzan el 95% de intercepción luminosa y está relacionado con la mayor aportación de hojas al rendimiento, y es el

punto óptimo de crecimiento donde existe poca acumulación de material muerto; con niveles de 14 a 18% de proteína cruda y digestibilidades de un 60 a 70% (6).

La validez y el uso potencial del criterio de intercepción de la luz como una estrategia de defoliación fueron ratificados (17).

Según estos autores, el IAF crítico es cuando el 95% de luz incidente es interceptada por el dosel, la tasa media de acumulación de forraje alcanza su máximo, es decir, el equilibrio entre los procesos de máximo crecimiento y senescencia permite una mayor acumulación de forraje. Así mismo, de manera práctica se ha relacionado la RI y el IAF con la altura, permitiendo definir fechas óptimas de corte para forraje.

En este trabajo en el EIP1, no se encontraron las máximas radiaciones interceptadas esperadas, debido a las bajas temperaturas y a la presencia de heladas; sin embargo, en el EIP2 la fecha óptima de corte fue a los 70 DDS con radiaciones interceptadas de 94, 95 y 91%, alturas de 88, 82 y 59 cm e IAF de 7, 5 y 3 para Esp x O'Connor, Esp x Cp y Lenetah en la etapa de elongación del tallo (12, 25).

Al evaluar el rendimiento del rebrote en cebada, centeno, trigo, avena y triticale en las etapas de amacollamiento y elongación del tallo, reportaron que los cereales de invierno pueden ser pastoreados hasta la etapa de elongación del tallo, sin causar grandes reducciones en el rendimiento del rebrote y forraje total. Esto sugiere que definir la etapa fenológica de la planta es importante para la primera cosecha sin afectar la persistencia el vigor de los rebrotes (2).

Componentes morfológicos

En EIP1 y EIP2 la morfología de la planta varió ($p < 0,01$), en las diferentes fechas de

muestreo. Así mismo, se observó que los componentes tallo y material muerto están correlacionados de manera positiva con el incremento en la edad de las plantas (figura 3 (pág. 88) y figura 4 (pág. 89).

En el componente hoja, para el EIP1, aumentó progresivamente hasta los 63 DDS, posteriormente se incrementó el tallo y material muerto en las tres cebadas. A los 63 DDS las líneas Esp x O'Connor (1,362 kg ha⁻¹) y Esp x CP (1,130 kg ha⁻¹) presentaron la mayor cantidad de hojas, mientras que Lenetah (1,028 kg ha⁻¹) fue la menor ($p < 0,05$); para esta fecha la contribución de hoja al rendimiento total fue de 75, 78 y 83%, para tallo de 20, 19 y 8% y material muerto 5, 3 y 9%, respectivamente. En contraste, a los 84 DDS la aportación de hoja fue de 30, 25 y 31%, tallo de 61, 57 y 56%, material muerto de 5, 7 y 13% y espiga de 4, 11 y 0%.

En el EIP2 la dinámica de crecimiento del componente morfológico hoja se incrementó hasta los 77 DDS para Esp x O'Connor (2,142 kg ha⁻¹) y hasta los 70 DDS en Esp x Cp (1,593 kg ha⁻¹) y Lenetah (1,061 kg ha⁻¹); a partir de estas fechas los componentes tallo y material muerto fueron los que presentaron una mayor contribución al rendimiento total; la aportación de espiga al rendimiento para las tres variedades inició a los 84 DDS.

La contribución de hoja al rendimiento total en las fechas mencionadas fue de 38, 41 y 46%, tallo de 45, 56 y 46%, material muerto de 4, 3 y 8% para Esp x O'Connor, Esp x CP y Lenetah, respectivamente; aunque en la última fecha de muestreo (106 DDS) se encontraron los máximos rendimientos totales, la hoja solo contribuyó con 14, 8 y 5%, mientras que el tallo con 54, 43 y 58%, material muerto con 4, 9 y 16 % y la espiga con 27, 40 y 31% para las mismas variedades ($p < 0,05$).

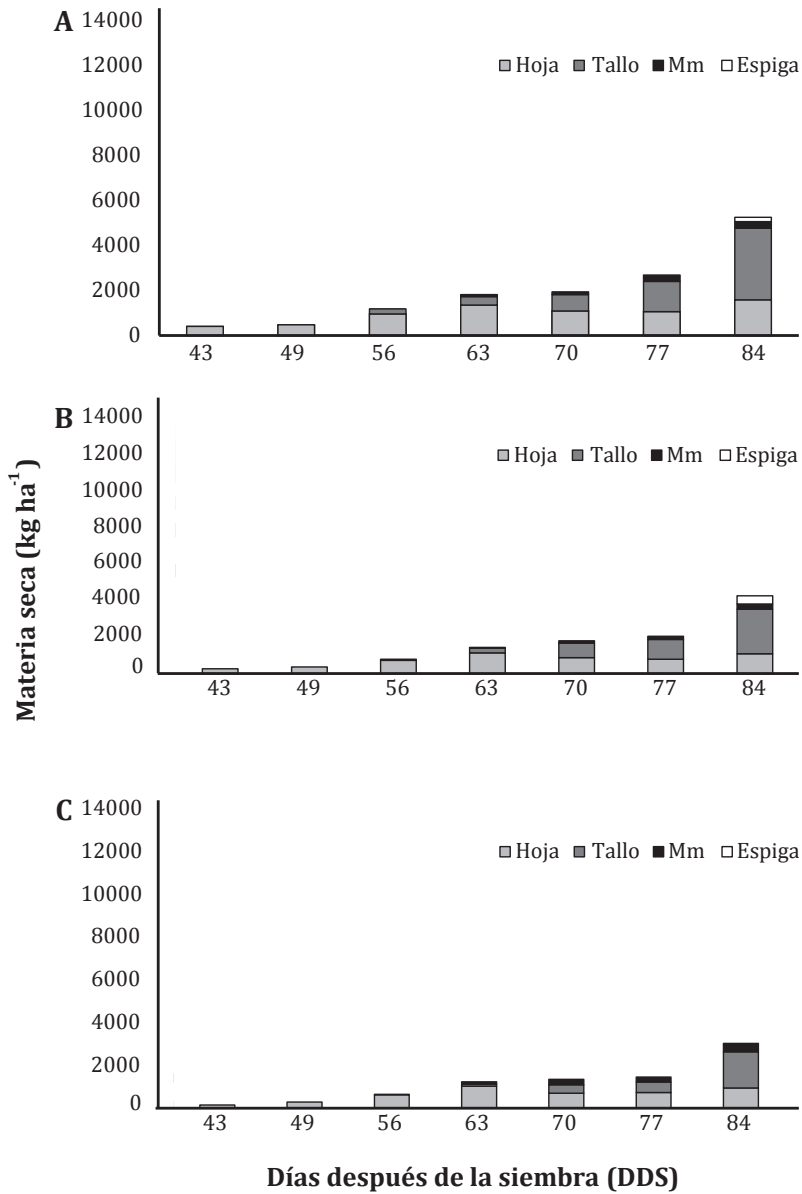


Figura 3. Cambios morfológicos de cebadas Esp x O'Connor (A), Esp x CP (B) y Lenetah (C) en diferentes estadios de crecimiento, en el EIP1.

Figure 3. Morphological changes of Esp x O'Connor (A), Esp x CP (B), and Lenetah (C) at different growth stages in EIP1.

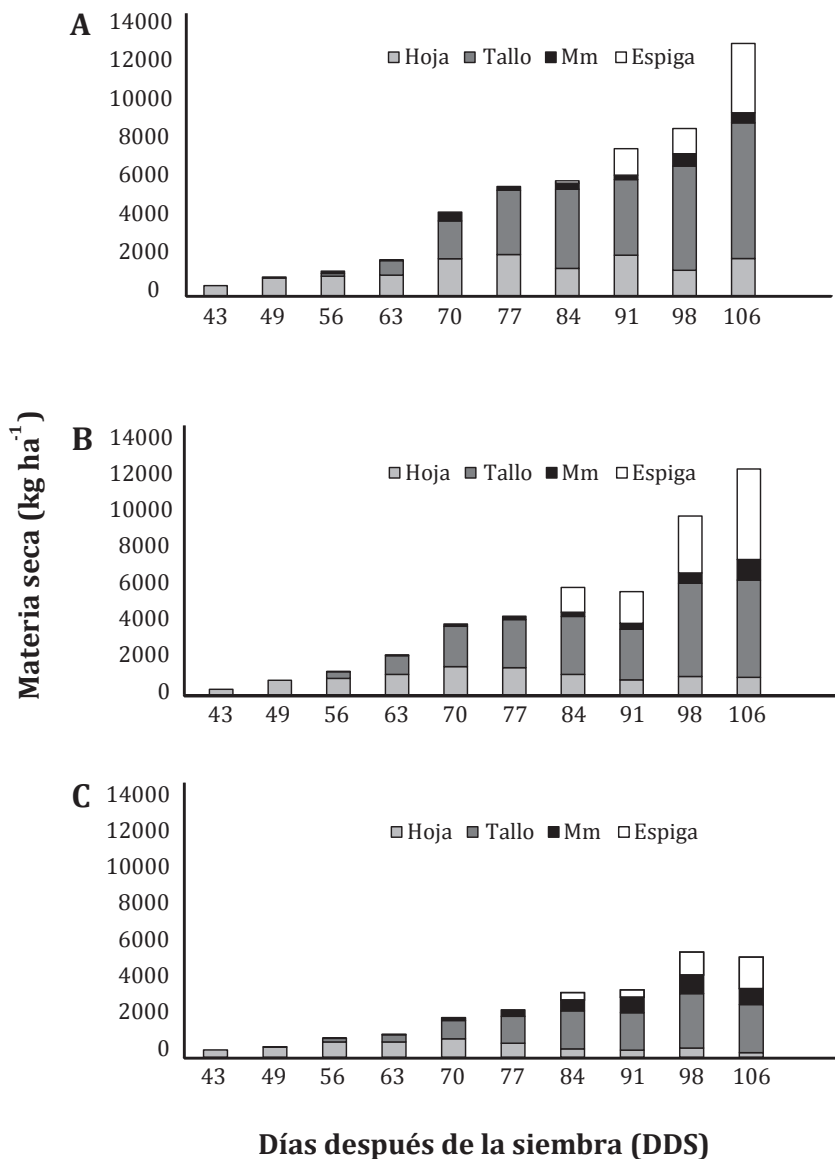


Figura 4. Cambios morfológicos de cebadas Esp x O'Connor (A), Esp x CP (B) y Lenetah (C) en diferentes estadios de crecimiento, en el EIP2.

Figure 4. Morphological changes of Esp x O'Connor (A), Esp x CP (B), and Lenetah (C) at different growth stages in EIP2.

Rojas García *et al.* (2016) y Da Silva *et al.* (2007), encontraron que la distribución de la biomasa durante el período de cosecha puede afectar el rendimiento y la calidad del forraje para producción de ensilado en cultivos de cereales y que la densidad de siembra, siembra en monocultivos y asociaciones y fecha de muestreo tienen un efecto significativo en la cantidad de hoja, tallo, espiga y biomasa total.

La menor proporción de hojas, tallos, material muerto y espigas y la variación de estos componentes en las fechas evaluadas en el EIP1 en comparación con el EIP2, puede estar relacionado con las bajas temperaturas y mayor presencia de heladas en este ciclo.

Al respecto, se menciona que el daño por bajas temperaturas puede ocasionar pérdida de la actividad fotosintética, área foliar clorótica y muerte de sectores de la lámina de la hoja (especialmente la porción distal), pérdida de la espiga ya diferenciada, con la consecuente esterilidad del tallo, daño en nudos y entrenudos basales, aunque no supone una interrupción de la nutrición de la parte superior de la planta, pero genera una zona de debilitamiento del tallo y por lo tanto predispone al acame (8).

En el EIP2 la disminución de la proporción de hojas a partir del día 70 y 77 puede estar relacionado con que las hojas de los estratos inferiores mueren por que se encuentran por debajo del punto de compensación de luz, ya que la senescencia en hojas se presenta por la pérdida gradual en la actividad fotosintética que conduce a la degeneración y muerte del tejido, en este caso principalmente por la edad de las plantas.

Así mismo, en etapas fenológicas avanzadas se incrementa el peso de espigas y tallos, disminuyendo el de hojas,

lo cual se ha explicado fisiológicamente en trigo, estableciendo que el peso seco de la espiga se incrementa a medida que la planta inicia el llenado de grano, debido en parte, a la translocación de fotosintatos desde los tallos y hojas que resulta en senescencia y pérdida de estos componentes (11, 16).

CONCLUSIONES

Los materiales genéticos estudiados presentaron fases similares de crecimiento y etapas de desarrollo, en las condiciones evaluadas para cada ciclo de producción.

La radiación interceptada y el IAF pueden ser criterios utilizados para determinar el momento óptimo de corte, siempre y cuando no existan daños en la producción de forraje por factores climáticos adversos.

El momento óptimo de corte en el EIP2 se observó a los 70 DDS con valores de radiación interceptada de 94, 95 y 91%, IAF de 7, 5 y 3 y alturas planta de 88, 82 y 59 cm, para Esp x O'Connor, Esp x Cp y Lenetah en la etapa de elongación del tallo.

La etapa óptima de desarrollo para corte de forraje verde o henificado en cebada es la etapa de elongación del tallo, debido a que en esta etapa se registró la mayor cantidad de hojas, IL e IAF.

Desde el punto de vista de rendimiento total se recomienda cosechar en el inicio del estado masoso del grano que es cuando se tiene la mayor cantidad de forraje y grano.

BIBLIOGRAFÍA

1. Berone, G. D. 2016. Leaf expansion and leaf turnover of perennial C4 grasses growing at moderately low temperatures. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 48(2): 69-82.
2. Calzada-Marín, J. M.; Quiroz, J. F. E.; Hernández-Garay, A.; Ortega-Jiménez, E.; Mendoza-Pedroza, S. I. 2014. Análisis de crecimiento del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp.) en clima cálido subhúmedo. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 5(2): 247-60.
3. Colín-Rico, M.; Zamora-Villa V. M.; Lozano-Del Río, A. J.; Martínez-Zambrano, G.; Torres-Tapia, M. A. 2007. Caracterización y selección de nuevos genotipos imberbes de cebada forrajera para el norte y centro de México. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 45(3): 249-262.
4. Colín-Rico, M.; Zamora-Villa, V. M.; Torres-Tapia, M. A.; Jaramillo-Sánchez, M. A. 2009. Producción y valor nutritivo de genotipos imberbes de cebada forrajera en la Región Lagunera de México. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 47(1): 27-40.
5. Curve Expert Computer Software. 2014. Vers 2.2 N.p. D.d. Web.
6. Da Silva, S. C.; Do Nascimento, J. D. 2007. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. *Rev. Bras. Zootec.* 36: 122-38.
7. Da Silva, S. C.; Hernández-Garay, A. 2010. Manejo del pastoreo en praderas tropicales. En: Los forrajes y su impacto en el trópico. UNACH. Chiapas, México.
8. Frascina, J.; Bainotti, C.; Salines, J.; Formica, B. 2000. Evaluación de variedades de trigo en siembra directa. EEA INTA Marcos Juárez; Report N° 336 Hoja Informativa Jornada de Actualización en Trigo.
9. García, E. 1988. 4° ed. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México: Instituto de geografía, UNAM. 217 p.
10. Hodgson, J. 1990. Grazing management. Science into practice. Harlow, England: Longman Scientific & Technical.
11. Juskiw, P. E.; Helm, J. H.; Salmon, D. F. 2000. Postheading biomass distribution for monocrops and mixtures of small grain cereals. *Crop Sci.* 40(1): 148-58.
12. Keles, G. Ates, S.; Coskun, B.; Koc, S. 2013. Re-growth yield and nutritive value of winter cereals. Proceedings of the 22nd International Grassland Congress. Sídney Australia.
13. López-Castañeda, C. 2011. Variación en rendimiento de grano, biomasa y número de granos en cebada bajo tres condiciones de humedad del suelo. *Trop. Subtrop. Agroecosystems.* 14: 907-18.
14. López-Castañeda, C.; Richards, R. A. 1994. Variation in temperate cereals in rainfed environments II. Phasic development and growth. *Field Crops Res.* 37(1): 63-75.
15. Maloney, T. S.; Oplinger, E. S.; Albrecht, K. A. 1999. Small grains for fall and spring forage. *J. Prod. Agric.* 12(3): 488-94.
16. Niu, J. Y.; Gan, Y. T.; Zhang, J. W.; Yang, Q. F. 1998. Postanthesis dry matter accumulation and redistribution in spring wheat mulched with plastic film. *Crop Sci.* 38(6): 1562-1568.
17. Parsons, A. J.; Penning, P. D. 1988. The effect of the duration of regrowth on photosynthesis, leaf death and the average rate of growth in a rotationally grazed sward. *Grass and Forage Science.* 43(1): 15-27.
18. Rojas García, A. R.; Hernández Garay, A.; Ayala, W.; Mendoza Pedroza, S. I.; Cancino, S. J.; Vaquera Huerata, H.; Santiago Ortega, M. A. 2016. Comportamiento productivo de praderas con distintas combinaciones de ovillo (*Dactylis glomerata* L.), ballico perenne (*Lolium perenne* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 48(2): 57-68.
19. Salisbury, F. B.; Ross, C. W. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana. 759 p.
20. Saucedo, M. C. C.; Castañeda, C. L.; Moreno, J. M.; León, T. B. C.; Hernández, A. L. 2004. Crecimiento y desarrollo de cebada y trigo. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(2): 167-75.

21. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2014. México.
22. Sevilla, G. A.; Pasinato, A.; García, J. M. 2001. Curvas de crecimiento de forrajeras templadas irrigadas. *Arch. Latinoam. Anim. Prod.* 9: 91-98.
23. Soil Survey Staff. 2014. Claves para la Taxonomía de Suelos, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Whashington, DC. USA. 410 p.
24. Stastical Analysis System (SAS). 2002. Versión 9.0 para Windows. Cary NC, USA: SAS Inst. Inc.
25. Zadocks, J. C.; Chang, T. T.; Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research.* 14: 415-421.

Influencia de la fertirrigación nitrogenada en la concentración de nitratos en el extracto celular de peciolo, el rendimiento y la calidad de tomate de invernadero

Nitrogen fertigation influence on nitrate concentration of nitrates on extract cellular of petiole, yield and quality of greenhouse tomato

Fidel Núñez-Ramírez ¹, Raúl Leonel Grijalva-Contreras ², Fabián Robles-Contreras ², Rubén Macías-Duarte ², María Isabel Escobosa-García ¹, Jesús Santillano Cázares ¹

Originales: *Recepción:* 30/04/2015 - *Aceptación:* 21/04/2016

RESUMEN

El nitrógeno es el macronutriente que más afecta el rendimiento y la calidad de los productos hortícolas cosechados. Sin embargo, es importante conocer la respuesta de cada cultivo y ambiente en particular a fin de obtener el mayor uso eficiente del nutriente aplicado. El cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) "Beatrice" fue cultivado bajo condiciones de invernadero con cubierta plástica sobre un suelo árido del desierto sonorenses en el noroeste de México. Se evaluó la concentración de nitratos en el extracto celular de peciolo (ECP), el rendimiento de fruta (total y comercial), así como parámetros de calidad (sólidos solubles totales: TSS, acidez titulable: AT, relación TSS/AT) en relación con cuatro dosis de fertilización nitrogenada (250, 500, 750 y 1000 kg N ha⁻¹). Durante nueve fechas, se midió la concentración de nitratos en el ECP y los valores obtenidos se relacionaron con el rendimiento comercial. Las dosis de nitrógeno tuvieron efecto positivo en el rendimiento ($P < 0,05$) mientras que la calidad y el tamaño de la fruta no resultaron afectadas por ninguno de los tratamientos aplicados ($P > 0,05$). De la misma manera, la concentraciones de nitratos en ECP estuvieron asociadas al rendimiento de la fruta en ocho de las nueve fechas evaluadas ($P < 0,05$). De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluye que bajo las condiciones de suelo y clima en que se desarrolló el experimento, el cultivo de tomate responde a altas dosis de nitrógeno (750 kg ha⁻¹) sin afectar su calidad. Así mismo, debido a la relación encontrada entre la concentración de nitratos en ECP y el rendimiento de fruta, podría ser posible utilizar los rangos de suficiencia en nitratos en ECP obtenidos en este estudio.

Palabras clave

nitrógeno • extracto celular de peciolo • nutrición mineral • rendimiento • invernadero

-
- 1 Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), Carretera a Delta s/n Ejido Nuevo León, 21705, Mexicali, Baja California, México. fidel.nunez@uabc.edu.mx
 - 2 Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Costa de Hermosillo. Sitio Experimental Caborca. Apartado Postal 125. H. Caborca, Sonora, México.

ABSTRACT

Nitrogen is the macronutrient that most affect the yield and quality of harvested horticultural products. However it is important to know the response of each environment and horticultural crop in order to get a most efficient use of nutrient applied. Tomato crop (*Lycopersicon esculentum* Mill.) "Beatrice" was cultivated under plastic greenhouse conditions on arid soil of Sonoran desert of Mexico Northwest. Nitrates in extract cellular of petiole, fruit yield (total and marketable) and quality parameters (total soluble solids: TSS, titratable acidity: AT and soluble solids titratable acidity ratio: TSS/AT) were evaluated in relation of four nitrogen fertilization rates (250, 500, 750 and 1000 kg N ha⁻¹). During nine dates, nitrate concentrations in extract cellular of petiole (ECP) were determined and the relationship with marketable yield was considered. Significant differences were found in total and marketable yield ($P < 0.05$) but not with quality attributes by any nitrogen rates applied at crop ($P > 0.05$). Size fruit resulted not affected by any nitrogen rates. On the other hand, when nitrate concentrations on ECP were related at nitrogen rates applied, a significantly response was found ($P < 0.05$). Similarly, nitrate in ECP concentrations were associated with marketable yield on eight of nine dates tested ($P < 0.05$). Under this environment soil and climate conditions, greenhouse tomato respond at high nitrogen rates with high yields, with none effect on quality. On the other hand, because nitrate concentrations in ECP were in relation with fruit yield, it could be possible to identify preliminary sufficiency nitrates ranges.

Keywords

nitrogen • extract cellular of petiole • mineral nutrition • yield • greenhouse

INTRODUCCIÓN

México es líder en la industria de la producción de hortalizas bajo agricultura protegida en América del norte, con una superficie cercana a las 20.000 hectáreas (SIAP, 2014). Los prototipos de las estructuras para producción consisten en invernaderos de cristal, de plástico incluso mallas-sombra; algunas de ellas incluyen la utilización de acolchado plástico, riego por goteo, ventilación pasiva, sustratos hidropónicos e incluso ambientes climatizados (control de temperatura e inyección de CO₂). El cultivo de tomate en invernadero es el más importante y cubre una superficie de más de 7.000 hectáreas producidas anualmente (14).

En años recientes, este tipo de tecnología ha revolucionado la producción y ha incrementado las expectativas de rendimiento de fruta; de tal forma que algunos productores alcanzan rendimientos promedio de 55 kg m² de tomate, considerando el nivel de tecnología empleada en los diversos tipos de invernaderos (8).

El noroeste de México, con un total del 50% de la superficie nacional (GAIN, 2010), es común la utilización de invernaderos plásticos sin control de temperatura y empleando el suelo como sustrato. En este sentido, el conocimiento de la fertilidad intrínseca

del suelo en respuesta al crecimiento de cada cultivo es importante (9); con ello es posible evitar realizar aplicaciones excesivas de nutrientes o manejar posibles interacciones y deficiencias nutrimentales, las cuales podrían afectar la productividad y los rendimientos.

Dentro de los elementos esenciales el N es el que tiene mayor respuesta. El crecimiento de las plantas dependen principalmente de la nutrición nitrogenada, debido a que representa cerca del 80% del total de los elementos absorbidos (22).

El nitrógeno es un componente básico de la clorofila, el compuesto por el cual las plantas usan la energía solar para producir azúcares durante el proceso de la fotosíntesis.

En las plantas está directamente relacionado con los rendimientos y por esta razón, las concentraciones en los tejidos y en el extracto celular, son utilizadas como indicadores del estado nutrimental de las plantas (1). Bajo esta perspectiva, han sido realizados diversos estudios con el objetivo de identificar rangos de suficiencia que permitan monitorear la nutrición nitrogenada durante la estación de crecimiento en diversos cultivos hortícolas (1, 7, 34).

El análisis de nitratos en tejido fresco y seco ha sido extensivamente utilizado, sin embargo la ventaja del primero es debido a que se realiza de forma rápida y fácil (17).

La nutrición nitrogenada en cultivos hortícolas como papa (36), berenjena (18), brócoli (20), coliflor (18) y tomate de campo (31), son extensivamente manejados con el análisis de ECP, pero para el caso del tomate de invernadero son pocos las investigaciones que existen además de que reportan valores muy variables (29, 35). Lo mencionado anteriormente, sugiere la necesidad de evaluar los requerimientos minerales para este cultivo en particular y sobre todo para determinadas condiciones de suelo y clima.

Objetivo

Evaluar el efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre la concentración de nitratos en ECP, el rendimiento y la calidad de tomate de invernadero crecido en un suelo árido del desierto de Sonora en el Noroeste de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio fue realizado en un invernadero localizado en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, campo experimental localizado en Caborca Sonora, México (30°42'55" N, 112°21'18" W), durante el período de invierno a primavera (sept. 2008-mayo 2009).

Plántulas de tomate "Beatrice" de cinco semanas de edad fueron trasplantadas en parcelas dentro de un invernadero plástico sin calefacción.

El sistema de cultivo incluyó la utilización de acolchado plástico color negro y una línea central de riego por goteo.

El suelo utilizado tenía alrededor de 25 años sin haberse cultivado y presentó una textura areno (22%) limosa (78%), un pH moderadamente alcalino (7,96) y una conductividad eléctrica de 1,22 dS/m, bajo en materia orgánica (0,2%) y bajo en capacidad de intercambio catiónico (14,62 cmol•kg⁻¹) (6), medida sobre el perfil de los primeros 20 cm de suelo.

La calidad del agua utilizada en este experimento tuvo un pH de 7,74; una conductividad eléctrica de 0,81 dS/m; 65,9; 16,4; 75,6 y 4,5 mg•L⁻¹ de calcio, magnesio, sodio y potasio respectivamente.

El manejo de los riegos se realizó de acuerdo con el monitoreo de la tensión de humedad del suelo obtenidas de tensiómetros insertados en el centro del surco y a lecturas de 20-25 kPa.

El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar con cuatro repeticiones por tratamiento.

Las dosis evaluadas fueron 250, 500, 750 y 1000 kg N ha⁻¹, y se utilizó como fuente nitrogenada el UAN 32 (32-00-00) y nitrato de calcio (16-00-00-26).

Las dosis fueron fraccionadas a lo largo de la estación de crecimiento del cultivo siguiendo la recomendación de Papadopoulos (1991).

Antes del trasplante, se aplicó una dosis de 150 kg de fósforo en forma de fosfato monoamónico, mientras que durante el experimento se aplicaron 800, 100 y 100 kg ha⁻¹ de potasio, calcio y magnesio utilizando como fuentes sulfato de potasio, nitrato de calcio y sulfato de magnesio.

Las plantas fueron crecidas y conducidas a un solo tallo (33), los racimos fueron podados a cuatro frutos.

La cosecha comenzó a los 110 días después del trasplante (DDT), cuando las frutas estuvieron a madurez fisiológica.

Los datos de rendimiento incluyeron el tamaño, el peso de fruta comercial y fruta descartada.

La categoría de fruta comercial fue graduada en cuatro categorías: extragrande (>74 mm), grande (73-65 mm), mediana (64-59 mm) y chica (58-54 mm) (19).

La fruta descartada comprendió aquella menor de 54 mm o con defectos por pudrición apical o defectos de reventado y cicatrices. En dos fechas durante el experimento (febrero 15 y marzo 21) se midió la calidad bioquímica de la fruta y comprendió los parámetros de sólidos solubles totales (TSS), acidez titulable (AT) y la relación sólidos solubles totales/acidez titulable (TSS/AT).

Los TSS fueron determinados con un refractómetro digital y se expresaron con °Brix, mientras que la acidez titulable se

determinó con 0,1 N de NaOH a pH de 8,2 y se expresó como g 100 g⁻¹ de ácido cítrico.

Justo después de la floración (40 DDT), y a intervalos de 14-30 días, se identificó la concentración de nitratos en el ECP de la hoja más recientemente madura.

La determinación se realizó con un sensor manual (Cardy meter) siguiendo las recomendaciones de Hochmuth (1994).

Con los datos de rendimiento y calidad, se realizó análisis de varianza y comparación múltiple de medias de Tukey ($P \leq 0,05$), así como análisis de regresión utilizando MINITAB® Release 14 Statistical Software. Las concentraciones de nitrato en ECP fueron relacionadas al máximo rendimiento relativo y a los valores encontrados entre el 95 y 100%, fueron identificados como rangos nutricionales (11).

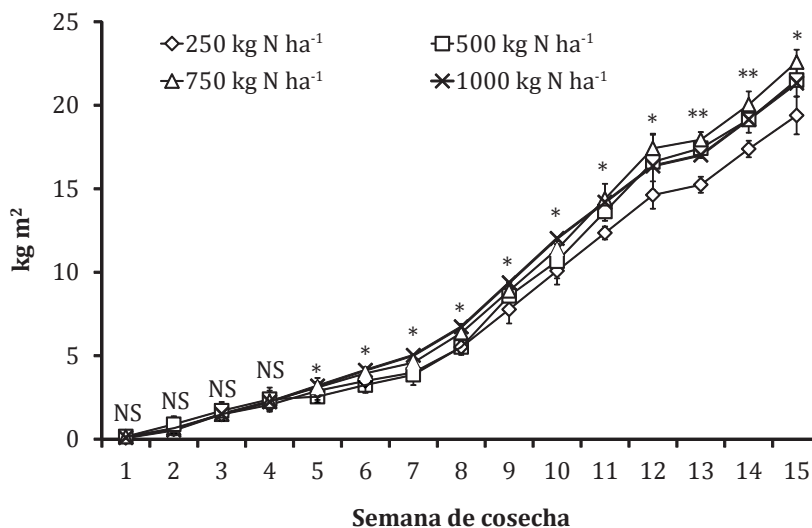
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento

La figura 1 (pág. 97) muestra los rendimientos de las cosechas realizadas durante el experimento. Se aprecia que durante los primeros cuatro cortes, no se encontró diferencia significativa entre los rendimientos obtenidos por las dosis de nitrógeno aplicadas ($P > 0,05$).

Sin embargo, desde la cosecha cinco hasta la doce y de la trece a la quince, los rendimientos fueron significantes y altamente significativamente afectados por la fertilización nitrogenada ($P < 0,05$ y $P < 0,01$, respectivamente). Al fin del período de cosecha, los rendimientos fluctuaron entre los 19,3 y 22,3 kg m² de fruta.

Los mayores rendimientos se obtuvieron con las dosis de 500 y 750 kg N ha⁻¹, y los más bajos rendimientos con las dosis de 250 y 1000 kg N ha⁻¹ (tabla 1, pág. 97).



Barras representan la desviación estándar: n = 4; NS: no significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P < 0,05$); **: significativo ($P < 0,01$).

Bars represent standard deviation of n=4; NS: not significance ($P > 0.05$); *: significance ($P < 0.05$) and **: significance ($P < 0.01$).

Figura 1. Efecto de cuatro dosis de nitrógeno sobre la dinámica de rendimiento de fruta en tomate de invernadero.

Figure 1. Effect of four nitrogen fertigation rates on the dynamics of fruit yield in greenhouse tomato.

Tabla 1. Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre el rendimiento de fruta comercial, descartada y rendimiento total en tomate de invernadero.

Table 1. Nitrogen fertigation effect on marketable, cull and total fruit yield of greenhouse tomato.

N aplicado (kg ha ⁻¹)	Rendimiento (kg m ²)		
	comercial	descartada	total
250	17,0 a	2,3 a	19,3 a
500	20,6 b	1,7 b	22,3 b
750	20,6 b	1,4 b	22,0 b
1000	18,4 a	2,8 a	21,2 ab
	*	*	*

*: Significante a $P < 0,05$.

*: Significant: $P < 0.05$.

Por otro lado, los rendimientos máximos de fruta comercial, estuvieron en el orden de los 17 y 20,6 kg m², con respuesta a las mismas dosis de nitrógeno estudiadas.

Por otra parte, el rendimiento de fruta descartada mostró diferencia entre los tratamientos evaluados, indicando que a dosis bajas y altas, la cantidad de este tipo de fruta aumenta. Lo anterior permitiría inferir que las plantas crecidas bajo dosis mayores a 500 kg N ha⁻¹ invirtieron la energía producida, en el crecimiento vegetativo y no en el reproductivo afectando los rendimientos (3).

Montemurro *et al.* (2007), identificó que el cultivo de tomate crecido bajo altas dosis de nitrógeno, inducían a la planta al retraso en la aparición de racimos florales y por consecuencia el rendimiento se reducía al final de la estación de crecimiento.

Por otra parte, las bajas dosis de nitrógeno aplicadas al tratamiento 250 kg N ha⁻¹, sacrificaron el crecimiento vegetativo y este a su vez no permitió una mayor aparición y desarrollo de órganos reproductivos, lo que explicaría también la reducción del rendimiento.

La hipótesis anterior es reforzada por los resultados encontrados por Bernard *et al.* (2009), quienes encontraron una reducción en el crecimiento expresado como materia seca en hojas, pedúnculos y tallos de plantas crecidas bajo condiciones de estrés por nitrógeno.

Así mismo, Frias-Moreno *et al.* (2014) encontraron una reducción en el crecimiento de las láminas foliares en plantas de tomate sometidas a bajas dosis de nitrógeno.

Tamaño y distribución porcentual de la fruta

Cuando el número y la proporción de fruta cosechada fueron evaluadas con respecto a las dosis de nitrógeno, solamente las frutas de tamaño chico mostraron diferencia significativa ($P < 0,05$; tabla 2).

Se encontró que a mayor dosis de nitrógeno, mayor cantidad de fruta de tamaño chico. Así mismo, el número de frutas chicas, medianas grandes y extra-grandes estuvieron en el orden de los 23,6 a 28,3; 27,9 a 32,3; 36,7 a 46,7 y 30,2 a 39,0 frutas por m² (tabla 2).

Tabla 2. Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre el número y proporción de fruta en tomate de invernadero.

Table 2. Nitrogen fertigation effect on number and proportion fruit of greenhouse tomato.

N aplicado (kg ha ⁻¹)	Número (m ²)					Proporción (%)				
	Chico	Mediano	Grande	Extra-grande	Total	Chico	Mediano	Grande	Extra-grande	Total
250	23,6	27,9	36,7	30,2	118,4	20	24	31	25	100
500	24,1	31,4	41,8	39,0	136,2	18	23	31	28	100
750	28,1	32,3	46,7	33,1	140,2	20	23	33	24	100
1000	28,3	28,1	36,9	32,9	126,2	23	22	29	26	100
Significancia	*	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	

*: Significante: $P < 0,05$; NS: no significativo: $P > 0,05$.

*: Significant: $P < 0.05$; NS: no significant: $P > 0.05$.

Lo anterior indica que los rendimientos expresados como la suma de las frutas de tamaño mediano, largo y extralargo dependen de la dosis de nitrógeno aplicado pero no, la distribución del tamaño de la fruta, la cual resulta ser una variable independiente de los tratamientos evaluados (23).

Si se toma en cuenta los rendimientos encontrados en este estudio bajo condiciones de suelo árido y clima cálido y debido a la gran diversidad de altitudes y ambientes prevalecientes en México, son considerados aceptables. Grijalva *et al.* (2011) obtuvo rendimientos similares al evaluar el comportamiento de algunos híbridos bajo las mismas condiciones ambientales y de suelo que en este experimento.

Calidad química de la fruta

La aplicación de nitrógeno puede afectar los parámetros de calidad en tomate. Una revisión realizada por Dorais *et al.* (2001), explica que altas dosis de fertilización nitrogenada tiene influencia negativa sobre el color, tiempo a

maduración, uniformidad de maduración y reduce el contenido de sólidos solubles en la fruta. Sin embargo, bajo las condiciones de este experimento, las dosis de nitrógeno evaluadas no afectaron la calidad de la fruta expresada como TSS en ninguna de las dos fechas evaluadas ($P > 0,05$; tabla 3).

Los valores identificados en TSS durante el mes de febrero fueron más bajos que aquellos presentados en el mes de marzo.

Los valores fluctuaron entre los 3,17 a 3,65°Brix en la primera fecha y de 4,3 a 4,46°Brix en la segunda. Resultados similares han sido encontrados por Hartz *et al.* (2005), cuando estudió el efecto de las dosis de potasio en tomate para uso industrial cultivado en suelos de California U.S.A. Ellos encontraron valores de 4,69 a 4,84°Brix.

Por otro lado, al evaluar la AT y la relación TSS/AT, no se encontró respuesta significativa a las dosis de nitrógeno aplicadas en ninguna de las fechas evaluadas ($P > 0,05$; tabla 3).

Tabla 3. Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre los sólidos solubles totales (TSS), acidez titulable (AT) y la relación sólidos solubles totales/acidez titulable (TSS/AT) en tomate de invernadero.

Table 3. Effect of nitrogen fertigation on total soluble solids (TSS), Titratable acidity (AT), and total soluble solid/titratable acidity ratio (TSS/TA) in greenhouse tomato.

N aplicado (kg ha ⁻¹)	TSS (°Brix)		AT (g 100 g ⁻¹)		TSS/AT (g 100 g ⁻¹)	
	Febrero	Marzo	Febrero	Marzo	Febrero	Marzo
250	3,44 (0,58)	4,30 (0,34)	0,28 (0,06)	0,32 (0,07)	12,37(2,66)	13,60 (2,93)
500	3,65 (0,33)	4,15 (0,23)	0,34 (0,03)	0,33 (0,04)	10,92(1,09)	12,73 (1,90)
750	3,28 (0,33)	4,39 (0,19)	0,36 (0,05)	0,35 (0,05)	9,26 (2,23)	12,64 (1,69)
1000	3,17 (0,27)	4,46 (0,17)	0,33 (0,07)	0,32 (0,05)	10,10(1,52)	14,07 (1,82)
Significancia	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS: no significant: $P > 0,05$.

NS: no significant: $P > 0.05$.

Para los valores de AT, los valores estuvieron en el orden de los 0,28 a 0,36 para el mes de febrero y 0,32 a 0,35 g 100 g⁻¹ de ácido cítrico, mientras que los valores para TSS/AT fueron de 9,26 a 12,37 en febrero y de 12,64 a 14,07 para el mes de marzo.

Toor *et al.* (2006), indicaron que muchos de los parámetros bioquímicos de la fruta en tomate pueden verse afectados por factores como temperatura, humedad relativa o radiación solar prevalientes dentro del invernadero. En su estudio, encontraron incrementos en la concentración de TSS e incrementos en la concentración de fenólicos totales durante el transcurso de la estación de crecimiento del cultivo de tomate.

Otros investigadores han demostrado que la AT y TSS puede incrementarse cuando se utiliza agua de riego salina (5) o cuando las plantas cultivadas son sometidas a estrés moderado de agua (26).

Nitratos en el extracto celular de peciolo

La concentración de nitratos en el ECP mostró los menores valores durante

la estación de crecimiento del cultivo de tomate (tabla 4), comenzando con un valor promedio de 2530 mg L⁻¹ NO₃ y finalizando con una cantidad de 940 mg L⁻¹ NO₃.

Una excepción de esta tendencia en el decremento de la concentración de NO₃ resultó a los 68 DDT cuando se presentaron valores entre los 1737 y 2725 mg L⁻¹ NO₃. Posiblemente pudo deberse a descensos en temperatura ocurrida dentro del invernadero.

En un estudio realizado bajo condiciones similares al presente, Núñez *et al.* (2012) encontraron un decremento del área de la hoja más recientemente madura por efecto del descenso de temperaturas, situación que pudo haber originado un aumento en la concentración de NO₃ en este tejido.

En todas las fechas de muestreo evaluadas la concentración de NO₃ mostró relación significativa con las dosis de nitrógeno aplicadas encontrando valores de R² en el orden de 0,743 a 0,992 (significante a P ≤ 0,05; tabla 4).

Tabla 4. Efecto del a fertirrigación nitrogenada sobre la concentraciones de nitratos en extracto celular de peciolo en tomate de invernadero.

Table 4. Nitrogen fertigation effect on nitrate concentrations in extract cellular of petiole on greenhouse tomato.

N aplicado (kg ha ⁻¹)	Fecha de muestro (días después del trasplante)								
	Nov 14 (40)	Nov 28 (54)	Dic 12 (68)	Dic 26 (82)	Ene 9 (96)	Ene 23 (110)	Feb 6 (124)	Mar 5 (151)	Abr 21 (198)
Concentración de nitratos en el extracto celular de peciolo (mg·L⁻¹)									
250	1900	1650	1587	1737	1375	1256	1232	957	833
500	2225	1707	2075	2100	1612	1460	0962	974	863
750	2837	1750	1750	2725	1670	1562	1437	1065	998
1000	3156	2325	2075	2062	1400	1350	1202	1098	1013
Significancia	**	**	*	**	**	**	NS	**	**
R ²	0,983	0,992	0,743	0,789	0,970	0,965	-0,519	0,779	0,987

NS: no significante: P > 0,05; * Significante a P < 0,05; **: Significante a P < 0,01.

NS: no significant: P > 0.05; *: Significant: P < 0.05; **: Significant: P < 0.01.

Una excepción fue relacionar las concentraciones con el rendimiento a los 124 DDT. Los rangos críticos para NO_3 y N-NO_3 (mg L^{-1}), en ECP para tomate de invernadero son presentados en la tabla 5.

Los valores identificados resultaron ser más bajos que aquellos publicados por Hochmuth (1994). Este investigador reportó valores de N-NO_3 de $1000\text{-}1200 \text{ mg L}^{-1}$ desde el trasplante del cultivo hasta la aparición del segundo racimo floral, de $800\text{-}1000 \text{ mg L}^{-1}$ desde la aparición del segundo al quinto racimo floral, y de $700\text{-}900 \text{ mg L}^{-1}$ para el comienzo de la cosecha hasta finalización del cultivo (diciembre a junio).

Más recientemente, Ojodeagua *et al.* (2008) cultivando tomates en invernadero en el centro de México, donde prevalecen inviernos suaves, reportó valores de $588\text{-}787 \text{ mg L}^{-1} \text{ N-NO}_3$ para el desarrollo vegetativo (17-45 DDT), de

$595\text{-}926 \text{ mg L}^{-1} \text{ N-NO}_3$ en estado reproductivo (59-101 DDT) y de $542\text{-}548 \text{ mg L}^{-1} \text{ N-NO}_3$ desde la cosecha al final del cultivo (120-195 DDT).

La diversidad de valores encontrados en la literatura con los obtenidos en esta investigación fortalece la necesidad e importancia de desarrollar este tipo de tecnologías de diagnóstico nutricional para cada agroambiente en particular (2).

CONCLUSIONES

Para alcanzar máximos rendimientos totales y comerciales en tomate de invernadero crecido en suelos áridos del desierto de Sonora en el noroeste de México, se requirió aplicar 500 kg ha^{-1} de nitrógeno.

Las cantidades de nitrógeno evaluadas en este estudio, no afectaron la distribución de tamaño de fruta ni la calidad química de la misma expresada como sólidos solubles totales, acidez titulable y la relación entre ambos.

Las concentraciones de nitratos en el extracto celular de peciolo estuvieron relacionadas con la aplicación de nitrógeno al cultivo y pueden ser utilizados como una herramienta para monitorear la nutrición nitrogenada en tomate de invernadero cultivado bajo estos ambientes.

Tabla 5. Rangos críticos para NO_3 y N-NO_3 (mg L^{-1}) en ECP en tomate de invernadero.

Table 5. Critical ranges for NO_3 and N-NO_3 (mg L^{-1}) in ECP for greenhouse tomato.

DDT [§]	NO_3 (mg L^{-1})	N-NO_3 (mg L^{-1})
40	2250-2150	508-485
54	1990-1870	450-422
68	1860-1740	420-393
82	2240-2075	506-469
96	1570-1470	354-332
110	1560-1420	352-320
152	1025-990	232-224
198	925-890	209-201

[§]DDT: días después del trasplante; [‡]Para convertir los valores de NO_3 a valores N-NO_3 , multiplicar $\text{mg L}^{-1} \text{ N-NO}_3$ por 0,226.

[§]DDT: days after transplant; [‡]To convert values of NO_3 to values of N-NO_3 , multiply $\text{mg L}^{-1} \text{ N-NO}_3$ by 0.226.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alcantar, G.; Sandoval, M.; Castellanos, J. Z.; Mendez, F.; Sánchez, P.; Rodríguez, M. N. 2002. Diagnostic methods to evaluate nutrient status of garlic, onion, and broccoli. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33: 2585-2598.
2. Apáez Barrios, P.; Escalante Estrada, J. A. S.; Sosa Montes, E.; Apáez Barrios, M.; Rodríguez González, M. T.; Raya Montaña, Y. A. 2016. Producción y calidad nutrimental de vaina del frijol chino, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, en función de arreglo topológico y tipo de fertilización. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 48(2): 31-42.
3. Bar-Tal, A.; Feigin, A.; Sheinfeld, S.; Rosenberg, R.; Sternbaum, B.; Rylski, I.; Pressman, E. 1995. Root restriction and N-NO₃ solution concentration effects on nutrient uptake, transpiration and dry matter production of tomato. *Scientia Horticulturae.* 63:195-208.
4. Bernard, C.; Gautier, H.; Bourgaud, F.; Grasselly, D.; Navez, B.; Caris-Veyrat, C.; Weiss, M.; Nard, M. 2009. Effects of low nitrogen supply on tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit yield and quality with special emphasis on sugars, acids, ascorbate, carotenoids, and phenolic compounds. *J. Agric. Food Chem.* 57: 4112-4123.
5. Brasiliano, C. C. A.; Fernández, P. D.; Gheyi, H. R.; Blanco, F. F.; Gonçalves, C. B.; Campos, S. A. F. 2006. Yield and fruit quality of industrial tomato under saline irrigation. *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.).* 63: 146-152.
6. Castellanos, J. Z.; Uvalle-Bueno, J. X.; Aguilar-Santelises, A. 2000a. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos, Aguas Agrícolas, Plantas y ECP. INTAGRI, México.
7. Castellanos, J. Z.; Lazcano, F. I.; Sosa, A. B.; Badillo, V.; Villalobos, S. 2000b. Monitoreo Nutrimental y fertilización nitrogenada: bases para altos rendimientos y calidad en brócoli cultivado en vertisoles ricos en potasio de la parte central de México. *Informaciones Agronómicas.* 4: 11-14.
8. Costa, P.; Giacomelli, G. 2005. Protected horticulture for tomato production in Mexico productivity based on technology alternative. VII Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas. Mexicali, B. C. México. p. 89-93.
9. Delgado Martínez, R.; Escalante Estrada, J. A. S.; Morales Rosales, E. J.; López Santillan, J. A.; Rocandio Rodríguez, M. 2015. Producción y rentabilidad del frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) asociado a maíz en función de la densidad y el nitrógeno en clima templado. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 47(2): 15-25.
10. Dorais, M.; Papadopoulos, P.; Gosselin, A. 2001. Greenhouse tomato fruit quality. *Horticultural reviews.* 26: 239-284.
11. Dow, A. I.; Roberts, S. 1982. Proposal: critical nutrient ranges for crop diagnosis. *Agronomy Journal.* 74: 401-403.
12. Frias-Moreno, N.; Nuñez-Barrios, A.; Perez-Leal, R.; Gonzalez-Franco, A.; Hernández-Rodríguez, A.; Robles-Hernandez, L. 2014. Effect of nitrogen deficiency and toxicity in two varieties of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* L.). *Agricultural Sciences.* 5: 1361-1368.
13. GAIN (Global Agricultural Information Network). 2010. Mexico: Greenhouse and Shade House Production to Continue Increasing. Global Agricultural Information Network Report Number. MX0024. Available at: http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Greenhouse%20and%20Shade%20House%20Production%20to%20Continue%20Increasing_Mexico_Mexico_4-22-2010.pdf (Accessed: 25 September 2012).
14. González, N. J. F. 2009. La Agricultura Protegida. *Horticultivos. Editorial Agro Síntesis S. A. de C. V. México.* D. F. p. 6.
15. Grijalva, C. R. L.; Duarte, R. M.; Contreras, F. R. 2011. Comportamiento de híbridos de tomate bola en invernadero bajo condiciones desérticas del noroeste de Sonora. *Tropical and Subtropical Agroecosystems.* 14: 675-682.
16. Hartz, T. K.; Johnstone, P. R.; Francis, D. M.; Miyao E. M. 2005. Processing tomato yield and fruit quality improved with potassium fertigation. *Hortscience.* 40: 1862-1867.
17. Hochmuth, G. J. 1994. Plant petiole sap-testing guide for vegetable crops. Florida Cooperative Extension Service. Special Series. Circular 1144. p 21.

18. Hochmuth, G. J.; Hochmuth, R. C.; Donley, M. E.; Hanlon, E. A. 1993. Eggplant yield in response potassium fertilization on sandy soil. *Hortscience*. 28: 1002-1005.
19. Jones, J. B. 1998. Tomato Plant Culture. In the field, greenhouse, and home garden. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton - London - New York 2008.
20. Kubota, A.; Thompson, T. L.; Doerge, T. A.; Godin, R. E. 1996a. A petiole sap nitrate test for broccoli. *Journal of Plant Nutrition*. 20: 669-682.
21. Kubota, A.; Thompson, T. L.; Doerge, T. A.; Godin, R. E. 1996b. A petiole sap nitrate test for cauliflower. *Hortscience*. 31: 934-937.
22. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London. 889 p.
23. Montagu, K. D.; Goh, K. M. 1990. Effects of forms and rates of organic and inorganic nitrogen fertilizers on the yield and some quality indices of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Miller). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 18: 31-37.
24. Montemurro, F.; Maiorana, M.; Lacertosa, G. 2007. Plant and soil nitrogen indicators and performance of tomato grown at different nitrogen fertilization levels. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2: 143-148.
25. Núñez-Ramírez, F.; Grijalva-Contreras, R. L.; Macías-Duarte, R.; Robles-Contreras, F.; Ceceña-Duran, C. 2012. Crecimiento, acumulación y distribución de materia seca en tomate de invernadero. *Biotecnia*. 14(3): 25-31.
26. Nuruddin, M. M.; Madramootoo, C. A.; Doods, G. T. 2003. Effects of water stress at different growth stages on greenhouse tomato yield and quality. *Hortscience*. 38: 1389-1393.
27. Ojodeagua-Arredondo, J. L.; Castellanos-Ramos, J. Z.; Muñoz-Ramos, J. J.; Alcántara-González, G.; Tijerina-Chávez, L.; Vargas-Tapia, P.; Enríquez-Reyes, S. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Revista Fitotécnica Mexicana*. 31(4): 367-374.
28. Papadopoulos, A. P. 1991. Growing greenhouse tomatoes in soil and in soilless media. Agriculture and Agri-Food Canada 1865/E Communications Branch, Agriculture Canada. Ottawa, Ontario Canada, K1A 0C7.
29. Rezende, F. P. C.; Pagotto, C. R. 2002. Critical values of nitrogen indices in tomato plants grown in soil and nutrient solution determined by different statistical procedures. *Pesq. Agropec. Bras.* 37: 1421-1429.
30. SIAP. 2014. Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera. Disponible en: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>.
31. Taber, H. G. 2006. Potassium application and leaf sufficiency level for fresh-market tomatoes grown on a Midwestern United States fine textured soil. *Horttechnology*. 16: 47-52.
32. Toor, R. K.; Savagea, G. P.; Lister, C. E. 2006. Seasonal variations in the antioxidant composition of greenhouse grown tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*. 19: 1-10.
33. Van de Vooren, J. G.; Welles, W. H.; Hayman, G. 1986. Glasshouse crop production. In: *The tomato crop*. Chapman and Hall. London, England. p. 581-623.
34. Waterer, D. 1997. Petiole sap NO₃-N testing as a method for monitoring nitrogen nutrition of potato crops. *Canadian Journal of Plant Science*. 77: 273-278.
35. Yamamoto, F.; Matsumaru, T. 2006. Nitrogen application rates for greenhouse tomato based on real-time diagnosis of petiole sap: effects of soil nitrate contents before cultivation. *Soil Science and Plant Nutrition*. 19: 1405-1412.
36. Zhang, H.; Smeal, D.; Arnold, R. N.; Gregory, E. J. 1996. Potato nitrogen management by monitoring petiole nitrate level. *Journal of Plant Nutrition*. 19: 1405-1412.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, CIRNO-Caborca por las facilidades otorgadas durante la investigación, así mismo al Sr. Javier Gonzales de la Riva y Sr. Bernabé Zavala Aragón por la asistencia técnica recibida en el manejo del riego dentro del invernadero durante el experimento.

Aporte de nitrógeno proveniente de pollinaza al cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* L.)

Contribution of nitrogen from chicken manure to broccoli crop (*Brassica oleracea* L.)

Daniel Torres Nava ¹, Engelberto Sandoval Castro ², Juan José Peña-Cabriales ^{3*}, José Antonio Vera-Núñez ³

Originales: *Recepción*: 27/05/2016 - *Aceptación*: 30/11/2016

RESUMEN

Se evaluó a través de la técnica isotópica de ¹⁵N el aporte de nitrógeno (N) proveniente de la pollinaza durante el desarrollo del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* L.). Se establecieron seis tratamientos a una dosis de 300 kg N ha⁻¹ producto de la combinación de fertilizante químico (N-fosfonitrato) y fertilizante orgánico (N-pollinaza): 1) 0 + 300; 2) 100 + 200; 3) 150 + 150; 4) 200 + 100; 5) 300 kg N-fosfonitrato ha⁻¹ + 0 kg N-pollinaza ha⁻¹; y 6) testigo sin fertilización N, en un diseño de bloques al azar con cinco repeticiones. Los resultados mostraron el mayor rendimiento en los tratamientos 200 kg N-fosfonitrato ha⁻¹ + 100 kg N-pollinaza ha⁻¹ y 300 kg N-fosfonitrato ha⁻¹ (16 y 17 Mg ha⁻¹, respectivamente). El mayor rendimiento de N total (347 kg N ha⁻¹) ocurrió a 150 kg N-pollinaza. Los datos de ¹⁵N indican una baja asimilación de N-fertilizante, destacando los tratamientos donde se aplicó pollinaza con los valores menores (3,2-4,1%) en comparación con el tratamiento a base de N-fosfonitrato (28,7-48,0%). La absorción de N-pollinaza fue aproximadamente 29,5%. Los datos sugieren un efecto sinérgico entre el fertilizante químico y orgánico, ya que se observó una alta contribución del N del suelo dadas las constantes aplicaciones de pollinaza al sistema de producción en Tepeaca, Puebla.

Palabras clave

Absorción de ¹⁵N • fertilizante orgánico • sinergismo

-
- 1 Programa Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional. Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. dtorres.nava@gmail.com
 - 2 Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. engel@colpos.mx
 - 3 Depto. de Biotecnología y Bioquímica del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav)-IPN, Unidad Irapuato. km 9.6 Lib. Norte, Carretera Irapuato-León. 36821 Irapuato, Guanajuato, México.

ABSTRACT

The nitrogen (N) contribution from chicken manure to broccoli crop (*Brassica oleracea* L.) was evaluate using the ^{15}N isotopic technique. Six treatments combining chemical fertilizer (N-phosphonitrate) and organic fertilizer (N-chicken manure) at a total rate of 300 kg N ha^{-1} were established: 1) $0 + 300$; 2) $100 + 200$; 3) $150 + 150$; 4) $200 + 100$; 5) $300 \text{ kg N-phosphonitrate ha}^{-1} + 0 \text{ kg N-chicken manure ha}^{-1}$; and 6) an unfertilized N control. Five replicates per treatment were established under a statistical design of random blocks. The highest yield of broccoli (heads) corresponded to treatments $200 \text{ kg N-phosphonitrate ha}^{-1} + 100 \text{ kg N-chicken manure ha}^{-1}$ and $300 \text{ kg N-phosphonitrate ha}^{-1}$ yielding 16 and 17 Mg ha^{-1} , respectively. The highest value of total N-uptake (347 kg N ha^{-1}) was observed in treatment corresponding to $150 \text{ kg N-phosphonitrate ha}^{-1} + 150 \text{ kg N-chicken manure ha}^{-1}$. The ^{15}N data indicate low values of N-fertilizer uptake (3.2-4.1%) when manure was applied. The N-phosphonitrate alone treatment showed a higher value of N-fertilizer (28.7-48.0%) than treatment $200 \text{ kg N-phosphonitrate ha}^{-1} + 100 \text{ kg N-chicken manure ha}^{-1}$ (4.5-5.1%). The N uptake by plants from manure was 29.5% average. The combination of chemical and organic fertilizers resulted in a higher total N-uptake. The constant application of manure to soil under broccoli production in Puebla region resulted in a significant contribution of soil N to the broccoli crop.

Keywords

^{15}N -uptake • organic fertilizer • synergetic

INTRODUCCIÓN

El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados (N) sintéticos y el manejo intensivo del suelo, incluyendo la labranza ha conducido a un deterioro de la reserva nutrimental del suelo y a un alto impacto ambiental por la emisión de gases relacionados con el efecto invernadero y la posible contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos (25). Sin embargo, la combinación de enmiendas orgánicas con fertilizantes químicos representa una alternativa para desarrollar estrategias de fertilización sostenibles (11, 20).

El uso de fertilizantes químicos y orgánicos genera una serie de mejorías a los suelos, además pueden incrementar el rendimiento de cultivos. En este contexto, es esencial estudiar el comportamiento

del N en fertilizantes órgano-minerales para estimar la cantidad y la velocidad de liberación del N proveniente de la fracción orgánica (14).

En el Estado de Puebla se cultivan aproximadamente $1,350 \text{ ha}$ de brócoli, destacando la región de Tepeaca-Tecamachalco como el núcleo más importante de producción hortícola del Estado y con el mayor número de municipios dedicados al cultivo, con un rendimiento comercial que oscila en $9-12 \text{ Mg ha}^{-1}$ (32). En esta región se comercializan embarques hacia los mercados de los Estados Unidos de Norteamérica, Canadá y Cuba.

En la región existen varias granjas avícolas, las excretas (pollinaza) generadas

en dicha actividad se destinan, principalmente, para la aplicación en cultivos hortícolas como el brócoli.

Sin embargo, este insumo se aplica de forma empírica y en grandes cantidades junto con fertilizantes químicos, por lo que es necesario evaluar el comportamiento del N proveniente de la pollinaza en el sistema de producción de brócoli para optimizar el uso de este insumo.

El principal problema de la integración de abonos orgánicos con fertilizantes químicos, es establecer una adecuada sincronización entre la cantidad y la disponibilidad de N en ambos fertilizantes y la absorción de N por el cultivo (17).

Al igual que otros nutrimentos como el P (28), N de los fertilizantes orgánicos debe ser mineralizado para estar disponible para las plantas, este proceso microbiano, generalmente, no coincide en tiempo con las etapas de mayor requerimiento por el cultivo (29). Esta información es fundamental pues permitiría definir correctamente la cantidad y etapa de aplicación de fertilizantes químicos y orgánicos de acuerdo con las necesidades de N por el cultivo. Por lo anterior, es necesario realizar estudios enfocados a optimizar el uso de estiércoles para derivar el beneficio máximo de esta práctica de fertilización orgánica (11).

Objetivo

Evaluar el aporte de N proveniente de la aplicación de pollinaza durante el ciclo de desarrollo del cultivo de brócoli a través de la técnica isotópica de ^{15}N .

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio y suelo experimental

El experimento se realizó en la localidad de Santa María Oxtotipan perteneciente

al municipio de Tepeaca, Puebla, México, ubicado a 18°56' Norte y 97°51' Oeste, y una altitud de 2226 m s. n. m. El suelo experimental pertenece al tipo Cambisol (15).

La caracterización físico-química del suelo (estrato 0-20 cm profundidad) realizada en el Laboratorio de Suelos del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos de acuerdo con la norma NOM-021-SEMARNAT-2000, indica: textura arcillosa, densidad aparente de 1,13 g cm⁻³ pH 4,9, conductividad eléctrica 3,35 dS m⁻¹, materia orgánica 3,35%, nitrógeno total 0,07%, fósforo Bray 45,86 mg kg⁻¹, potasio 0,77 meq 100 g⁻¹, N-NH₄⁺ 41 mg kg⁻¹, N-NO₃⁻ 199 mg kg⁻¹, Na 0,55 meq 100 g⁻¹ y capacidad de intercambio catiónico de 18,93 meq 100 g⁻¹.

Tratamientos experimentales

Se utilizó como fertilizante orgánico excretas de pollo (N-pollinaza) tanto de engorda (carne) como de postura (huevo), obtenido de una granja avícola del municipio de Tecamachalco, Puebla, México.

La N-pollinaza fue parcialmente establecida durante una semana y caracterizada nutrimentalmente en el Laboratorio de Microbiología Ambiental del Cinvestav-IPN, Unidad Irapuato: 4,25% N total; 0,22% P total; 3,8% K total, pH de 6,9; relación C/N de 6,20% de humedad y una conductividad eléctrica de 4,37 dS m⁻¹.

En una parcela experimental de cuatro surcos de 1 m de ancho por 5 m de largo, el 30 de septiembre de 2009, se trasplantó el brócoli cultivar "Heritage" (Seminis^{MR}) a una distancia entre plantas de 0,4 m equivalente a una densidad de 31 x 10³ plantas ha⁻¹ en un arreglo de "tres bolillo".

Derivado del contenido de N-total, humedad de la pollinaza utilizada, y con base a la dosis de fertilización 300-100-100 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O, respectivamente,

se establecieron seis tratamientos producto de la combinación de fertilizante químico: N-fosfonitrato (47,5-47,5-3,0%) y fertilizante orgánico: N-pollinaza (4,25-0,22-3,80%) N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente: 1) 0 + 300; 2) 100 + 200; 3) 150 + 150; *4) 200 + 100; *5) 300 kg N-fosfonitrato ha⁻¹ + 0 kg N-pollinaza ha⁻¹ (*tratamiento marcado con K¹⁵NO₃); y 6) un testigo sin fertilización N. El ensayo se instaló en un diseño de bloques al azar con cinco repeticiones.

El total del fertilizante N-pollinaza se aplicó a la siembra, mientras que el N-fosfonitrato se fraccionó: 1) 50% al trasplante y 2) 50% a los 15 días después del trasplante (ddt).

Previo al trasplante, se ajustaron y aplicaron los requerimientos de P₂O₅ y K₂O con superfosfato de calcio triple y sulfato de potasio, respectivamente. La cosecha (florete) se realizó el 15 de diciembre de 2009 (85 ddt). El manejo del cultivo se realizó de acuerdo con las prácticas del agricultor cooperante.

Marcaje y muestreo isotópico de ¹⁵N

Para estimar el contenido y origen del N del fertilizante (Nf), del suelo (Ns) y de la pollinaza (Np) durante el ciclo de desarrollo de la planta de brócoli, se utilizó la técnica de dilución isotópica de ¹⁵N (35), para lo cual se marcó el suelo en dos microparcels isotópicas de 2 m² ubicadas en los dos surcos centrales de la unidad experimental.

Al trasplante y a los 15 ddt en los tratamientos: *4) 200 kg N-fosfonitrato ha⁻¹ + 100 kg N-pollinaza ha⁻¹; y *5) 300 kg N-fosfonitrato ha⁻¹ + 0 kg N-pollinaza ha⁻¹ se aplicó K¹⁵NO₃ en solución con un enriquecimiento de 10,03% de ¹⁵N átomos en exceso (a.e.), equivalente al 10% de la dosis de 300 kg ha⁻¹ aplicada en los tratamientos sin marcar.

A los 30 (etapa vegetativa), 60 (etapa de inicio de botoneo) y 85 (florete) ddt (26)

en ambos tratamientos, se muestrearon dos plantas de brócoli por etapa fisiológica de la microparcels isotópica de ¹⁵N a 5 cm del nivel del suelo, para cuantificar la producción de masa fresca y seca de hoja+tallo y florete (a la cosecha se muestrearon 12 plantas completas para estimar el rendimiento de florete).

Las muestras se secaron en horno por 72 h, posteriormente se molieron (malla 0,5 mm) para estimar el N total por el método Kjeldahl y la relación isotópica de ¹⁵N/¹⁴N por espectrometría de emisión óptica (4) en el Laboratorio de Microbiología Ambiental del Cinvestav-IPN, Unidad Irapuato.

Cálculos isotópicos de ¹⁵N

Sobre la base de los parámetros de biomasa seca (RMS, kg ha⁻¹), N total (Nt, %) y la relación isotópica ¹⁵N/¹⁴N (¹⁵N a.e., %) en las etapas muestreadas, se calcularon las variables de rendimiento de N total (RNt), N del fertilizante (Nddf), N del suelo (Ndds) y N de la pollinaza (Nddp) de acuerdo con Zapata (1990).

Rendimiento de N total (RNt)

El rendimiento de Nt (RNt, kg N ha⁻¹) se obtuvo multiplicando el rendimiento de masa seca (RMS, kg ha⁻¹) en cada etapa de interés por el porcentaje de N total (Nt, %), mediante la ecuación siguiente:

$$RNt (\text{kg N ha}^{-1}) = RMS (\text{kg ha}^{-1}) \times [Nt (\%) / 100]$$

N derivado del fertilizante (Nddf)

Tratamiento 4 con pollinaza (+p)

La fracción de N en la planta derivado del fertilizante (Nddf, %) en el tratamiento 4 se determinó con base a los átomos en exceso de ¹⁵N en la planta del tratamiento con pollinaza (¹⁵N_{+p} a.e., %) entre los átomos en exceso de ¹⁵N del fertilizante aplicado (¹⁵Nf a.e., equivalente a 10,03%).

Tratamiento 5 sin pollinaza (-p)

La fracción de N en la planta derivado del fertilizante (Nddf, %) en el tratamiento 5 se determinó con base a los átomos en exceso de ^{15}N en la planta del tratamiento sin pollinaza ($^{15}\text{N}_{-p}$ a.e., %) entre los átomos en exceso de ^{15}N del fertilizante aplicado ($^{15}\text{N}_f$ a.e., equivalente a 10,03%).

Para ambos tratamientos, se utilizó la ecuación siguiente:

$$\text{Nddf (\%)} = \left[\frac{^{15}\text{N}_{+p} \text{ a.e. } \text{ ó } ^{15}\text{N}_{-p} \text{ a.e. (\%)}}{^{15}\text{N}_f \text{ a.e. (10.03\%)}} \right] \times 100$$

N derivado del suelo (Ndds)

Asumiendo el principio de disponibilidad, el N derivado del suelo (Ndds, %) por la planta se calculó por diferencia en el tratamiento 5 (sin pollinaza) mediante la ecuación siguiente:

$$\text{Ndds (\%)} = 100 - \text{Nddf (\%)}$$

N derivado de la pollinaza (Nddp)

La fracción de N en la planta derivado de la pollinaza (Nddp, %) en el tratamiento 4(+p) se determinó con base a la proporción de ^{15}N del fertilizante del tratamiento con pollinaza (Nddf_{+p} , %) entre la proporción de ^{15}N del fertilizante del tratamiento sin pollinaza (Nddf_{-p} , %) mediante la ecuación siguiente:

$$\text{Nddp (\%)} = \left[1 - \left(\frac{\text{Nddf}_{+p}}{\text{Nddf}_{-p}} \right) \right] \times 100$$

Rendimiento de N derivado del fertilizante (RNf)

La cantidad de N derivado del fertilizante por la planta (RNf, kg N ha^{-1}) fue calculado multiplicando el rendimiento de N total (RNt, kg N ha^{-1}) por el N derivado del fertilizante (Nddf, %) mediante la ecuación siguiente:

$$\text{RNf (kg N ha}^{-1}\text{)} = \text{RNt (kg N ha}^{-1}\text{)} \times \left[\frac{\text{Nddf (\%)}}{100} \right]$$

Rendimiento de N derivado de la pollinaza (RNp)

La cantidad de N derivado de la pollinaza por la planta (RNp, kg N ha^{-1}) fue calculado multiplicando el rendimiento de N total (RNt, kg N ha^{-1}) por el N derivado de la pollinaza (Nddp, %) mediante la ecuación siguiente:

$$\text{RNp (kg N ha}^{-1}\text{)} = \text{RNt (kg N ha}^{-1}\text{)} \times \left[\frac{\text{Nddp (\%)}}{100} \right]$$

Eficiencia de absorción del N fertilizante (ERNf)

La eficiencia de absorción del N fertilizante (ERNf, %) se cuantificó en base a la absorción del N derivado del fertilizante (RNf, kg N ha^{-1}) por la planta entre la dosis de N (Dosis N, kg N ha^{-1}) que se aplicó al suelo mediante la ecuación siguiente:

$$\text{ERNf (\%)} = \left[\frac{\text{RNf (kg N ha}^{-1}\text{)}}{\text{Dosis N (kg N ha}^{-1}\text{)}} \right] \times 100$$

Análisis estadístico

Los valores obtenidos de las variables tanto fisiológicas, nutrimentales, así como las isotópicas, fueron analizadas por procedimientos estándar de análisis de varianza. Se aplicó la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) para la separación de medias utilizando el paquete estadístico SAS (27).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de biomasa

Los resultados de producción de biomasa por la planta (hojas+tallo y florete) se muestran en la tabla 1 (pág. 110). Similar a lo observado en el rendimiento comercial de florete, la producción de biomasa de brócoli presentó una respuesta significativa a la fertilización órgano-mineral.

Tabla 1. Efecto de la fertilización órgano-mineral en la producción de biomasa por el cultivo de brócoli**Table.** Effect of organic-mineral fertilization on biomass production by broccoli crop.

Tratamiento		Florete		Hoja		Tallo	
Fosfonitrato	Pollinaza	Fresco	Seco	Fresco	Seco	Fresco	Seco
(kg N ha ⁻¹)		------(g planta ⁻¹)-----					
0 + 300		374 cd	49 b	927 a	148 b	251 a	26 a
100 + 200		496 bc	49 b	742 ab	164 ab	263 ab	21 b
150 + 150		476 b	60 a	962 ab	162 ab	278 a	33 ab
200 + 100		501 ab	62 a	1039 ab	174 a	292 a	35 a
300 + 0		561 a	62 a	1083 a	172 a	352 a	37 a
Control		335 d	48 b	564 b	155 ab	224 b	20 b
Coeficiente Variación		8,14	6,61	9,60	6,46	9,00	11,80

Medias en columna seguidas por la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0,05).

Column averages followed by the same letter are statistically equal (Tukey, 0.05).

La producción mayor de biomasa se observó en los tratamientos 300 kg N-fosfonitrato ha⁻¹ y 200 kg N-fosfonitrato ha⁻¹ + 100 kg N-pollinaza ha⁻¹ (tabla 1).

La masa seca de florete fue mayor a lo reportado por Rincón *et al.* (1999) quienes en brócoli con fertirrigación obtuvieron valores de 254 g planta⁻¹. Durante el ciclo de cultivo de brócoli, independientemente de los tratamientos, la materia seca presentó un crecimiento de tipo exponencial, similar a lo reportado por Magnifico *et al.* (1979).

Comparativamente, la producción de biomasa fue mayor a lo reportado por Rincón *et al.* (1999), quienes obtuvieron 6,2 Mg ha⁻¹. Esto concuerda con Seth *et al.* (2008), quienes reportaron que al incorporar estiércol carbonizado de pollo aumentó la producción de materia seca en soya.

La diferencia entre estos resultados, pudo deberse a las condiciones de crecimiento, así como a las condiciones ambientales directamente relacionadas con la producción de biomasa.

La mayor producción de materia seca se debió a una mayor contribución, principalmente de las hojas, seguido por floretes y tallos, lo cual se asemeja a lo reportado por Carranza *et al.* (2008), quienes mencionan que debido a que solo una pequeña porción de la planta de brócoli es cosechada (florete), el resto puede incorporarse al suelo.

Rendimiento de florete

El rendimiento de florete fresco para los diferentes tratamientos de fertilización órgano-mineral se muestra en la figura 1 (pág. 111). Esta variable presentó una respuesta significativa a la fertilización órgano-mineral.

El mayor rendimiento se obtuvo con los tratamientos 300 kg N-fosfonitrato ha⁻¹ (T5) y 200 kg N-fosfonitrato ha⁻¹ + 100 kg N-pollinaza ha⁻¹ (T4) con 17 y 16 Mg ha⁻¹, respectivamente. Éstos resultados son mayores a los reportados para el cultivo de brócoli en fresco (3, 26), y concuerdan con lo reportado por Seth *et al.* (2008), en otros cultivos.

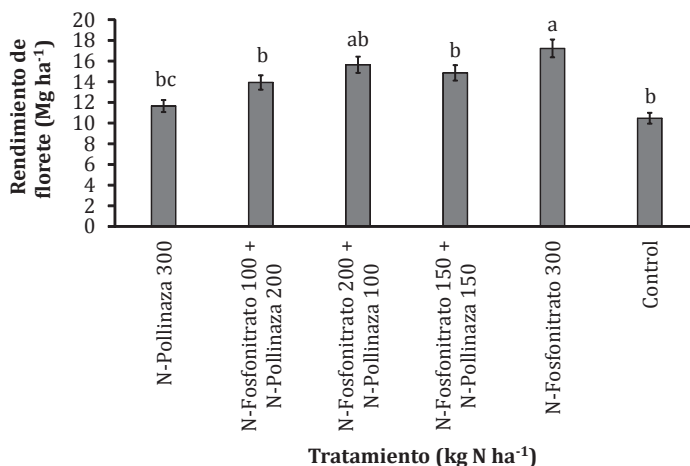


Figura 1. Rendimiento de florete por el cultivo de brócoli fertilizado con enmiendas órgano-minerales

Figure 1. Yield of broccoli heads in a crop fertilized with organic-mineral amendments.

Encontraron que la aplicación de pollinaza mineralizada aumentó la producción de semilla hasta en 43%; la aplicación de fertilizante N en combinación con estiércol contribuye al aumento del N del suelo y por lo tanto a una mayor disponibilidad y absorción de N por la planta. En el mismo sentido, Ahmad *et al.* (2007), reportan que la fertilización órgano-mineral aumenta significativamente la altura de las plantas.

Los resultados de rendimiento de florete fue menor cuando se aplicaron 300 kg N-pollinaza ha⁻¹ (12 Mg florete ha⁻¹) en comparación con el tratamiento a base de 300 kg N-fosfonitrato ha⁻¹ (17 Mg florete ha⁻¹), lo cual concuerda con lo reportado por Abou *et al.* (2006), quienes reportaron que al incorporar abono orgánico como gallinaza obtuvieron un rendimiento de 10,9 Mg brócoli ha⁻¹.

Las interacciones entre los fertilizantes N-fosfonitrato y N-pollinaza generaron variación en la producción de florete, dicha variación se atribuye

a una falta de sincronización entre la mineralización-inmovilización de N. Además, la aplicación de estiércol promueve una mayor actividad y competencia microbiana del suelo por el nutrimento (1, 10), lo cual genera una liberación lenta del N-orgánico (30).

El alto rendimiento de florete obtenido en el tratamiento control (10,5 Mg florete ha⁻¹) se debe a que el suelo experimental ha recibido altas y frecuentes aportes de pollinaza, lo que crea una reserva natural de N mineral en el suelo (30) y por lo tanto, la planta se encuentra en mejores condiciones nutrimentales para producir un rendimiento comercial alto. En este sentido, Langmeier *et al.* (2002), encontraron que un suelo con aportes constantes de materia orgánica puede sostener la demanda nutrimental de N del cultivo de rye grass (*Lolium multiflorum*).

La aplicación de fertilizantes órgano-minerales incrementa el rendimiento, debido a un enriquecimiento del suelo por aplicaciones continuas de materia orgánica,

generando una mejoría en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, coadyuvando a aumentar el rendimiento, después de varias aplicaciones consecutivas de estiércol (22).

Absorción de N

Los resultados de absorción de N total se muestran en la tabla 2. La absorción de N por el cultivo de brócoli fue afectada por la fertilización órgano-mineral. Se observaron valores de N total mayores a los reportados por Karitonas (2001).

El N total en el tratamiento control indica un alto contenido de N en el suelo (Ns) por las aplicaciones frecuentes de pollinaza en el sitio experimental. En general, se observó que la absorción de N total fue mayor cuando la aplicación de N vía pollinaza disminuyó. Estos resultados son similares a los obtenidos por Castellanos *et al.* (2001), quienes al incorporar 400 kg N-orgánico ha⁻¹ bajo un manejo de fertirrigación, obtuvieron niveles

de extracción de 341 kg N ha⁻¹. Asimismo, los resultados son similares a lo reportado por Xue *et al.* (2005), quienes encontraron que la aplicación de urea tuvo un efecto positivo en la mineralización del Ns.

Al respecto, Jenkinson *et al.* (1985), demostraron el denominado "priming effect" (efecto emprimador) en suelos con aplicaciones altas y constantes de materia orgánica, lo cual reduce la absorción de N aplicado al suelo recientemente, ya que la adición de fertilizante estimula la actividad microbiana y favorece la disponibilidad del Ns, aunque el "priming effect" puede ser positivo o negativo (13).

En este trabajo, residuos de cultivo equivalente a 5.9 Mg materia seca ha⁻¹ (tabla 2) pueden incorporarse al suelo, lo cual ayudaría a que el N proveniente de los mismos esté disponible para la planta por un largo período a través de una inmovilización inicial del elemento seguido por una mineralización (6).

Tabla 2. Absorción de N total por el cultivo de brócoli fertilizado con enmiendas órgano-minerales.

Table 2. Absorption of total N by broccoli crop fertilized with organic-mineral amendments.

Tratamiento		Nitrógeno					
Fosfonitrato	Pollinaza	Total	Incremento	Florete	Hoja (h)	Tallo (t)	Residuo (h + t)
(kg N ha ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)	(%)	------(%)-----			(t ha ⁻¹)
0 + 300		177	-41,0	22,5 b	68,0 b	9,5 c	5,3 c
100 + 200		272	-8,6	20,9 c	69,0 a	9,7 c	5,8 b
150 + 150		347	15,5	23,2 a	66,5 c	10,3 b	5,8 b
200 + 100		277	-7,8	22,2 b	67,0 b	10,6 b	6,3 a
300 + 0		356	18,4	22,4 b	65,6 c	12,0 a	6,3 a
Control*		301		21,8 c	69,7 a	8,5 d	5,4 c
Coeficiente Variación				7,05	10,70	12,36	8,50

Medias en columna seguidas por la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0,05).

* Valor de N-suelo (Ns) considerado como 100%.

Column averages followed by the same letter are statistically equal (Tukey, 0.05).

N-soil value (Ns) considered as 100%.

Origen del N

Considerando que el N total del tratamiento control es derivado del suelo (tabla 3), el cual ha recibido aplicaciones constantes de pollinaza, en este trabajo se aplicaron 300 kg N-pollinaza ha⁻¹.

Los resultados obtenidos indican que la absorción N total aumentó con la aplicación de N-fertilizante (Nf), mientras que cuando se incorporó materia orgánica vía N-pollinaza (Np), esta variable disminuyó. Esto es explicado en función de la incorporación de materia orgánica, la cual favorece el incremento de la inmovilización del N, asimismo, se incrementa el N-suelo (Ns) y la competencia entre los microorganismos y las plantas por el elemento.

En el caso de la incorporación de Nf, este reemplaza el Ns y por lo tanto incrementa la disponibilidad de N para la planta. Esta observación es apoyada por Del Pino *et al.* (2007), quienes demostraron a nivel de laboratorio, a través de las tasas de mineralización de N de estiércoles, que los fertilizantes minerales promueven una mayor concentración de N mineral en el suelo (principalmente NO₃⁻).

Considerando que la aplicación de estiércol animal, no solo aumenta la reserva de N-inorgánico sino también incrementa la mineralización del Ns se genera una mayor disponibilidad de N mineral para las plantas, coadyuvando a la descomposición lenta de la materia orgánica proveniente del estiércol (23).

Los resultados de la absorción y origen de N se presentan en la tabla 3. La absorción de N fertilizante (Nf) en la etapa vegetativa fue baja, destacando los tratamientos donde se aplicó pollinaza (Np) con los valores de Nf menores en comparación con el tratamiento a base de N-fosfonitrato.

La baja contribución del Np fue debido en primer lugar a la alta disponibilidad de N en el suelo antes de la siembra y a la baja cantidad de N aplicado como pollinaza (tabla 3).

Al respecto, Azeez y Van Averbeke (2010), mencionan que esto se debe a que el Nf es inmovilizado por los microorganismos. Asimismo, se ha observado que la aplicación de Np aumenta la actividad microbiana y la competencia por el nutrimento y por lo tanto, la inmovilización del N.

Tabla 3. Origen del N en el cultivo brócoli fertilizado con enmiendas órgano-minerales.

Table 3. Origin of N in a broccoli crop fertilized with organic-mineral amendments.

Tratamiento		Origen	Etapa (ddt)		
Fosfonitrato	Pollinaza		Vegetativo, 30	Botoneo, 60	Cosecha, 85
(kg N ha ⁻¹)		-----N (%)-----			
200 + 100		Ns	68,9	65,2	94,6
		Nf	4,5	3,2	5,1
		Np	26,6	31,6	0,4
300 + 0		Ns	71,3	67,9	52,0
		Nf	28,7	32,1	48,0
		Np	0	0	0

La absorción de Np por la planta de brócoli fue aproximadamente 30% (tabla 3, pág. 113), este valor concuerda con lo reportado por Cabrera *et al.* (1993), quienes encontraron un aumento mayor de N mineral en los primeros días de incubación de estiércol de pollo, lo cual ha sido atribuido a la mineralización de compuestos orgánicos lábiles. También se ha demostrado que el estiércol se mineraliza durante el primer año de aplicación, esto permite incrementar la reserva de N del suelo (30), asimismo, debido a la forma del Np, principalmente como ácido úrico (12).

La proporción de Np en la planta de brócoli fue mayor en las dos primeras etapas (vegetativa a inicio de botoneo), esto concuerda con Azeez y Van Averbeke (2010), quienes plantean que la mineralización del Np se presenta en tres fases:

- 1) liberación inicial de N rápida (0-30 días de incubación, ddi),
- 2) liberación de N constante (40-55 ddi),
- 3) liberación de N baja (70-90 ddi).

Por otra parte, los datos indican que el manejo de abonos orgánicos de origen animal representan fuentes potenciales de lixiviación de N a los mantos freáticos, pudiendo ocasionar una grave contaminación por NO_3^- (3).

La baja absorción de Nf coincide con lo reportado por Thomsen (2004), quien menciona que la eficiencia del

uso de fertilizantes varía ampliamente y disminuye al aumentar la dosis de fertilización mineral.

Asimismo, los valores de absorción de Nf obtenidos son menores a lo reportado en brócoli por Castellanos *et al.* (2001), quienes reportaron valores de eficiencia de N entre 68 a 73% en fertirrigación.

CONCLUSIONES

Los resultados experimentales indican que la práctica de fertilización N del sistema de producción de brócoli en la región de Tepeaca-Tecamachalco, Puebla, México puede ser optimizada (agronómica y ambientalmente) a través de combinaciones idóneas entre fertilizantes sintéticos y orgánicos.

La aplicación de pollinaza estimula la inmovilización del N agregado como fertilizante sintético. Esta inmovilización está reflejada en un menor rendimiento de N del fertilizante por el cultivo. Sin embargo, combinaciones adecuadas de N químico más N orgánico pueden estimular la disponibilidad y absorción de N en el sistema. Es necesario realizar estudios enfocados a identificar y cuantificar el paradero (pérdida a la atmósfera y/o lixiviación) de N que ingresa al sistema de producción, así como el análisis económico de esta práctica de fertilización.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abou, M. M.; El-Magd, A. M.; El-Bassiony, F.; Fawzy, Z. F. 2006. Effect of organic manure with or without chemical fertilizers on growth, yield and quality of some varieties of broccoli. *Plant J. App. Sci. Res.* 2: 791-798.
2. Ahmad Azraf-ul-Haq, Imran Qadir, Naeem Mahmood. 2007. Effect of integrated use of organic and inorganic fertilizers on fodder yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Pakistan J. Agric. Sci.* 44(3): 144-145.
3. Arévalo, G. G.; Hernández, M. M. T.; Salcedo, P. E.; Galvis, S. A. 2007. Aplicación de fertilizantes sintéticos o abonos verdes y su efecto sobre la cantidad de nitrato residual en el suelo. *Rev. Chapingo-Serie Ciencias Forestales y del Ambiente.* 2: 148-150.

4. Axmann, H.; Sebastianelli, A.; Arrillaga, J. L. 1990. Sample preparation techniques of biological material for isotope analysis. p. 41-53. In: Hardarson, G. (Ed.). Use of nuclear techniques in studies of soil-plant relationship. IAEA. Viena, Austria.
5. Azeez, J. O.; Van Averbeke, V. W. 2010. Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on a sandy clay loam soil. *Biores. Technol.* 101: 5645-5651.
6. Burgess, M. S.; Mehuys, G. R.; Madramootoo, C. A. 2002. Nitrogen dynamics of decomposing corn residue components under three tillage systems. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 66:1350-1358.
7. Cabrera, M. L.; Chiang, S. C.; Merka, W. C.; Thompson, S. A.; Pancorbo, O. C. 1993 Nitrogen transformations in surface applied poultry litter: Effect of litter physical characteristics. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 57: 1519-1525.
8. Carranza, C.; Lancharo, O.; Miranda, D.; Melba, R. S.; Chaves, B. 2008. Modelo simple de simulación de distribución de masa seca en brócoli (*Brassica sp.*) variedad Coronado y repollo (*Brassica oleracea*) híbrido Delus cultivados en la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana.* 26(1): 23-31.
9. Castellanos, Z. J.; Villalobos, S.; Delgado, A.; Muñoz, J.; Sosa, A.; Vargas, P.; Lazcano, I.; Alvarez, S. E.; Enriquez, S. A. 2001. Use of best management practices to increase nitrogen use efficiency and protect environmental quality in a broccoli-corn rotation of central México. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 32(7&8): 1265-1292.
10. Del Pino, A.; Repetto, C.; Mori, C.; Perdomo, C. 2007. Patrones de descomposición de estiércoles en el Suelo. *Terra Latinoamericana.* 26:43-52.
11. Fageria, N. K.; Baligar, V. C. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Adv. Agron.* 88: 97-185.
12. Fujiwara, T.; Murakami, K. 2007. Application of near infrared spectroscopy for estimating available nitrogen in poultry manure compost. *Soil Sc. Plant Nut.* 53: 102-107.
13. Hamer, U.; Marschner, B. 2002. Priming effects of sugars, amino acids, organic acids and catechol on the mineralization of lignin and peat. *J. Plant Nut. Soil Sc.* 165: 261-268.
14. Henrique, M. R.; Fangueiro, D.; Alves, F.; Ventura, R.; Coelho, D.; Vasconcelos, E.; Cunha, Q.; Countinho, C.; Cabral, F. 2010. Nitrogen mineralization from an organically managed soil and nitrogen accumulation in lettuce. *J. Plant Nut. Soil Sc.* 173:260-267.
15. INEGI. 2010. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Mapa Digital de México visualizador. <http://gaia.inegi.org.mx/mdm5/viewer.html> (Revisado: Enero, 2010).
16. Jenkinson, D. S.; Fox, R. H.; Rayner, J. H. 1985. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen-the so-called 'priming' effect. *Eur. J. Soil Sci.* 36: 425-444.
17. Johnston, A. E. 2007. Organic manures and mineral fertilizers. Chapter 2. *Developments in Plant and Soil Science.* 86: 7-11.
18. Karitonas, R. 2001. Effect of nitrogen supply on yield and quality of broccoli. *Plant Nut. Food Sec. Sust. Agro-ecosystems.* 92: 298-299.
19. Langmeier, M.; Oberson, A.; Kreuzer, M.; Mäder, P.; Dubois, D.; Frossard, E. 2002. Does the farming system affect the nitrogen fertiliser value of animal manure?. *Plant Nut. Food Sec. Sust. Agro-ecosystems.* 92: 968-969.
20. Liu, M.; Hu, F.; Chen, X.; Huang, Q.; Jiao, J.; Zhang, B.; Li H. 2009. Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: The influence of quantity, type and application time of organic amendments. *App. Soil Ecol.* 42: 166-175.
21. Magnifico, V.; Lattancio, V.; Sarli, G. 1979. Growth and nutrient removal by broccoli. *J. Amer. Hort. Sci.* 104(2): 201-203.
22. Mooleki, S. P.; Schoenau, J. J.; Charles, J. L.; Wen, G. 2004. Effect of rate, frequency and incorporation of feedlot cattle manure on soil nitrogen availability, crop performance and nitrogen use efficiency in east-central Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 84: 199-210.
23. Muñoz, G. R.; Powell, J. M.; Kelling, K. A. 2003. Nitrogen budget and soil N dynamics after multiple applications of unlabeled or ¹⁵Nitrogen-enriched dairy manure. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 67: 817-825.

24. NOM-021-SEMARNAT-2000. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma oficial que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad, clasificación, estudio, muestreo y análisis de suelos.
25. Pikul, Jr., J. L.; Chilom, G.; Rice, J.; Eynard, A.; Schumacher, T.; Nichols, K. A.; Johnson, J. M.; Wright S. E.; Caesar, T.; Ellsbury, M. M. 2006. Soil aggregate stability and components of organic matter affected by tillage, Meeting Abstract for 2006 ASA-CSSA-SSSA Annual Meeting, Indianapolis, IN, November. 12-16.
26. Rincón, L.; Saez, J.; Pérez, C. A. J.; Gómez, L. M. D.; Pellicer, C. 1999. Crecimiento y absorción de nutrientes del brócoli. CIDA-Murcia, España. Investigación Agrícola: Producción y Protección Vegetal. 14(1-2): 45-59.
27. SAS INSTITUTE. 2003. SAS 9.1.3 Service Pack 2, Version 9.1. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
28. Saucedo Castillo, O.; de Mello Prado, R.; Castellanos González, L.; Ely, N.; Silva Campos, C. N.; Pereira Da Silva, G.; Assis, L. C. 2015. Efecto de la fertilización fosfatada con cachaza sobre la actividad microbiana del suelo y la absorción de fósforo en caña de azúcar (*Saccharum* spp.). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(1): 33-42.
29. Schnoener J. J.; Davis, J. G. 2006. Optimizing soil and plant responses to land applied manure nutrients in the great plains of North America. Can. J. Soil Sci. 86: 587-595.
30. Schröder, J. 2005. Revisiting the agronomic benefits of manure: a correct assessment and exploitation of its fertilizer value spares the environment. Biores. Technol. 96: 253-261.
31. SIAP. 2009. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351 (Revisado: Enero, 2009).
32. Seth, O. T.; Takatsugu, H.; Tsutomu, M. 2008. Effects of carbonized and dried chicken manures on the growth, yield, and N content of soybean. Plant Soil. 30(6): 211-220.
33. Thomsen, I. K. 2004. Nitrogen use efficiency of ¹⁵N-labeled poultry manure. Soil Sc. Amer. J. 68: 538-544.
34. Xue, J. M.; Sands, R.; Clinton, P. W.; Paync, T. W.; Skinner, M. F. 2005. Priming effect of biuret addition on native soil N mineralization under laboratory conditions. Soil Biol. Biochem. 37: 1959-1961.
35. Zapata, F. 1990. Técnicas isotópicas en estudios sobre la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas. p. 57-69 y 79-171. In: Hardarson, G. (Ed.). Empleo de técnicas nucleares en los estudios de la relación suelo-planta. Dependencia de Edafología. Programa FAO/OIEA. Laboratorios del OIEA A-2444. Seibersdorf, Austria. OIEA. Viena, Austria.

Tifton 85 production under deficit irrigation

Efecto del riego deficitario sobre la producción de Tiftón 85

Anita Cristina Costa da Silva ^{1*}, Luiz Antonio Lima ¹, Willian Fernandes de Almeida ¹, Michael Silveira Thebaldi ², Antônio Carlos da Silva ¹

Originales: *Recepción*: 20/11/2015- *Aceptación*: 30/11/2016

ABSTRACT

Deficit irrigation consists of application of amounts of water less than plant requirements for satisfying water deficiencies of the crop, and this may maximize efficiency of water use. The aim of this study was to evaluate the effect of deficit irrigation on production of Tifton 85 grass. The experiment was carried out on the Santa Helena Farm in the municipality of Bom Despacho, MG, Brazil. Five levels of irrigation were used as treatments (28%, 42%, 57%, 71%, and 85% of the crop coefficient value) in randomized blocks with three replications. The following variables were evaluated: dry matter production (kg ha^{-1}), leaf/stem ratio, height (cm), dead plant material (%), leaf area index, leaf area ratio ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$), leaf weight ratio (kg kg^{-1}), and specific leaf area ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$). A difference was observed for Tifton 85 production in which the greatest average yield ($6126.35 \text{ kg ha}^{-1}$) was obtained through application of 71% Kc. For the other characteristics, there was no difference for any of the variables evaluated.

Keywords

crop coefficient • *Cynodon dactylon* x *Cynodon nlemfuensis* cv. Tifton 68 • irrigation management

-
- 1 Department of Engineering, Federal University of Lavras, Campus Universitário, Caixa Postal 3037, Lavras, Minas Gerais, CEP 37200-000, Brazil. * anitacsilva@hotmail.com
 - 2 University Center of Formiga, Av. Dr. Arnaldo Sena, 328, Água Vermelha, Formiga, Minas Gerais, CEP 35570-000, Brazil.

RESUMEN

El riego deficitario consiste en la aplicación de láminas inferiores a las necesarias para satisfacer las deficiencias hídricas de un cultivo, además que puede maximizar la eficiencia en el uso del agua. El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto del riego deficitario en la producción del cultivo Tifton 85. El experimento fue realizado en la Hacienda Santa Helena situada en el municipio de Bom Despacho, Minas Gerais (MG) Brasil. Los tratamientos utilizados fueron: cinco láminas de riego (28%, 42%, 57%, 71% y 85% del valor de coeficiente de cultivo) en bloques aleatorios con tres repeticiones. Fueron evaluadas las siguientes variables: producción de materia seca (kg ha^{-1}), relación hoja/altura, altura (cm), materia muerta (%), índice de área foliar, relación de área foliar ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$), relación de peso foliar (kg kg^{-1}) y área foliar específica ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$). Se observó una diferencia en la producción de Tifton 85, donde el mayor promedio de producción ($6126.35 \text{ kg ha}^{-1}$) se obtuvo con la aplicación de las láminas 71% Kc. Para las demás características no hubo diferencia en ninguna de las variables estudiadas.

Palabras clave

coeficiente de cultivo • manejo de riego • *Cynodon dactylon* x *Cynodon nlemfuensis* cv. Tifton 68

INTRODUCTION

Irrigation is an agricultural input and it constitutes the largest use of water in Brazil. In 2010, 5.4 million hectares were irrigated, with draw off of $1270 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ for irrigation purposes, which represents 54% of total demands for consumptive use of water resources (4).

One of the aims of water resource management is the adoption of irrigation practices for adequate use of water. To maximize water use efficiency, deficit irrigation may be adopted, which consists of application of amounts of water less than the water requirements of the crop (18).

Rains interfere in various ways in forage plant development, and may compromise yield. In most of Brazil, annual rainfall distribution is irregular, meaning there are periods without rain. These dry periods may significantly reduce forage crop production. The aim of irrigating pastures is to reduce the seasonal variation in

production and produce a greater amount of forage throughout the year (25).

The Tifton 85 hybrid (*Cynodon dactylon* x *Cynodon nlemfuensis* cv. Tifton 68) is a forage widely used in Brazil. It was launched in the United States and emerged from the crossing of South Africa (PI 290884) and Tifton 68 (10). Among the genus *Cynodon*, Tifton 85 is the most cultivated in Brazil. This forage plant is perennial, stoloniferous, rhizomatoza and has high potential for forage production with quality (21). Thus the forage is very suitable for highly intensive fertirrigated systems. Characteristics such as plant height; leaf/stem ratio; leaf area ratio, which is broken down into specific leaf area and leaf weight ratio; and leaf area index are related to forage yield (23).

Through advances from studies on pasture irrigation, the need for determining the capacity of different species

and cultivars in responding to amounts of irrigation water becomes clear (9). Several studies have been carried out to evaluate the behavior of grasses under irrigated conditions; however, responses have been varied, depending on the region, the forage species, the irrigation system, and the inputs used. For Andrade *et al.* (2012), irrigation led to a forage accumulation rate of 122 kg ha⁻¹ day⁻¹ for Tifton 85 during the fall. Alencar *et al.* (2009a) evaluated the influence of irrigation on production of some forage crops and, for Estrella grass, they obtained mean production in fall/winter of 6300 kg ha⁻¹, with water replacement corresponding to 100% of reference evapotranspiration.

The practice of irrigation in pastures, in general, has been used, without scientific basis and empirically, most often using constant water slides throughout the area. It is necessary to define management strategies that optimize the productivity of forage species submitted to irrigation variation, based on scientific knowledge. It is believed that the use of deficit irrigation may be an alternative for forage production in Brazil.

Within this context, the aim of this study was to evaluate the effect of five levels of deficit irrigation on production of Tifton 85 grass in the municipality of Bom Despacho, MG, Brazil.

MATERIALS AND METHODS

This study was developed in the area of the Santa Helena farm in the municipality of Bom Despacho, MG, Brazil (19°44' S and 45°15' W, at 768 m altitude) from July 6 to September 16, 2013. The climate in the region, according to the Köppen classification, is Cwa type, humid temperate climate with dry winter and hot summer.

Rainfall during the experimental period was 14 mm. Daily minimum, mean, maximum temperatures and reference evapotranspiration were registered by an automatic climatological station within the experimental area (figure 1, page 120).

Soil in the experimental area is classified as a Latossolo Vermelho distroférrico (14) (Oxisol). The results of chemical analysis of samples from the 0-0.20 m depth layer were: 5.7 for pH (in water); 56% base saturation; 2.7% aluminum saturation; 2.3 dag kg⁻¹ of organic matter; 1.8 mg dm⁻³ of phosphorus - P (Mehlich 1); and 22.0 mg dm⁻³ of potassium - K (Mehlich 1). On August 7, the experimental area was fertilized with 58 kg ha⁻¹ of N and K₂O in the fertilizer formulation 25-00-25.

For determination of soil bulk density, particle density, and total porosity, undisturbed soil samples, with three replications, were taken from soil layers at the depths of 0-0.20, 0.20-0.40, and 0.40-0.70 m through the use of soil sample rings of determined volume. Soil bulk density was 1.20, 1.14, and 1.17 g cm⁻³; particle density was 2.69, 2.71, and 2.63 g cm⁻³; and total porosity was 55.39, 57.93, and 55.51% in the 0-0.20, 0.20-0.40, and 0.40-0.70 m soil layers, respectively.

From the mean values of matric potential and volumetric moisture, water retention curves were worked out. These values were fitted to the model of Van Genuchten (1980).

A randomized block experimental design was adopted, with five treatments and three replications. The treatments consisted of different water depths applied according to percentages of crop coefficient values recommended by Allen *et al.* (1998) for Bermuda grass. Treatments 1, 2, 3, 4, and 5 corresponded to irrigation water depths of 28%, 42%, 57%, 71%, and 85% of the crop coefficient value, respectively.

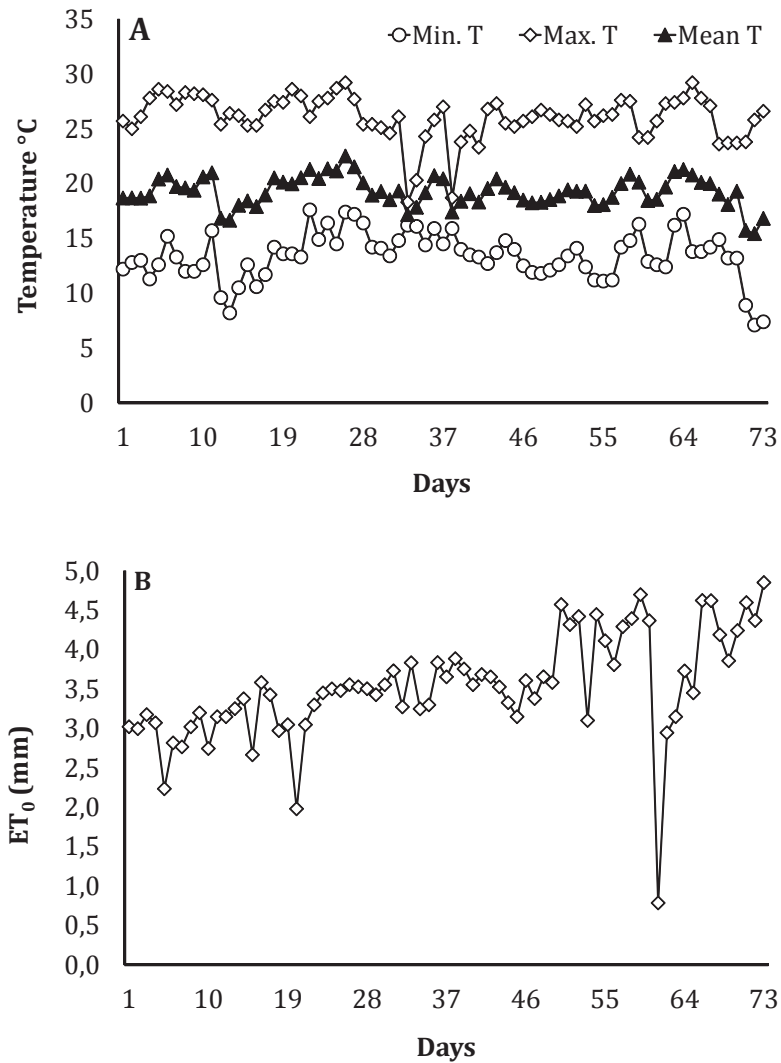


Figure 1. Maximum, mean, minimum temperatures (A) and reference evapotranspiration (B) observed during the experimental period in Bom Despacho, MG, Brazil.

Figura 1. Temperaturas máximas, promedios y mínimas (A) evapotranspiración de referencia (B) observadas durante el período experimental en Bom Despacho, MG, Brasil.

A treatment without irrigation (dryland treatment) was not carried out because, as a hay production farm, the use of a center pivot without irrigating the entire area was not possible. Water availability on the property was not enough to satisfy the total needs of the crop; therefore, it was not possible to carry out a treatment with water replacement of 100% of Kc.

For irrigation we used the center pivot system consists of 5 spans and balance totaling a ray of 282.40 m. The three central spans (2, 3 and 4) correspond to blocks 1, 2 and 3, respectively. To obtain variation in the water depth for the five treatments, 45 nozzles of the center pivot system were exchanged, with 6.90 m wide portions. To border effect have been disregarded 0.50 m between the start of each treatment parcel useful width of 5.90 m. Tifton 85 grass has been planted for 20 years and since then has been cut to hay. Levels of irrigation were applied based on the daily records of local reference evapotranspiration obtained at the automatic climatological station located in the experimental area. The crop coefficient values used during the three developmental stages of Tifton 85 were 0.55, 1.00, and 0.85 (3).

According to Evangelista *et al.* (2013), Watermark soil moisture sensors may be used to monitor water matric potential in the soil. Thus, matric sensors were set up and connected to dataloggers whose data were stored hour by hour. The sensors were set up at three depths (0.20, 0.40, and 0.70 m). A series of 3 sensors per replication were set up, for a total of 45 sensors.

The following variables were evaluated: production of dry forage matter, leaf/stem ratio, height, dead plant material, leaf area index, leaf area ratio, leaf weight ratio, and specific leaf area. Due to the timing of the hay production, Tifton 85 was cut 73 days

after the previous harvest. For evaluation of dry forage matter, a 0.25 m² (0.5 x 0.5 m) square frame was cast at random three times in each plot. The grass was cut at ground level and the green matter collected was weighed in the field to determine fresh matter. Samples were taken (approximately 0.5 kg) from this fresh matter and dried in a laboratory oven at 105°C for 24 hours to obtain dry matter (13). The amount of dry forage matter (FM) was determined from Equation 1.

$$FM = \frac{GM \times \%DM}{100} \quad (1)$$

where:

FM = dry forage matter (kg ha⁻¹)

GM = green matter (kg ha⁻¹)

DM = dry matter (%)

Canopy height was measured with a ruler. Readings were made at each sampling point before the cut with the aid of an acetate sheet, which was placed over the surface of the grass to obtain a mean height value per plot.

We cut the grass at ground level and collected the biomass in an area of 0.25 m² for each replication for determination of leaf area index. The material harvested was weighed for determination of green matter production per area. A subsample composed of 20 plants was then removed and the green blades of the plants were detached and scanned in a leaf area meter (LI-3100 - Licor, Lincoln).

The leaf, stem, and dead plant material fractions were separated in a green matter subsample. They were then placed separately in paper bags and dried in an air circulation laboratory oven at 65°C for 72 hours.

Based on the leaf:stem ratio, the dry matter weight of the leaf blades (DWB) present in 1 m² of usable plot area was

estimated. The estimate of total leaf area (green blades) of the plants (TLA) present in the usable area was obtained by multiplying the DWB by the leaf area of 20 plants and dividing the product by the dry matter weight of leaf blades from 20 plants. The leaf area index (LAI) was then determined according to Equation 2.

$$LAI = \frac{TLA}{SA} \quad (2)$$

where:

LAI = leaf area index

TLA = total leaf area (m²)

AS = soil area (m²)

Leaf area ratio, specific leaf area, and leaf weight ratio were calculated based on the values of shoot dry matter, total leaf area, and leaf dry matter. Leaf area ratio, specific leaf area, and leaf weight ratio were calculated based on the values of shoot dry matter, total leaf area, and leaf dry matter. That way, leaf area ratio (LAR), specific leaf area (SLA), and leaf weight ratio (LWR) were obtained by Equations 3, 4, and 5, respectively.

$$LAR = \frac{TLA}{TDM} \quad (3)$$

$$SLA = \frac{TLA}{LDM} \quad (4)$$

$$LWR = \frac{LDM}{TDM} \quad (5)$$

where:

LAR = leaf area ratio (m² kg⁻¹)

SLA = specific leaf area (m² kg⁻¹)

LWR = leaf weight ratio (kg kg⁻¹)

TLA = total leaf area (m²)

TDM = total dry matter (kg)

LDM = leaf dry matter (kg)

The data were analyzed through analysis of variance with significance $p < 0.05$ and, for mean values, analysis of regression was carried out. The software SISVAR® 4.6 de Análise Estatística from the Universidade Federal de Lavras (16) was used for analyses.

RESULTS AND DISCUSSION

There was a significant difference only for production. Variation of the water depths of irrigation did not affect height, dead plant material, leaf/stem ratio, leaf area index, leaf weight ratio, leaf area ratio, and specific leaf area (table 1, page 123).

There was a significant difference in production of Tifton 85 grass; greater production was observed in the treatment with 71% replacement of the Kc value (table 2, page 123).

Low production of Tifton 85 was observed in comparison to Balieiro Neto *et al.* (2007), who obtained a mean yield of irrigated Tifton 85 in the period from April to July of 10880 kg ha⁻¹.

Alencar *et al.* (2009b) highlight that response in productive capacity of pastures in accordance with irrigation is directly related to climatic factors, especially temperature and photoperiod. For high dry matter yield, the plant needs not only soil moisture but also ideal temperatures to reach maximum production. While soil moisture is important for plant development and production, ideal temperature favors development through assimilation of CO₂, water, and nutrients. Reduced production of grasses in the dry season (winter) is highly influenced by lower temperatures of winter and the shorter photoperiod. Thus, as plant metabolism varies in direct ratio to temperature, the colder it is, the lower the growth rate.

Table 1. Analyses of variance for production, height, dead plant material, leaf/stem, leaf area index, leaf area ratio, leaf weight ratio and specific leaf area of Tifton 85 under deficit irrigation conditions in Bom Despacho, MG, Brazil.

Tabla 1. Análisis de varianza de la altura, material muerto, hoja/altura, índice de área foliar, relación de área foliar, relación de peso foliar y área foliar específica de Tifton 85 sobre condiciones de riego deficitario en Bom Despacho, MG, Brasil.

Source of variation	D.F.	Mean squares							
		Production	Height	Dead plant material	Leaf/stem	Leaf area index	Leaf area ratio	Leaf weight ratio	Specific leaf area
Treatments	4	925582.0371 *	2.5207 ^{ns}	28.5329 ^{ns}	0.0252 ^{ns}	0.2617 ^{ns}	0.5886 ^{ns}	0.0032 ^{ns}	0.4396 ^{ns}
Blocks	2	24382.5388 *	9.3551 ^{ns}	74.9489 ^{ns}	0.0021 ^{ns}	0.5114 ^{ns}	1.4876 ^{ns}	0.0010 ^{ns}	5.7265 ^{ns}
Error	8	134461.9878	1.2220	128.0306	0.0150	0.6810	1.4095	0.0052	1.1696
Grand means		5389.94	10.56	26.66	0.86	2.34	4.23	0.34	12.33
Coefficient of variation (%)		6.8	10.47	42.44	14.22	15.42	28.13	21.13	8.77

**, * Significant at 1% and 5%, respectively, by the F test; ns= non-significant.

**, * Significativo al 1% y 5%, respectivamente, por la prueba de F, ns= no significativo.

Table 2. Mean values observed and ± standard error of height, dead plant material, leaf/stem ratio, leaf area index, leaf area ratio, leaf weight ratio, and specific leaf area of Tifton 85 under deficit irrigation conditions in Bom Despacho, MG, Brazil.

Tabla 2. Promedios observados y ± error estándar de altura, material muerto, hoja/altura, índice de área foliar, relación de área foliar, relación de peso foliar y área foliar específica de Tifton 85 sobre condiciones de riego deficitario en Bom Despacho, MG, Brasil.

Variable	Treatments						
	28% Kc	42% Kc	57% Kc	71% Kc	85% Kc		
Height (cm)	9.53 (±0.67)a	10.75 (±1.25)a	9.67 (±0.60) a	11.47 (±0.98)a	11.37 (±1.20) a		
Dead plant material (%)	24.84 (±0.39)a	27.94 (±0.19)a	31.46 (±0.26) a	25.19 (±0.08)a	23.85 (±0.33) a		
Leaf:stem	0.92 (±0.05)a	0.80 (±0.01)a	0.77 (±0.04) a	0.83 (±0.09)a	0.99 (±0.10) a		
Leaf area index	2.19 (±0.29)a	2.26 (±0.43)a	1.99 (±0.33) a	2.49 (±0.49)a	2.76 (±0.68) a		
Leaf area ratio (m ² kg ⁻¹)	4.62 (±0.54)a	4.12 (±0.67)a	3.64 (±0.58) a	4.05 (±0.61)a	4.71 (±0.96) a		
Leaf weight ratio (kg kg ⁻¹)	0.36 (±0.03)a	0.32 (±0.02)a	0.30 (±0.03) a	0.34 (±0.04)a	0.38 (±0.05) a		
Specific leaf area (m ² kg ⁻¹)	12.75 (±0.47)a	12.70 (±1.16)a	12.07 (±0.83) a	11.88 (±0.70)a	12.25 (±0.84) a		
Production (kg ha ⁻¹)	4691.41 (±250.56)b	5014.23 (±144.17)b	5505.74 (±28.77)ab	6126.35 (±318.72)a	5611.97 (±37.81)ab		

Means followed by the same letter do not differ each other by the Tukey test at α = 0.05.

Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí por la prueba Tukey al α = 0.05.

According to Alencar *et al.* (2009b), winter temperature greater than 15°C does not reduce pasture growth rate. During the experimental period, there were 16 days with a minimum temperature less than the base temperature (figure 1, page 120), which, according to Villa Nova *et al.* (2004), is 10°C, which possibly limited the production of the forage crop evaluated (7). According to Müller *et al.* (2009), plants require temperature above the basal temperature since, at lower temperatures, metabolic processes cease or occur at a speed so low that they may be disregarded for plant development.

Tifton 85 is a fertilizer-intensive forage, and the low yield may also be related to the low soil phosphorus content only 1.8 mg dm⁻³ of phosphorus-P (Mehlich 1), according to Oliveira (2003) soils with phosphorus levels of less than 5 mg dm⁻³ should receive maintenance fertilization of 60 kg ha⁻¹ of P₂O₅ for the production of Tifton. This did not occur during the experiment.

Deficit irrigation did not lead to a significant difference (table 1 and table 2, page 123) in plant height (10.56 cm), in the leaf/stem ratio (0.86), content of dead plant material (26.66%), LAI (2.34), LAR (4.23 m² kg⁻¹), LWR (0.34 kg kg⁻¹), and SLA (12.33 m² kg⁻¹) of Tifton 85.

The dead plant material represents part of the biomass not selected by the animal and, at high proportions, it may indicate that the cycle should be reduced (25). Thus, it is possible to make the same correlation with pasture height, suggesting that the forage crop that had the greatest dead matter content could have been cut at a lower height. Lower contents of dead plant material for irrigated Tifton 85 are cited by Balieiro Neto *et al.* (2007), with a mean value of 18.12% for the period from December to March. The same authors further cite contents of dead plant material of 25.92% for the winter period, results that are similar to the result obtained in this study.

In Prudente de Morais, MG, Balieiro Neto *et al.* (2007) found a mean value for the leaf/stem ratio of 0.24 in the winter for irrigated Tifton 85, a value lower than that observed in this study.

Pereira *et al.* (2011), studying Coast-cross grass in Viçosa, MG, obtained a mean value of 0.99 (from 3 cuttings) for the leaf/stem ratio. In another study with Tifton 85 with and without irrigation in the rainy season, no difference was found for stem production (17).

Alencar *et al.* (2009a), in a study of some grasses, observed for Estrela grass that in the fall/winter season, the irrigation depth had a positive linear effect ($p < 0.05$), *i.e.*, the increase in the irrigation depth led to an increase in plant height, which did not occur in this study. Among the advantages of using grass height as a criterion for cutting management, its high association with leaf area index and interception of light by the canopy stand out (26).

For Reis *et al.* (2013), the critical values of LAI for pastures is normally situated from 3 to 5, and in this range, light interception would be around 95%. Genera that have more horizontally directed leaves, as is the case of Tifton 85, have lower values of LAI.

The LAI values are lower in the period considered as winter and higher in the summer, a fact related to what is called seasonality of the forage crop throughout the year, showing the influence of climatic factors (12).

The LAI values found were similar to the values obtained by Borges *et al.* (2011) when they studied some irrigated forage crops in the municipality of Uberaba, MG. They found a mean value of 2.96 for LAI for Tifton 85 over ten cycles. Pereira *et al.* (2011), studying Coastcross grass in Viçosa, MG, obtained a mean value of 3.07 (from 3 cuttings) for leaf area index.

The leaf area ratio consists of a morphophysiological characteristic that indicates the quantity of leaf area usable for photosynthesis in relation to the total weight of the forage plant (22).

The values of LAR, LWR, and SLA obtained in this study are below the values found by Pereira *et al.* (2011) for Coastcross grass. The authors obtained mean values from November to March with cutting of 42 days of 8.3 m² kg⁻¹, 0.50, and 16.6 m² kg⁻¹ for LAR, LWR, and SLA, respectively. These lower values obtained were probably due to climatic conditions less favorable to growth in this season of the year.

The LWR value corroborates with Carvalho *et al.* (2012), who obtained LWR of 0.31 during the winter for three cultivars of the genus *Cynodon*. The same author obtained a mean value of LAR of 0.22 m² g⁻¹, also during the winter.

CONCLUSIONS

Deficit irrigation affected the production of Tifton 85. The irrigation depth of 71% of the crop coefficient value led to the greatest production of Tifton 85.

REFERENCES

1. Alencar, C. A. B.; Oliveira, R. A.; Martins, C. E.; Cóser, A. C.; Figueiredo, J. L. A.; Cunha, F. F. 2009a. Lâminas de irrigação e estações anuais na cobertura do solo e altura de gramíneas cultivadas sob corte. *Acta Scientiarum Agronomy*. 31(3): 467-472.
2. Alencar, C. A. B.; Cunha, F. F.; Martins, C. E.; Cóser, A. C.; Rocha, W. S. D.; Araújo, R. A. S. 2009b. Irrigação de pastagem: atualidade e recomendações para uso e manejo. *Revista Brasileira Zootecnia*. 38: 98-108.
3. Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. 1998. *Crop Evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 1998. p. 300.
4. ANA. 2012. Agência Nacional de Águas. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil*. Brasília. 215 p.
5. Andrade, A. S.; Drumond, L. C. D.; Appelt, M. F.; Moreira, D. D.; Araújo, F. C.; God, P. I. V. G. 2012. Crescimento e composição bromatológica de Tifton 85 e Vaquero em pastagens fertirrigadas. *Global Science and Technology*. 5(2): 56-68.
6. Balieiro Neto, G.; Ferreira, J. J.; Ferreira, M. B. D.; Freire, F. M.; Viana, M. C. M.; Resende, M. 2007. Características agrônômicas e viabilidade do Tifton 85 (*Cynodon ssp.*) irrigado num sistema de produção de leite. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*. 44(4): 235-242.
7. Berone, G. D. 2016. Leaf expansion and leaf turnover of perennial C4 grasses growing at moderately low temperatures. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 48(2): 69-82.
8. Borges, B. M. N.; Silva Júnior, L. C.; Lucas, F. T.; Silva, W. J. 2011. Relação entre o fluxo luminoso interceptado em diferentes épocas no índice de área foliar de diferentes forrageiras. *Semina: Ciências Agrárias*. 32(4): 1589-1594.
9. Bueno, M. R.; Teodoro, R. E. F.; Alvarenga, C. B.; Gonçalves, M. V. 2009. Determinação do coeficiente de cultura para o capim Tanzânia. *Bioscience Journal*. 25(5): 29-35.
10. Burton, G. W.; Gates, R. N.; Hill, G. M. 1993. Registration of "Tifton 85" Bermuda grass. *Crop Science*. 33(3): 644-645.
11. Carvalho, M. S. S.; Pedreira, C. G. S.; Tonato, F. 2012. Análise de crescimento de capins do gênero *Cynodon* submetidos a frequências de colheita. *Boletim de Indústria Animal*. 69(1): 41-49.
12. Cunha, C. A. H.; Angulo Filho, R. 2004. Resposta espectral e avaliação do índice de área foliar em capim Tanzânia. *Engenharia Rural*. 15: 23-30.

13. Drumond, L. C. D.; Zanini, J. R.; Aguiar, A. P. A.; Rodrigues, G. P.; Fernanes, A. L. T. 2006. Produção de matéria seca em pastagens de Tifton 85 irrigada, com diferentes doses de dejetos líquidos de suíno. *Engenharia Agrícola*. 26(2): 426-433.
14. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. 1999. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: EMBRAPA/SPI, 1999. p. 412.
15. Evangelista, A. W. P.; Lima, L. A.; Silva, A. C.; Martins, C. P.; Ribeiro, M. S. 2013. Soil water potential during different phenological phases of coffee irrigated by center pivot. *Engenharia Agrícola*. 33(2): 269-278.
16. Ferreira, D. F. 2011. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*. 35(6): 1039-1042.
17. Marcelino, K. R. A.; Vilela, L.; Leite, G. G.; Guerra, A. F.; Diogo, J. M. S. 2003. Manejo da adubação nitrogenada de tensões hídricas sobre a produção de matéria seca e índice de área foliar de Tifton 85 cultivado no Cerrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 32(2): 268-275.
18. Martin, J. D.; Carlesso, R.; Aires, N. P.; Gatto, J. C.; Dubou, V.; Fries, H. M.; Scheibler, R. B. 2012. Irrigação deficitária para aumentar a produtividade da água na produção de silagem de milho. *Irriga. Edição Especial*. 192-205.
19. Müller, L.; Manfroni, P. A.; Medeiros, S. L. P.; Streck, N. A.; Mittelmanni, A.; Dourado Neto, D.; Bandeira, A. H.; Morais, K. P. 2009. Temperatura base inferior e estacionalidade de produção de genótipos diplóides e tetraplóides de azevém. *Ciência Rural*. 39(5): 1343-1348.
20. Oliveira, E. L. Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no Estado do Paraná. Londrina: IAPAR. 2003. 30 p.
21. Pedreira, C. G. S. 2010. Gênero *Cynodon*. In: Fonseca, D. M.; Martuscello, J.A. (Eds.) *Plantas forrageiras*. Viçosa: UFV: 78-130.
22. Pereira, O. G.; Oliveira, M. A.; Pinto, J. C.; Santos, M. E. R.; Ribeiro, K. G.; Cecon, P. R. 2011. Análise de crescimento do capim Coastcross-1 sob adubação nitrogenada em duas idades de rebrotação. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 40(10): 2121-2128.
23. Pereira, O. G.; Rovetta, R.; Ribeiro, K. G.; Santos, M. E. R.; Fonseca, D. M.; Cecon, P. R. 2012. Crescimento do capim-tifton 85 sob doses de nitrogênio e alturas de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 41(1): 30-35.
24. Reis, G. L.; Lana, A. M. Q.; Emerenciano Neto, J. V.; Lemos Filho, J. P.; Borges, I.; Longo, R. M. 2013. Produção e composição bromatológica do capim-marandu, sob diferentes percentuais de sombreamento e doses de nitrogênio. *Bioscience Journal*. 29(5): 1606-1615.
25. Ribeiro, E. G.; Fontes, C. A. A.; Palieraqui, J. G. B.; Cóser, A. C.; Martins, C. E.; Silva, R. C. 2009. Influência da irrigação, nas épocas seca e chuvosa, na produção e composição química dos capins Napier e Mombaça em sistema de lotação intermitente. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 38(8): 1432-1442.
26. Rojas García, A. R.; Hernández Garay, A.; Ayala, W.; Mendoza Pedroza, S. I.; Cancino, S. J.; Vaquera Huerata, H.; Santiago Ortega, M. A. 2016. Comportamiento productivo de praderas con distintas combinaciones de ovillo (*Dactylis glomerata* L.), ballico perenne (*Lolium perenne* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 48(2): 57-68.
27. Van Genuchten, M. T. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison. 44(5): 892-899.
28. Villa Nova, N. A.; Detomini, E. R.; Dourado Neto, D.; Manfron, P. A.; Pedreira, C. G. S. 2004. Modelo de estimativa da produtividade de fitomassa seca de parte aérea de *Cynodon nlemfuënsis* L. cv. Florico em função da radiação solar. *Pasturas Tropicales*. 26(3): 56-61.

ACKNOWLEDGMENT

The authors wish to thank the following Brazilian institutions that provided support for this research project: FAPEMIG- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, UFPA - Universidade Federal de Lavras and Fazenda Santa Helena.

Uso del Análisis Envolvente de Datos (DEA) para evaluar la eficiencia de riego en los Módulos del Distrito de Riego No. 041, Río Yaqui (Sonora, México)

Use of the Data Envelopment Analysis (DEA) to evaluate the efficiency of irrigation in the modules of the irrigation of District No. 041, Rio Yaqui (Sonora, Mexico)

Víctor Manuel Olmedo Vázquez ^{1,3}, José Luis Minjares Lugo ², Emilio Camacho Poyato ¹, María Leticia Hernández Hernández ³, Juan Antonio Rodríguez Díaz ¹

Originales: *Recepción: 28/04/2016 - Aceptación: 04/10/2016*

RESUMEN

El Distrito de Riego 041, Río Yaqui, en el noroeste de México, fue afectado por una fuerte sequía que colapsó el sistema hidroagrícola en el ciclo agrícola 2002-2003, donde se estableció únicamente el 29% de la superficie regable. La gestión del manejo de los recursos hídricos en el distrito de riego se ha basado tomando en cuenta la eficiencia del manejo del agua, por lo anterior, en el presente trabajo, se evalúa la eficiencia de riego en los módulos de riego, usando la metodología de Análisis Envolvente de Datos (DEA). El objetivo de la investigación fue identificar la gestión eficiente de riego y conocer hacia dónde canalizar las adecuaciones pertinentes en los próximos años agrícolas en la región de estudio, a través de sus desviaciones en relación con los módulos de riego más eficientes. Las comparaciones agronómicas e hidráulicas, se incluyeron en el software Frontier Analyst Professional; con el propósito de precisar la frontera de posibilidades que permite aumentar o igualar a los más eficientes (100%). Los resultados determinaron que el ciclo agrícola más homogéneo en cuanto a eficiencia fue el 2012-2013, oscilando su rango de 86,72% al 100%, indicando que la frontera de posibilidades está inmediata para la mayoría de los módulos de riego. El ciclo agrícola 2010-2011, fue más heterogéneo en eficiencia, ya que los rangos fluctúan del 62,21% al 100% lo que hace más complejo alcanzar la frontera de posibilidades.

Palabras clave

eficiencia • riego • análisis envolvente de datos • distrito de riego 041 • río Yaqui

-
- 1 Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes. Departamento de Agronomía. De Campus Rabanales. Edificio Leonardo da Vinci. Universidad de Córdoba. 14071 Córdoba, España. olmedovazquez@gmail.com
 - 2 Comisión Nacional de Agua (Conagua). Calle Sinaloa 611, Norte, Urb. No. 4. Colonia Centro, 85000, Ciudad Obregón, Sonora, México. jose.minjares@conagua.gob.mx
 - 3 Centro Regional Universitario del Noroeste (CRUNO), Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Colima 163 Norte, colonia Centro, 85000, Ciudad Obregón, Sonora, México. hernandez.leticia710@gmail.com

ABSTRACT

The 041 irrigation district, Yaqui River, in Northwestern Mexico, was affected by a severe drought in the 2002-2003 irrigation season and only 29% of the total area was irrigated due to the limited water resources available. In this work, the water management in the irrigation district was evaluated taking into account the efficiency in the irrigation water use of all the irrigation modules using Data Envelopment Analysis (DEA) techniques. The aim of the research was to identify the efficient management of irrigation and to know where to channel appropriate adjustments in the next agricultural years in the studied region, through its deviations regarding with the most efficient irrigation modules. Agronomic and hydraulic comparisons were included in the Frontier Analyst Professional Software; in order to define the border of possibilities that allow to increase or even the most efficient (100%). The results determined that the most homogeneous in efficiency was the 2012-2013 agricultural cycle, ranging its rank from 86.72% to 100%, indicating that the border of possibilities is immediate for the most irrigation modules. The agricultural cycle 2010-2011 was more heterogeneous in efficiency since the ranges fluctuate from 62.21% to 100%, which makes it more complex to reach the border of possibilities.

Keywords

efficiency • irrigation • data envelopment analysis • irrigation district 041 • river Yaqui

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los sistemas de riego del mundo están funcionando por debajo de su capacidad y no se ajustan a las necesidades de la agricultura actual. El bajo nivel de productividad del agua asociado a la gestión de estos sistemas conlleva menores oportunidades de usar eficazmente los recursos y obtener rendimientos económicos. En la actualidad, muchas regiones con escasez de agua tienen dificultades para aumentar el suministro para riego (16). FAO (2013) menciona que, de todos los sectores de la economía, la agricultura es el más sensible a la escasez de agua. La adecuada gestión del riego es la que determina cuándo y cuánto regar, sobre la base de las necesidades de agua de los cultivos, las características del suelo y las condiciones climáticas del entorno, para optimizar la calidad y cantidad de la

producción (25).

En los Distritos de Riego en México, la eficiencia de conducción en canales, se ha estimado en el orden del 65% y a nivel parcelario en un 52,5%. Para obtener la eficiencia global, se considera la eficiencia de conducción multiplicada por la eficiencia a nivel parcelario; la cual da como resultado un 34,1%; es decir, de cada 1,000 litros de agua para riego, el cultivo aprovecha únicamente 341 litros. Si bien la disminución del volumen de agua de riego impacta a todos los tipos de productores, ciertos condicionantes delimitan el nivel concreto del impacto de la falta del recurso (26).

El Distrito de Riego No. 041, Río Yaqui, en el noroeste de México, es una región que en los últimos años ha sido afectada por un desarrollo agrícola no sustentable.

El establecimiento de una agricultura intensiva aunado a una prolongada sequía, colapsaron el sistema de presas y, por consecuencia, la actividad agrícola del distrito en el año agrícola 2002-2003. Durante este período de sequía, tanto el sistema de presas del río Yaqui como los acuíferos del Valle del Yaqui y Cocoraque mostraron ser extremadamente vulnerables, por lo que es necesario tomar medidas para incrementar la eficiencia en el manejo y la operación de los recursos hidráulicos y, de esta manera, lograr el uso sustentable del agua y de las actividades que dependen de ella (24). El agua es un recurso primordial en las zonas áridas y semiáridas de México, en tanto que su aporte limita la producción de la agricultura (31).

La optimización del agua de riego, ha sido uno de los temas centrales del distrito, a través de los 42 módulos de riego que lo conforman, los cuales han desarrollado acciones para reducir las pérdidas de conducción, tanto en la red de canales principales como en la de los canales secundarios; y actualmente en parcela mediante el programa de Riego por Gravedad Tecnificado (RIGRAT).

La eficiencia de riego implica aprovechar de la mejor manera posible el volumen de agua asignada para cada cultivo, dándole la cantidad necesaria en el momento oportuno; con el propósito de obtener mayores ingresos en la producción agrícola; además, de lograr una sustentabilidad socialmente justa, económicamente rentable y ecológicamente amigable con el medio ambiente; para las generaciones futuras a nivel mundial.

La mayoría de los estudios coinciden en que hoy -en el mundo- hay suficientes recursos hídricos para satisfacer la demanda de alimentos, aunque con disponibilidad geográfica desigual (1).

Con el propósito de coadyuvar a conocer la eficiencia de este distrito, se planteó el Análisis Envolvente de Datos (Data Envelopment Analysis o DEA), el cual es una metodología utilizada para la evaluación de la eficiencia relativa de un conjunto de unidades productivas, utilizando un procedimiento no paramétrico que maneja una técnica de programación lineal. Con una serie de entradas (inputs) y salidas (outputs) para cada módulo de riego; con la finalidad de alcanzar la optimización de sus recursos y con el propósito de conocer objetivamente su realidad, y considerar las medidas a tomar para corregir ineficiencias en los módulos de riego que lo presenten.

La metodología para la aplicación de las técnicas DEA fue planteada por Charnes *et al.* (1978), dentro del modelo conocido como CCR según las iniciales de sus autores (Charnes, Cooper y Rhodes), basándose en el trabajo teórico de Farrell (1957). Otro modelo frecuentemente usado es el BCC (1984) (6).

El primero de estos modelos, CCR, supone rendimientos constantes a escala, lo que significa que, si los recursos utilizados aumentan en determinada proporción, el rendimiento obtenido aumenta exactamente en la misma proporción. En tanto que el segundo, BCC, supone rendimientos variables a escala, significan que se tienen rendimientos (outputs) crecientes y/o decrecientes. En el primer caso el rendimiento se incrementa en mayor proporción que los recursos (inputs) utilizados y en el segundo caso, el incremento en rendimiento es menor, que el incremento porcentual de los recursos.

El análisis de frontera no paramétrica no requiere asumir una función de costo o beneficio. Se basa en un procedimiento básico, fundamentado en técnicas de optimización lineal, que consiste en

el cálculo de una envoltura convexa alrededor de los puntos que representan en el espacio de producción, insumos y costos. Donde la envoltura se asimila a la frontera eficiente.

El conjunto de posibilidades de producción o de requerimientos de inputs son idóneos cuando se utilizan técnicas de programación matemáticas como es el conocido DEA, que se apoya en relaciones de desigualdad (30).

DEA ha abierto posibilidades para el uso en los casos que han sido resistentes a otros métodos, debido a la compleja naturaleza (a menudo desconocida) de las relaciones entre las múltiples entradas y salidas que participan en muchas de estas actividades (14). García y Coll (2003), indican que los métodos paramétricos requieren la especificación de una distribución para la población de interés; al contrario de los métodos no paramétricos, donde no se necesita se especifique la forma de distribución de la misma población de interés. Ayaviri y Alarcón (2005), mencionan que el DEA tiene como objetivo medir la eficiencia de una unidad productiva DMU (Decision Making Unit).

La particularidad del DEA sobre cualquiera otro ratio de eficiencia, radica en que los pesos asignados vienen determinados por la resolución del modelo.

Recientemente se han desarrollado diversas investigaciones relacionadas con la metodología del Análisis Envoltante de Datos (DEA); entre ellas, Ayvar Campos *et al.* (2015) estudiaron la eficiencia en la generación de bienestar social de 38 economías latinoamericanas durante el período 1990-2014. Usando el Análisis Envoltante de Datos (DEA), tomando como referencia los indicadores socioeconómicos del desarrollo humano.

El análisis de resultados arrojó que fueron las economías de Aruba, Brasil, Chile,

Costa Rica, Dominica, Islas Turcas y Caicos, Saint Kitts y Nevis, y Sint Maarten las más eficientes en la generación de bienestar social. Situación que refleja que no son necesariamente los países con más recursos socioeconómicos los más eficientes en la generación de bienestar social.

Por su parte, Navarro Chávez *et al.* (2016), utilizaron Análisis Envoltante de Datos (DEA) con badoutputs; donde el objetivo fue determinar el nivel de eficiencia de 24 países latinoamericanos en la generación de desarrollo económico y en la disminución del volumen internacional de migrantes entre 1980 y 2013.

Los resultados mostraron que solo Bahamas, Barbados, Belice y Guyana fueron eficientes en la generación de desarrollo económico y en la reducción del volumen internacional de migrantes, y Visbal *et al.* (2016) realizó un estudio de eficiencia de las instituciones de educación superior (IES) públicas de Colombia durante el año 2011, mediante la metodología de análisis envoltante de datos utilizando el modelo de Charnes, Cooper y Rhodes (CCR), el modelo de Banker, Charnes y Cooper (BCC) y el modelo basado en holguras Slack Based Measure (SBM), orientados a salidas para determinar las eficiencias técnicas, puramente técnica, de escala y de mezcla, respectivamente.

En el análisis de resultados se determinó la magnitud en que deben ser mejorados los productos de las IES ineficientes.

En los últimos años, el DEA ha sido aplicado a diversos sectores, en lo que se refiere al tema de eficiencia; por ejemplo, Guang *et al.* (2013), estudian la eficiencia en explotaciones mineras, eligiendo ocho empresas de carbón diferentes en China como unidades de toma de decisiones.

Se aplicó el DEA para evaluar y optimizar la eficiencia operativa de las empresas. Elhendy y Alkahtani (2013), usan técnicas DEA para evaluar la gestión de las explotaciones de recursos de forma convencional y ecológica de los agricultores sauditas usando 126 y 94 datos de campesinos en explotaciones convencionales y ecológicas respectivamente.

Algunas investigaciones que referencian el DEA desarrollado por Rodríguez Díaz (2003), y que es planteado como base para este estudio, toma como salida el valor total de la producción agrícola (€) y como entradas, tres factores como son la superficie puesta en riego (ha), la mano de obra empleada (UTA) y el volumen total de agua aplicada en el área de riego (hm^3). Se concluye que DEA es una herramienta de gran utilidad para la detección de ineficiencias locales, así como de posibilidades de mejora para las zonas con mayor potencial de crecimiento.

Amores y Contreras (2009), proponen un sistema de asignación de subsidios con 2000 criterios de acuerdo con la eficiencia agrícola, que se calcula mediante la descomposición general del DEA, a través de la internalización de las externalidades positivas y negativas de la actividad agrícola.

El trabajo analiza el tipo de eficiencia del sector oleícola andaluz (Sur de España) mediante el uso de los índices propuestos sobre una muestra de 3000 parcelas, tomados de la base de datos de subvenciones.

Ntanos y Karpouzou (2010), analizan en la llanura Tesalónica de Grecia, un marco de referencia para la evaluación de desempeño de sistemas de riego. En primer lugar, el DEA se aplica para medir la eficiencia técnica de sistemas de riego. Este método, basado en programación lineal, tiene como objetivo determinar un ranking de eficiencia constante de sistemas

de riego en que entradas conocidas, tales como volumen de agua suministrado y área irrigada y como salida el valor total de la producción. Banaeian *et al.* (2010), usaron DEA para clasificar a los agricultores de nuez eficientes e ineficientes en la provincia de Hamadan, Irán, en base al uso de fertilización.

Los resultados revelaron que la mayor parte del ahorro energético potencial reside en el uso de los fertilizantes (69% de nitrógeno), a través de la elaboración de un paquete de dosis de fertilización. Phandis y Kulsrestha (2012), usan DEA para evaluar la cantidad y calidad de los recursos hídricos disponibles que han sido reconocidas limitantes en el desarrollo de la mayoría de las regiones áridas y semiáridas en la India; el objetivo fue evaluar la eficiencia, para las Asociaciones de Usuarios de Agua (WUA), teniendo como resultados que la mayoría de WUA según el modelo tenía eficacia por debajo de 70%.

Mahdhi (2013), utiliza para evaluar la eficiencia de las Asociaciones de Usuarios de Agua (AUA) y para evaluar las eficiencias de gestión e ingeniería a través de una modificación matemática del modelo inicial del DEA. Los resultados muestran que las ineficiencias de la gestión y mantenimiento son mayores que la ineficiencia general.

La eficiencia de la administración media es alrededor del 80,6% mientras que el rendimiento promedio de ingeniería es de 82,3% lo que indica que la gestión y los gastos de mantenimiento se podrían reducir en aproximadamente el 19% si las asociaciones de usuarios de agua (WUA) funcionaran de una manera adecuada.

Para el caso de México y más cercano al tema agrícola, se puede citar el estudio sobre la eficiencia técnica del sector agropecuario, quienes aplican la metodología del DEA, e incluyen actividades de agricultura, cría y

explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza (7). El producto está representado por la Producción Bruta Total (PBT) en miles de pesos, la inversión mediante la Formación Bruta de Capital Fijo (FBCF) en miles de pesos, y el empleo hace referencia al personal ocupado total (PO) en las unidades económicas del sector privado y paraestatal.

El análisis centra la atención en las medidas de eficiencia técnica de 31 entidades federativas orientadas al producto, que responden a la pregunta acerca de cuánto se puede expandir la producción sin alterar la cantidad de insumos necesaria; concluyendo en una clasificación de tres estratos, estableciendo grupos de entidades federativas atendiendo a sus niveles de eficiencia.

Otro estudio también en México, una primera aproximación a las condiciones de Eficiencia Técnica Relativa (ETR) que prevalecen en 57 ingenios azucareros del país, con el apoyo de una función de producción empírica (9). Con este propósito, se lleva a cabo un examen de la ETR de la agroindustria azucarera nacional con base en las técnicas DEA.

El enfoque tomado en cuenta tiene una orientación a los insumos y se estiman los coeficientes de ETR con una tecnología de rendimientos variables a escala (RVE). En el modelo, se emplean 4 insumos y 2 productos.

Las variables de los insumos son 1) la superficie industrializada medida en hectáreas (SUPIN), 2) la caña molida neta considerada en toneladas (CAMOL), 3) la duración de la zafra medida en días (DURZA) y 4) los costos de producción en millones de pesos (COPRO).

Las variables de los productos están consideradas por 1) azúcar total producido medido en toneladas (AZPRO) y 2) utilidad neta obtenida proporcionada en millones de pesos (UTINE).

Los resultados obtenidos apuntan hacia una quinta parte, aproximadamente, de los ingenios azucareros son eficientes; tal conclusión lleva a la consideración de políticas económicas que incidan directamente sobre un mayor nivel de ETR con base en una asignación óptima de los insumos disponibles.

El propósito de este trabajo fue desarrollar una metodología que permita analizar la eficiencia del riego a nivel módulo y que pueda ser aplicada en otras zonas regables a escala global. En este trabajo se usó el Análisis Envolvente de Datos (DEA) para analizar la eficiencia en los módulos del Distrito de Riego 041, Rio Yaqui. Se plantea como hipótesis que: el modelo de producción en el área agrícola estudiada presenta aspectos de desvinculación de actores y recursos que disminuyen su eficiencia y competitividad en el uso de agua de riego.

Objetivos

Identificar la gestión eficiente de riego existente mediante las técnicas de fronteras no paramétricas, en los 42 módulos de riego que componen el distrito.

Conocer hacia dónde canalizar sus adecuaciones para los próximos años agrícolas.

METODOLOGÍA

Planteamiento del problema y zona de estudio

La región del Distrito de Riego 041, Río Yaqui se localiza al sureste del estado de Sonora, México. Cuenta con una superficie de 227,224 hectáreas de riego que representa el 34% de la superficie irrigada del estado de Sonora. Esta región se ubica entre los paralelos 26°45' y 27°40' Latitud Norte y entre los meridianos 109°37' y 110°37' Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich. Limitando al Norte con el río Yaqui y al Sur con el río Mayo, al Este limita con la serranía del Técali y Baroyeca y al Oeste con el Golfo de California.

El clima predominante es de climas muy secos, subtipos BW(h')hw muy cálido, cálido, con lluvias de verano.

La temperatura media anual es de 20,03°C, se tiene una precipitación media anual 281,6 mm/año y una evaporación potencial de 2061,51 mm (13).

En el estudio se tomaron en cuenta 3 entradas (inputs) siendo: 1) superficie regada (ha), 2) volumen de agua total para la superficie regada (Millones m³) y 3) costos de producción (miles de pesos); así como una salida (output) que fue: 1) valor total de la producción (miles de pesos), con el propósito de determinar la eficiencia de aplicación de agua, en cada uno de los módulos de riego del distrito, utilizando los datos estadísticos de los años agrícolas (2010-2011, 2011-2012, 2012-2013 y 2013-2014).

El sistema agrícola del distrito depende tanto del volumen de agua almacenado en sus presas como de la capacidad de bombeo de su acuífero.

La operación eficiente de su sistema hidráulico es de suma importancia para las actividades económicas, políticas y sociales. Este distrito es un sistema agrícola que produce principalmente trigo, cártamo, hortalizas, maíz, sorgo, algodón, garbanzo, alfalfa y frutales.

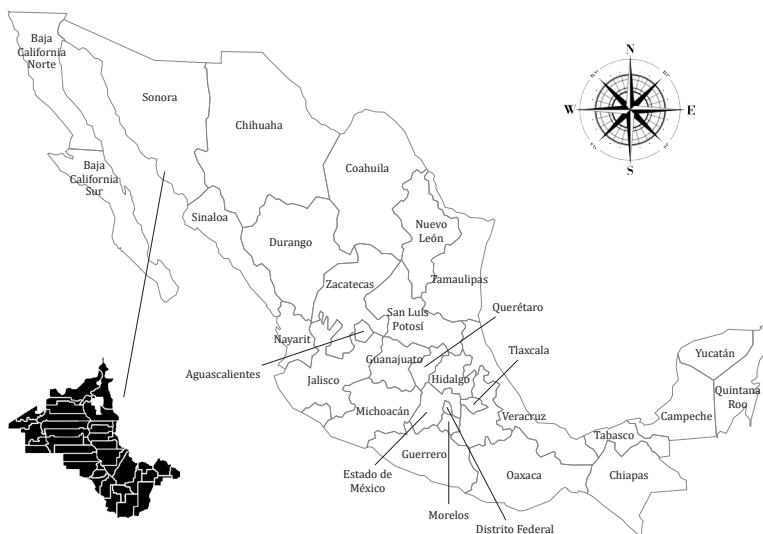


Figura 1. Ubicación del Valle del Yaqui en el sureste del Estado de Sonora, México.

Figure 1. The Yaqui Valley location in the southeast of Sonora, Mexico.

Los métodos y técnicas empleados, estuvieron determinados por la información aportada principalmente por el Distrito de Riego No. 041, Río Yaqui de la Comisión Nacional de Agua (Conagua), el Patronato para la Investigación y Experimentación Agrícola del Estado de Sonora (PIEAES); así como por la propia naturaleza de cada una de las variables seleccionadas.

Considerando las entradas (inputs) y la salida (output) propuestas, se determinó que el modelo DEA que más se ajusta a los objetivos planteados, es el de retornos variables (BCC), tomando una orientación a inputs. Se busca, dado el nivel de output, la máxima reducción proporcional en el vector de inputs mientras permanece en la frontera de posibilidades de producción. Esta frontera de producción permite conocer hasta dónde se puede producir con los recursos con que se dispone, dejando conocer con precisión la eficiencia o ineficiencia de cada uno de los módulos de riego. Además, la frontera de posibilidades permite saber cuáles módulos de riego son eficientes (aprovechando los recursos disponibles), los módulos de riego que están dentro de la frontera de posibilidades (que están desaprovechando oportunidades) y por último los que están fuera de la frontera de posibilidades (inalcanzables).

El DEA ayuda a determinar de mejor manera los procesos de producción en el módulo de riego; para lo cual el Software utilizado fue Frontier Analyst Professional, Version 3.2.2 (7).

Data Envelopment Analysis

Farrell (1957), escribió por primera vez, sobre eficiencia en términos aproximados (relativos) y no concretos (absolutos), lo que permitió medir una unidad, con respecto a un conjunto de unidades y conocer la eficiencia generada de cada una de ellas, a

través de sus desviaciones en relación con las eficientes. Así, en cuanto al principio de eficiencia; planteó 2 formas de eficiencia: eficiencia técnica y eficiencia asignativa.

En el primer caso, se evalúa la capacidad de cualquier empresa, institución y/o individuo para obtener el máximo volumen de producción (output) con las entradas disponibles (input), siendo el denominado modelo orientado a outputs o la capacidad de mantener la misma capacidad de producción usando un mínimo de entradas, hablando entonces del modelo orientado a inputs, (33).

En el segundo caso se da una combinación de entradas (inputs), y se refiere a la capacidad de la empresa de usar los recursos en proporciones óptimas, esto implica obtener el mismo nivel de producción, pero con un menor costo o en el caso contrario obtener el mayor nivel de producción posible con un mismo costo.

El primer modelo de DEA fue el CCR (10), en el cual se consideran retornos constantes a escala. Básicamente esto indica que, para una DMU u organización con capacidad para la toma de decisiones, que emplee una cantidad X de input para producir una cantidad Y de output, la posibilidad de producir αY empleando αX cantidad de input (siendo α un escalar) es factible. Para intentar medir la eficiencia relativa de una DMU₀ basándose en una serie de n DMU_s (siendo n el número total de unidades que entran en el estudio) (29). Este modelo plantea el siguiente problema de programación lineal:

$$\begin{aligned}
 &\text{maximizando } u, v: \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_r 0}{\sum_{i=1}^m v_i x_i 0} \\
 &\text{sueto a: } \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_r j}{\sum_{i=1}^m v_i x_i j} \leq 1 \\
 &u_r, v_r \geq 0; \quad j = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned} \tag{1}$$

donde:

n = número de DMUs que entran en la comparación

s = número de outputs

m = número de inputs

u_r = peso que obtiene en la comparación el input y_r

v_i = peso que obtendría el input x_i

y_{rj} y x_{ij} = valores de los outputs e inputs y_r y x_i , para la DMUj

En la realidad, para resolver este problema se recurre a su sistema dual, el cual se muestra en el sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} &\text{Minimizar } \theta, \lambda: \theta & (2) \\ \text{Sujeto a: } & -y_i + Y\lambda \geq 0, \\ & \theta X_i - X\lambda \geq 0, \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

donde:

θ = eficiencia técnica global (ETG) y, por tanto, el porcentaje de reducción radial al que debería ser sometido cada uno de los inputs

$\lambda \geq 0$ = vector de n elementos que representa la influencia que cada DMU tiene en la determinación de la eficiencia de la DMUo

Y = vector de output de la DMUo en estudio y X el de inputs de esa misma DMUo.

El conjunto de DMUs cuyo valor de λ sea positivo, será a ser el conjunto de referencia de la DMU en estudio, una combinación lineal de estas unidades, formará la situación objetivo a la que debe tender para llegar a ser eficiente.

En cuanto a las causas de la ineficiencia estimada a través del modelo CCR pueden ser debidas a problemas estrictamente técnicos, lo que se denomina eficiencia técnica pura, o bien a problemas de dimensión, la eficiencia de escala, (20).

La figura 2 muestra visualmente la diferencia entre el modelo CCR y el BCC para un caso simple, donde se emplea un solo input (x) para producir un único output (y).

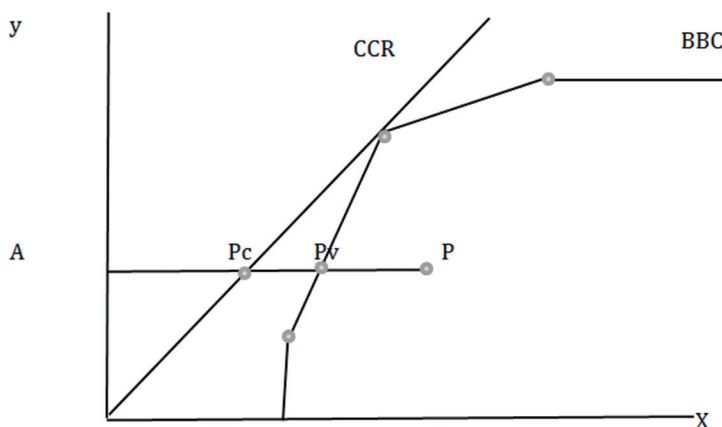


Figura 2. Eficiencia de escala (Coelli, 1996).

Figure 2. Efficiency of scale (Coelli, 1996).

En el ejemplo de la figura 2, mientras que la frontera CCR emplea un único punto, por lo que solo una DMU es eficiente, el modelo BCC que se utiliza para este estudio, ofrece 3 soluciones eficientes, que van a definir la curva de producción óptima, pero adaptándose mejor a las condiciones reales del mercado. Por tanto, se puede afirmar que el modelo de retornos variables va a envolver más datos y de aquí se deduce que la eficiencia técnica pura siempre va a ser menor o igual que la eficiencia técnica global (30). Así, el valor de la eficiencia técnica global sería como se muestra en la ecuación 3:

$$ETG = \frac{APc}{AP} \quad (3)$$

El de la Eficiencia Técnica Pura (ETP) vendría dado por la ecuación 4:

$$ETP = \frac{APv}{AP} \quad (4)$$

Y la Eficiencia de Escala (SE), va a indicar numéricamente cómo de cercana se encuentra la DMU_o a la situación de producción a retornos constantes, será el cociente entre las dos eficiencias, como se muestra en la ecuación 5:

$$SE = \frac{ETP}{ETG} \quad (5)$$

Una vez obtenidos los valores de eficiencia (ya sea a retornos constantes o variables) y de holguras de cada uno de los inputs y outputs, obtener numéricamente cuál debe ser la cantidad de inputs y de outputs para el caso de DEA orientado a inputs es bastante simple. Si x_o e y_o representan la cantidad de cada input y de cada output que está produciendo actualmente la DMU_o, los valores objetivo a los que debería tender la gestión de dicha unidad para llegar a ser eficiente vendrían dado por la ecuación 6.

$$\begin{aligned} x &= \theta \cdot x_o x - s^- \\ y &= y_o + s^+ \end{aligned} \quad (6)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Valores de las intensidades (λ_j) en el modelo DEA en forma envolvente

En la tabla 1 (pág. 137), se muestra el orden de cada uno de los módulos de riego en los distintos años agrícolas analizados, de acuerdo con su eficiencia técnica pura (DEA-BCC), orientada a inputs (minimizando los inputs para producir la misma cantidad de output). Los módulos que obtienen 100 puntos son los que forman la frontera de producción eficiente; los que se encuentran por debajo de estos, son ineficientes y están produciendo por debajo de ella.

Se puede decir que entre más lejos se encuentre un módulo de riego de los que cuentan con 100 puntos, su ineficiencia es mayor como se aprecia en cada uno de los años agrícolas analizados. Lo ideal sea que todos los módulos de riego alcancen la mayor eficiencia posible, en el menor tiempo potencial.

Para el año agrícola 2010-2011, 3 módulos de riego fueron eficientes K-73,5, K-63 y 4-P-8 (siendo este último módulo de riego ineficiente los 3 años agrícolas siguientes); por lo que no necesitaron ningún tipo de mejora potencial. En el año agrícola 2011-2012 los módulos de riego eficientes fueron: K-73,5, K-63, Módulo 06, Módulo 02, K-73,8, K-68, Catorce, Módulo 10 y K-79.

Para el año agrícola 2012-2013, los módulos de riego eficientes fueron: K-73,5, K-63, K-64, K-66, Módulo 02, Módulo 11, K-73,8, Catorce, DOS-B, Cuatro, Módulo 10 y Diez. En el último año agrícola analizado, los módulos de riego eficientes fueron: K-63, K-73,5, K-79, Cuatro, K-73,8, Módulo 02 y Catorce.

Tabla 1. Puntuación interanual en 42 módulos de riego.

Table 1. Interannual score in 42 irrigation modules.

Módulo de Riego	Eficiencia 2010-2011	Eficiencia 2011-2012	Eficiencia 2012-2013	Eficiencia 2013-2014	Rendimientos a Escala
K-73,5	100,00	100,00	100,00	100,00	Constante
K-63	100,00	100,00	100,00	100,00	Constante
4-P-8	100,00	89,02	90,85	79,17	Creciente
P10-Sur	92,25	94,93	99,21	86,18	Decreciente
4-P-10	85,88	91,18	93,17	91,87	Decreciente
K-95	85,12	95,05	93,46	89,00	Decreciente
K-105	84,93	98,08	89,84	84,41	Decreciente
K-70	84,39	93,29	96,50	76,60	Decreciente
Santini II	83,70	93,30	97,20	71,56	Decreciente
K-68	82,85	100,00	95,12	92,27	Decreciente
Veinte	82,80	97,52	99,06	89,70	Decreciente
K-64	82,01	91,31	100,00	93,28	Decreciente
Dieciocho	81,54	88,08	95,44	84,73	Decreciente
K-73,8	80,60	100,00	100,00	100,00	Constante
K-79	80,42	100,00	99,80	100,00	Constante
Catorce	79,34	100,00	100,00	100,00	Constante
Veintidós	79,25	98,69	98,52	85,03	Decreciente
K-66	78,79	97,96	100,00	89,18	Decreciente
Santini I	78,61	93,95	92,96	75,72	Decreciente
K-91 Sur	77,92	98,31	97,99	76,84	Decreciente
K-88,5	77,90	93,19	91,03	87,51	Decreciente
C.M.D.	77,70	90,91	90,15	89,08	Decreciente
Náinari	77,40	85,10	90,40	83,13	Decreciente
Módulo 02	77,21	100,00	100,00	100,00	Constante
K-91 Norte	77,02	81,03	87,64	81,48	Decreciente
Seis	76,94	93,78	94,50	88,98	Creciente
Dieciséis	76,83	85,90	96,74	98,35	Creciente
Bacame	75,71	87,14	91,11	73,63	Decreciente
Diecinueve	75,55	91,25	94,12	80,03	Decreciente
4-P-4	75,43	86,29	97,27	85,15	Decreciente
Módulo 10	74,95	100,00	100,00	86,37	Decreciente
Diez	74,59	98,58	100,00	94,57	Creciente
Doce	74,50	84,88	87,84	82,13	Creciente
4-P-6	74,35	98,13	91,11	82,96	Decreciente
4-P-12	74,31	77,25	86,72	80,21	Decreciente
Dos-B	74,08	79,53	100,00	83,07	Decreciente
Dos	74,04	83,15	93,09	85,37	Creciente
Ocho	71,46	83,18	93,39	77,60	Creciente
Módulo 11	71,32	79,00	100,00	82,98	Creciente
Cuatro	69,75	95,90	100,00	100,00	Constante
Módulo 06	69,40	100,00	93,53	82,46	Decreciente
Módulo 01	62,21	74,89	98,80	82,60	Creciente

En la misma tabla 1 (pág. 137), se muestran los tipos de retorno a escala de cada uno de los módulos de riego analizados. Los módulos eficientes presentan retornos constantes a escala, lo que indica que, si se realiza o no un cambio, su escala no se ve afectada.

Aunque es importante señalar que cuando presentan rendimientos decrecientes, indica que se deberán reducir las dimensiones de las variables de los inputs (entradas) para que su productividad promedio del output (salida) aumente. Es decir, los rendimientos a escala expresan cómo varía la cantidad producida de un módulo de riego a medida que varía el uso de todos los factores que intervienen en el proceso de producción agrícola de la misma proporción. Así, un rendimiento a escala constante se caracteriza en la medida que aumenta la capacidad instalada de los módulos de riego por el lado de la producción; aumentando en la misma proporción.

Por otra parte, al incrementar la producción con los mismos recursos disponibles se puede afirmar que se está dando un rendimiento a escala creciente y cuando aumentar todos los factores de producción, la cantidad producida aumenta en una proporción menor; se denomina rendimiento a escala decreciente.

Propiedades y tipo de suelo en el Distrito de Riego 041, Río Yaqui

En el Distrito de Riego 041, Río Yaqui, se encuentran 5 tipos de suelos, clasificados en aluvión ligero (5,7%), aluvión pesado (39,0%), barrial profundo (38,2%), barrial compactado (8,1%) y barrial pedregoso (9,0%).

Un elemento fundamental es la textura, la cual se refiere a la proporción de arena, limo y arcilla que contiene un suelo y dependiendo de la cantidad de cada uno de los componentes recibe su nombre (22).

Un suelo de textura arcillosa (conocidos en la región como suelos de Barrial) son los que retienen mayor humedad y la contraparte serían los suelos arenosos. Los suelos medios son los que contienen una proporción más o menos equitativa de arena, limo y arcilla (en la región se le llaman suelos de Aluvión Pesado).

La textura del suelo debe ser tomada en cuenta para hacer una programación de riegos, cuánta agua y con qué frecuencia se van a aplicar los riegos, y qué tipo de cultivo se va a sembrar a nivel parcela.

El módulo de riego 01, presentó ineficiencia todo el período analizado, debido a que se encuentra en suelos de barrial pedregoso, cuyas características presentan arena-limo-arcilla, además de piedras que oscilan entre 0,5 y tres centímetros de diámetro, permitiendo mayor infiltración y pérdida de agua.

Los módulos de riego que se encuentran al margen del río Yaqui presentan suelos de aluvión ligero; tal es el caso del módulo 11 donde se han utilizado hasta 20 millares de m^3/ha ; cuando la dotación es de 7,5 millares de m^3/ha (75 cm de lámina de riego), lo cual hace que sea ineficiente. El módulo 4-P-4, 4-P-6, 4-P-10 y 4-P-12 presentan ineficiencia, debido a las mismas condiciones al contar con suelos de aluvión ligero.

La mayoría de los módulos de riego utilizan agua en exceso, debido a la heterogeneidad de los suelos, por esta razón se consideró la variable volumen de agua total para la superficie regada (ha) en los inputs para cada módulo con el propósito de cuantificar la eficiencia de agua de riego a punto de control de los módulos.

Eficiencia técnica pura (DEA-BCC).

Las puntuaciones de eficiencia (en %) de los resultados obtenidos en el año agrícola 2010-2011, el cual fue el más ineficiente de los cuatro años agrícolas analizados; por lo que solo tres módulos de riego son técnicamente eficientes: el módulo de riego K-73,5, K-63 y 4-P-8 (100%). Los dos primeros módulos de riego cuentan con una superficie pequeña en función de la mayoría de los demás módulos, además que en su totalidad se encuentran sembrados de trigo, lo cual permite homogenizar sus costos de producción y aprovechar mejor los recursos con los que disponen.

El Módulo 4-P-8 que presenta una eficiencia del 100%, debido al supuesto de que en el 89% de su superficie estuvo sembrada por cultivos más rentables, como son las hortalizas para exportación; lo cual permitió que estos módulos determinaran la frontera eficiente para este ciclo. El resto de los módulos de riego son calificados como ineficientes, al obtener una puntuación de eficiencia inferior al 100% (figura 3a, pág. 140).

Para el año agrícola 2011/2012 los módulos K-73,5, K-63, K-79, Módulo 06, Módulo 02, K-73,8, K-68, Catorce y Módulo 10 fueron técnicamente eficientes (100%), lo cual permite reafirmar la capacidad de los módulos de riego al producir con el mínimo nivel de recursos potenciales.

En este año agrícola, se sembraron cultivos de mayor valor económico (hortalizas), provocando que seis módulos de riego llegasen a ser eficientes; aprovechando los recursos disponibles. Además de que los módulos K-73,5 y K-63 presentaron nuevamente para este año una eficiencia del 100%, por las mismas condiciones que el año agrícola anterior. Es decir, este módulo de riego cuenta con una superficie pequeña, además de que el 99,2% de su superficie estuvo

sembrada con trigo y el 0,8% con cultivos de alto valor económico, lo cual permitió homogenizar sus costos de producción y aprovechar mejor los recursos disponibles.

El módulo K-63 cuenta con una superficie pequeña y el 14,77% de esa superficie se encuentra sembrada con cultivos de alto valor económico.

El módulo 4-P-8 decreció a un 89,02% con relación al primer año agrícola, cuando obtuvo un 100% de eficiencia; debido al cambio de padrón de cultivos, de cambiar de hortalizas a trigo.

El resto de los módulos eficientes aprovecharon sus recursos adecuadamente, como se aprecia en la figura 3b (pág. 140), lo cual se analiza en el tema de mejoras potenciales.

Para el año agrícola 2012-2013, los módulos de riego técnicamente eficientes fueron: K-73,5, K-63, K-64, K-66, Módulo 11, Módulo 02, K-73,8, Catorce, dos B, Cuatro, Módulo 10 y Diez con 100%.

Los módulos K-73,5 y K-63 nuevamente figuran entre los más eficientes, y aunque en este año agrícola sembraron cultivos tradicionales (trigo), han aprovechado los recursos disponibles; al igual que los demás módulos que presentaron eficiencia en este ciclo. Este año agrícola fue el más homogéneo en cuanto a la eficiencia, en base a los porcentajes obtenidos en análisis realizado, que oscilan de un rango de 86,72% al 100% lo cual indica que la frontera de posibilidades está inmediata para la mayoría de los módulos de riego, como se aprecia en la figura 3c (pág. 140).

El último año agrícola examinado fue 2013-2014, los módulos de riego técnicamente eficientes fueron: K-63, K-73,5, Cuatro, K-73,8, Módulo 02, K-79 y Catorce. Los módulos de riego que resultaron ser eficientes durante los cuatro años agrícolas analizados fueron: K-63 y K-73,5. En este último año se señala que la totalidad de hectáreas sembradas fue con trigo.

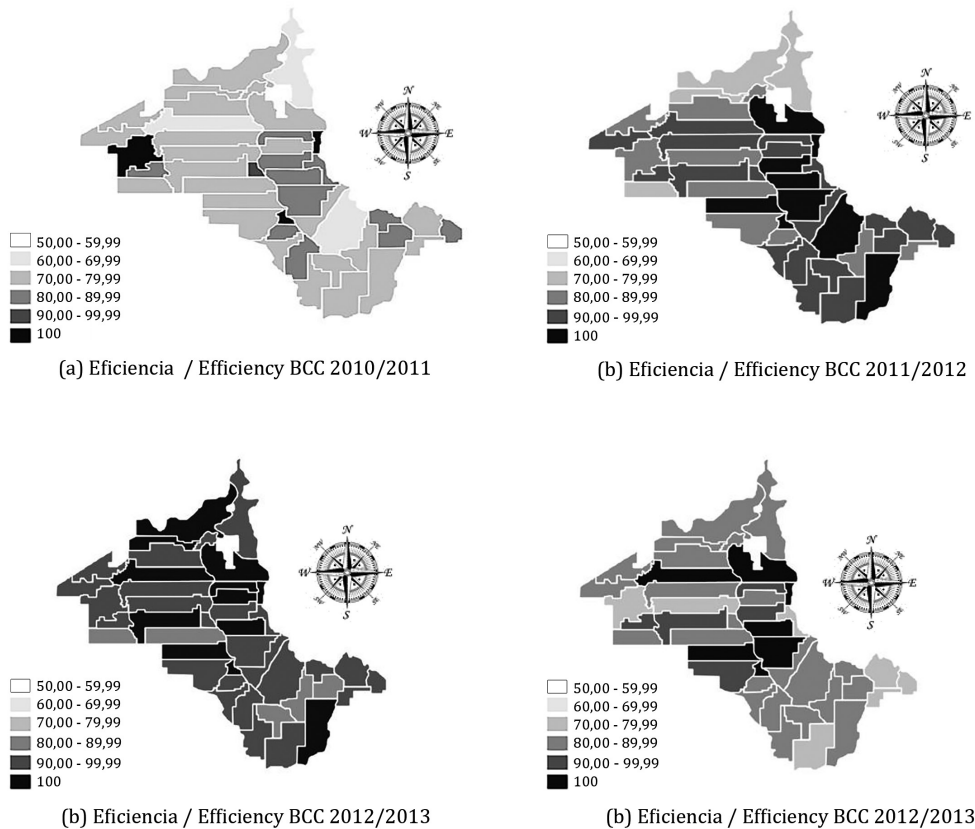


Figura 3. Eficiencia BCC para cada módulo de riego en los 4 años agrícolas analizados.
Figure 3. BCC efficiency for each irrigation module in the 4 agricultural years analyzed.

Los módulos K-79, cuatro, K-73,8, Módulo 02, K-79 y Catorce aprovecharon los recursos disponibles para llegar a ser eficientes, como se aprecia en la figura 3d.

Conjuntos de referencia

Una de las exigencias del DEA es que las unidades a evaluar sean homogéneas. Para que el análisis pueda ser utilizado para identificar cuáles son las organizaciones que hacen una mejor utilización de sus recursos es necesario eliminar el efecto, de que factores externos que

puedan causar en el nivel de eficiencia que cada organización consigue (20). En este contexto, se considera al número de «Peers Decision Making Units»; el cual indica el número de módulos de riego eficientes que forman parte del conjunto de referencia de los módulos de riego ineficientes.

En el análisis interanual (4 años agrícolas), se puede señalar que solo 16 módulos de riego fueron eficientes: K-73,5, K-63, 4-P-8; K-79, Módulo 06, Módulo 02, K-73,8, K-68, Catorce, Módulo 10, K-64, K-66. Módulo 11, dos B, Cuatro y Diez, y

solamente 12 constituyeron el conjunto de referencia de los módulos de riego que fueron ineficientes.

Los módulos de riego que fueron eficientes en determinado ciclo agrícola; pasaron a ser ineficientes en otros, por lo que dejaron de ser parte del conjunto de referencia y evidentemente al ser ineficientes nunca pueden formar parte del conjunto de referencia de otro módulo ineficiente.

Una peculiaridad de este análisis, es que a pesar de que algunos módulos de riego sean eficientes, pueden no ser "peer" de ningún otro módulo de riego ineficiente. Como ejemplo, se observa que en el ciclo agrícola 2010-2011 donde el Módulo K-73,5 fue eficiente y no fue peer de ningún otro. Por último, se puede decir; que lo que no puede suceder es que una unidad calificada como eficiente presente Peers, (12).

En el año agrícola 2010-2011, los módulos de riego que constituyeron el conjunto de referencia 39 veces y que fueron Peer de otros módulos son: K-63 y 4-P-8. En el año agrícola 2011-2012 los módulos de referencia y el número de veces que el módulo de riego fue referencia de otro son: K-73,5 (1), K-63 (20), K-79 (1), Módulo 06 (2), Módulo 02 (2), K-73,8 (22), K-68 (14) y Catorce (6).

En el año agrícola 2012-2013 los módulos de referencia se clasificaron de la siguiente manera: K-73,5 (1), K-63 (19), K-64 (1), K-66 (2), Módulo 11 (1), Módulo 02 (2), K-73,8 (4), Catorce (2), Dos B (24), Cuatro (3), Módulo 10 (6) y Diez (13). En el último año agrícola 2013-2014 los módulos de referencia fueron: K-63 (27), K-73,5 (4), K-73,8 (30), K-79 (2) y Catorce (9).

La tabla 2 (pág. 142), muestra el promedio de la eficacia de BCC, la superficie regada en hectáreas, los costos de producción, el volumen total de agua aplicada y el valor de la producción agrícola en millones de pesos para los

42 módulos de riego del distrito en 4 años agrícolas analizados.

Principales cultivos en módulos eficientes

En virtud de contar con una serie de datos extensa para los 4 años agrícolas analizados, se tomaron aquellos módulos de riego que pasaron de ser ineficientes a eficientes y viceversa, (a excepción del módulo K-73,5 y K-63 que fueron eficientes durante los cuatro años). Con la finalidad de observar el comportamiento de los principales cultivos establecidos como se muestra en la tabla 3 (pág. 143), determinando el porcentaje promedio para cada cultivo, lo cual ayuda a conocer la tendencia de su eficiencia.

La distribución de los módulos de riego que fueron eficientes por lo menos un año agrícola de los años analizados, se muestran en la figura 4 (pág. 144).

Análisis de las mejoras potenciales por módulo de riego eficiente

En este apartado se describen las mejoras potenciales que cada uno de los módulos de riego debe realizar para ser eficientes; es decir, en cuánto deberían reducir sus inputs cada uno de los módulos (en %).

En cuanto a los Módulos K-73,5 y K-63 que son ejemplos de éxito, en virtud de que se pudo comprobar en 3 años agrícolas, que fueron los únicos que presentaron eficiencia al 100% y sirvieron de referencia para el resto de los módulos al aprovechar adecuadamente sus recursos, para las diversas variables. En cuanto a los valores observados y los valores objetivos fueron idénticos en las diferentes variables y análisis realizados por el modelo DEA, situándose siempre en la frontera eficiente.

Tabla 2. Estudio promedio para 4 años agrícolas en 42 módulos de riego.
Table 2. Farming 4 years average studio in 42 irrigation modules.

Módulo de Riego	Banker, Charnes, and Cooper Eficiencia	Superficie (ha)	Costos (millones) \$	Volumen (Millones m ³)	Producción (millones \$)
K-73,5	1	846	16,03	4189,91	20,60
K-63	1	1019	23,98	5121,00	98,24
K-73,8	0,952	4255	100,75	24056,54	167,19
K-79	0,951	7763	197,22	51138,82	292,52
Catorce	0,948	7287	171,13	42672,24	269,23
Módulo 02	0,943	8818	174,05	37338,67	250,58
P10-Sur	0,931	2924	87,42	8316,81	92,96
K-68	0,926	4039	99,38	23405,25	151,64
Veinte	0,923	4640	100,66	23476,60	172,91
Diez	0,919	8030	172,23	44167,69	267,95
K-64	0,917	2644	61,77	15247,84	93,05
K-66	0,915	3315	74,70	19840,54	114,47
Cuatro	0,914	9201	213,59	57778,16	305,82
K-95	0,907	2610	52,09	19954,58	80,24
4-P-10	0,905	1899	44,029	12508,00	68,17
Veintidós	0,904	4129	82,17	32074,63	119,87
Módulo 10	0,903	9632	181,00	56089,69	268,40
4-P-8	0,898	6513	161,06	45646,33	248,62
Dieciséis	0,895	8672	187,92	48430,51	280,98
K-105	0,893	3514	71,08	24494,87	107,03
SEIS	0,886	7859	176,81	52001,36	259,33
K-91 Sur	0,878	7388	137,35	30845,24	201,82
K-70	0,877	1877	34,12	11498,35	48,34
Dieciocho	0,874	2156	41,11	12313,22	59,04
K-88,5	0,874	5597	111,74	33874,26	168,00
C.M.D.	0,870	4402	92,22	27631,08	137,98
4-P-6	0,866	4669	99,30	32971,02	143,73
Santini II	0,864	2557	43,03	16760,53	61,14
Módulo 06	0,863	10332	196,96	61801,03	275,94
4-P-4	0,860	4941	106,15	40029,07	153,67
Santini I	0,853	5053	87,02	29482,31	123,73
Diecinueve	0,852	3615	64,85	19579,14	92,54
Dos-B	0,842	4911	97,62	31579,53	140,20
Náinari	0,840	1298	24,92	8540,01	31,77
Dos	0,839	6605	131,88	39888,41	191,22
Módulo 11	0,833	9636	193,72	49561,34	271,58
Doce	0,823	6797	147,19	43224,60	204,80
Bacame	0,819	4235	75,11	24689,52	104,00
K-91 Norte	0,818	4614	89,68	28860,02	125,26
Ocho	0,814	7650	149,75	48661,32	206,73
Módulo 01	0,796	7652	156,44	29017,37	188,86
4-P-12	0,796	4552	96,59	25989,27	131,34
Promedio	0,885	220139	110,14	30827,30	161,70

Tabla 3. Cultivos establecidos en los módulos de riego que fueron eficientes por lo menos un año agrícola.
Table 3. Established crops in the irrigation modules which were efficient at least on an agricultural year.

Módulo de riego	Trigo grano (%)	Maíz (%)	Cártamo (%)	Garbanzo (%)	Otros cultivos (%)	Algodón (%)	Sorgo (%)	Alfalfa (%)	Frutales (%)	Total (%)
K-73.5	80,08	5,10	0,00	0,28	2,41	0,96	0,00	2,94	8,24	100
K-63	78,05	4,60	0,00	0,00	13,90	0,96	0,00	2,49	0,00	100
4-P-8	52,25	12,41	6,81	1,74	20,84	0,89	0,26	3,72	1,08	100
K-68	59,09	4,22	5,77	2,16	16,00	1,86	0,53	4,81	5,56	100
K-64	69,16	7,16	1,17	0,45	11,66	3,89	1,41	3,23	1,88	100
K-73,8	72,83	3,13	3,29	1,26	14,13	4,73	0,06	0,58	0,00	100
K-79	60,46	5,75	2,18	2,70	15,52	2,93	0,30	0,98	9,20	100
Catorce	67,49	4,08	6,67	0,77	13,70	2,58	0,22	1,97	2,54	100
K-66	73,50	6,60	1,54	0,00	11,20	5,20	0,42	0,72	0,82	100
Módulo 02	71,52	11,95	0,83	0,05	6,37	7,98	0,19	1,07	0,05	100
Módulo 10	86,97	3,41	1,17	0,13	6,00	1,99	0,19	0,15	0,00	100
Diez	75,84	5,04	4,66	0,03	9,89	1,20	0,20	1,51	1,63	100
Dos-B	43,49	6,68	4,97	32,07	6,80	0,00	0,29	3,97	1,73	100
Módulo 11	53,80	10,39	5,50	14,31	5,50	0,08	0,15	6,49	3,77	100
Cuatro	61,95	6,95	4,94	1,76	11,12	4,72	0,18	1,95	6,42	100
Módulo 06	79,30	3,92	2,58	2,05	4,10	2,96	0,00	0,89	4,22	100
Promedio	67,86	6,34	3,25	3,74	10,57	2,68	0,28	2,34	2,95	100

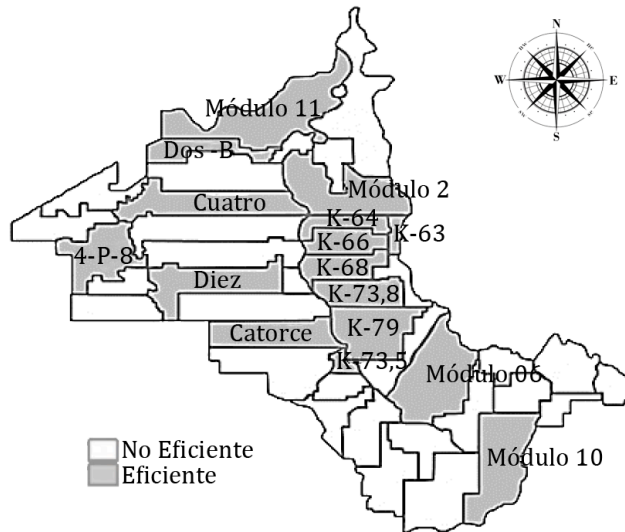


Figura 4. Distribución de módulos de riego que fueron eficientes por lo menos un año del período analizado.

Figure 4. Distribution of irrigation modules which were efficient at least on a year of the analyzed period.

Los comportamientos en las mejoras potenciales para superficie regada, costos de producción y volumen de agua para los módulos de riego que fueron eficientes por lo menos en un año agrícola, durante el período analizado; se determinan en la tabla 4 (pág. 146), y permite conocer en cuánto deberán reducir sus inputs cada uno de los módulos (en %) en base a 1,0%.

El análisis del resumen de mejora, muestra la distribución de las mejoras potenciales, en las cuales se observan los módulos de riego para las distintas variables, por lo que, para ser eficientes, deberá haber una reducción de cada uno de los inputs analizados.

CONCLUSIONES

La metodología Date Envelopment Analysis (DEA), aplicada en el distrito permitió conocer las ineficiencias en cada uno de los módulos de riego estudiados; así como la posibilidad de incrementar su eficiencia, reduciendo los inputs según sea el caso. El estudio determinó las tendencias y variaciones anuales e interanuales de eficiencias; como un aporte a los productores para la toma de decisiones que les permita minimizar las ineficiencias presentadas.

El DEA mostró el margen de mejora para cada módulo de riego ineficiente para lograr la frontera de eficiencia y por lo tanto lograr contar con módulos de riego eficientes.

El ciclo agrícola más homogéneo en cuanto a la eficiencia fue el 2012-2013 determinado en función de los porcen-

tajes obtenidos en el análisis realizado, que oscilan entre un rango de 86,72% al 100%, lo cual indica que la frontera de posibilidades está inmediata para la mayoría de los módulos de riego, con un margen del 13,28%. Además, es donde mayor número de módulos de riego eficientes hubo, llegando a ser 12 de los 42 existentes, esto debido al aprovechamiento de sus recursos con los que cuentan y al buen manejo de sus entradas (inputs). En cambio, en el ciclo agrícola 2010-2011 es el más heterogéneo en cuanto a eficiencia, debido al mal aprovechamiento de sus entradas (inputs), ya que los rangos oscilan del 62,21% al 100% lo que hace más complejo alcanzar la frontera de posibilidades con respecto a los módulos de riego más eficientes, con un rango de mejora mayor (37,79%); además de que únicamente 3 módulos de riego fueron eficientes técnicamente.

Existe en cada ciclo agrícola una variabilidad de mejora diferente en los inputs, lo que permite diseñar estrategias para cada variable analizada que propicien alcanzar la frontera de posibilidades en los próximos años agrícolas; y facilite a los directivos de cada módulo de riego, tomar las decisiones más correctas, en función de las mejoras potenciales con las que cuenta cada módulo de riego, en cuanto a reducir superficie sembrada, disminuir volumen de agua, y/o mejorar los costos de producción.

Al considerar los costos de producción totales para cada uno de los cultivos analizados (trigo grano, cártamo, garbanzo y otros cultivos de mayor valor económico), se puede percibir que existe influencia de algún insumo de producción que esté opacando la eficiencia técnica pura del input (costos de producción); por lo que se recomienda que en futuros estudios se realice a mayor detalle el análisis de este input.

Por otra parte, se puede considerar que las eficiencias de conducción de agua,

se podrán incrementar en los módulos de riego, por las inversiones que se realicen a través de obras de revestimientos en los diversos canales de la red mayor, menor y a nivel parcela. Además de adoptar tecnologías de producción más sustentables, como pueden ser: evitar el monocultivo, desprotección de los suelos durante más de 6 meses y una continua capacitación y supervisión en la manera de regar. Una de las opciones que tendrían los módulos de riego para ser más eficientes, sería la de establecer en la mayoría de ellos prácticas agrícolas comunes y supervisión más estricta en los riegos realizados por los productores; así como economías de escala a través de sus organizaciones y empresas de servicios. Además de disminuir el volumen de agua otorgada a los usuarios con un acuerdo previo en beneficio de ellos mismos y de la permanencia de la actividad agrícola en la región.

Haber considerado como input los costos de producción, permitió contar con la información de cada uno de los insumos utilizados en los distintos procesos de producción agrícola, incluyendo el costo del agua, aunque se podría proponer realizar un DEA para los conceptos más importantes con los que cuenta cada sistema de producción y conocer a detalle, alguna o algunas variables que influyan en la eficiencia a nivel parcela.

Conocer la eficiencia, a través de la metodología DEA en los módulos de riego permitirá realizar un estudio más detallado usando indicadores de gestión en módulos de riego en el valle del Yaqui, Sonora México, aplicando la metodología de las técnicas de benchmarking, con el propósito de mostrar las mejores prácticas y adaptarlas a los módulos más desfavorecidos, con el propósito de mejorar los rendimientos productivos y por ende económicos de la agricultura en la zona de estudio.

Tabla 4. Mejoras potenciales para los módulos de riego eficientes por los menos un año agrícola.
Table 4. Potential improvements for the irrigation modules which were efficient at least on an agricultural year.

Módulo de Riego	2010-2011			2011-2012			2012-2013		
	Superficie regada	Costos	Volumen de agua	Superficie regada	Costos	Volumen de agua	Superficie regada	Costos	Volumen de agua
K-73,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K-63	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4-P-8	0	0	0	0,25	0,11	0,11	0,12	0,11	0
K-73,8	0,49	0,19	0,47	0	0	0	0	0	0
Módulo 02	0,59	0,24	0,54	0	0	0	0	0	0
K-68	0,44	0,18	0,44	0	0	0	0,05	0,05	0
Catorce	0,55	0,21	0,54	0	0	0	0	0	0
Módulo 10	0,64	0,30	0,63	0	0	0	0	0	0
Diez	0,60	0,25	0,55	0,04	0,01	0,01	0	0	0
K-66	0,48	0,21	0,54	0,03	0,03	0,10	0	0	0
Módulo 11	0,59	0,29	0,56	0,25	0,21	0,21	0	0	0
Des-B	0,56	0,26	0,51	0,32	0,21	0,30	0	0	0
Cuatro	0,62	0,30	0,58	0,08	0,14	0,35	0	0	0
K-79	0,50	0,20	0,56	0,23	0,14	0,16	0,09	0,09	0
Módulo 06	0,65	0,31	0,71	0	0	0	0,06	0,25	0
K-64	0,40	0,19	0,41	0,10	0,02	0,21	0	0	0

BIBLIOGRAFÍA

1. Alvarez, A.; Morábito, J. A.; Schilardi, C. 2016. Huellas hídricas verde y azul del cultivo de maíz (*Zea mays*) en provincias del centro y noreste argentino. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 48(1): 161-177.
2. Amores, A. F.; Contreras, I. 2009. New approach for the assignment of new European agricultural subsidies using scores from data envelopment analysis: Application to olive-growing farms in Andalusia (Spain). *European Journal of Operational Research.* 193(3): 718-729.
3. Ayaviri, N. D.; Alarcón, L. S. 2005. El Análisis Envolvente de Datos aplicado en la medición y evaluación de la eficiencia de los Municipios de Bolivia. *Universidad Técnica de Oruro, Bolivia.* 38 p.
4. Ayvar Campos, F. J.; Navarro Chávez, J. C L.; Giménez, V. M. 2015. El bienestar social en América Latina, 1990-2014: 8 un análisis DEA a partir de las dimensiones del desarrollo humano. *Revista Nicolaita de Estudios Económicos.* 10(2).
5. Banaeian, N.; Zangeneh, M.; Omid M. 2010. Energy use efficiency for walnut producers using Date Envelopment Analysis (DEA). *AJCS.* 4(5): 359-362.
6. Banker, R. D.; Charnes, A.; Cooper W. W. 1984. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science.* 30(9): 1078-1092.
7. Banxia Software Ltd®. 2003. *Frontier Analyst. Version 3.2.2 Professional Edition.* ©Copyright 1995-2003 Banxia®.
8. Becerril, O.; Rodríguez, G.; Ramírez J. 2011. Eficiencia técnica del sector agropecuario de México: Una perspectiva de análisis envolvente de datos. *Economía.* 35(31):85-110.
9. Celso, A.; Cortés, F. 2010. Análisis de la eficiencia técnica relativa de la agroindustria azucarera: el caso de México. *Revista Mexicana de Agronegocios. Quinta Época.* 14(26).
10. Charnes, A.; Cooper, W. W.; Rhodes, E. 1978. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research.* 2: 429-444.
11. Coelli, T. 1996. A guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program. *CEPA Working Paper 96/08.*
12. Coll, S. V.; Blasco, B. O. 2006. *Frontier Analyst Una herramienta para medir la eficiencia.* Eumed.net. Universidad de Málaga, España. 100 p.
13. Comisión Nacional de Agua. 2003. Determinación de la disponibilidad de agua subterránea en el acuífero valle del Yaqui, estado de Sonora. *Subdirección General Técnica.*
14. Cooper, W. W.; Seiford, L. M.; Tone, K. 2000. *Data Envelopment Analysis. A comprehensive text with models, applications, references and DEA-Solver software.* Kluwer Academic Publishers. 213 p.
15. Elhendy, A. M.; Alkahtani, S. H. 2013. The resource use efficiency of conventional and organic date farms in Saudi Arabia: A date envelopment analysis approach. *The Journal of Animal & Plant Sciences.* 23(2): 596-602.
16. FAO. 2011. El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma. Mundi-Prensa, Madrid.*
17. FAO. 2013. Afrontar la escasez de agua Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO Roma.*
18. Farrell, M. J. 1957. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General).* 120(3): 253-290.
19. García, J.; Coll, V. 2003. Competitividad y eficiencia. *Estudios de Economía Aplicada.* 21: 3.
20. Goñi, L. S. 1998. El análisis envolvente de datos como sistema de evaluación de la eficiencia técnica de las organizaciones del sector público: Aplicación en los equipos de atención primaria. *Revista Española de Financiación y Contabilidad.* 27(97): 979-1004.
21. Guang, Yu; Huang, Q.; Zhao, X. J.; Wang, W. S. 2013. Efficiency evaluation and optimization of green mining for coal enterprises based on DEA. *Applied Mechanics and Materials, Vols. 295-298: 2864-2868.*

22. INIFAP. 2009. Seminario de tecnología para la producción de trigo. Centro de Investigación Regional del Noroeste Campo Experimental Valle del Yaqui Cd. Obregón, Sonora, México. 74 p.
23. Mahdhi, N.; Sghaier, M.; Smida Z. 2013. Efficiency of the irrigation water user association in the Zeuss-Koutine region, south-eastern Tunisia. Institut des Régions Arides de Médénine (IRA) Tunisie. New Medid No 2. 9 p.
24. Minjares-Lugo, J. L.; Valdés, J. B.; Salmón-Castelo, R. F.; Oroz-Ramos, L. A.; López-Zavalar. 2010. Sustainable planning, management, and evaluation of water resources in irrigation District No. 041, Río Yaqui, Mexico. Water Technology and Sciences, formerly Hydraulic Engineering in Mexico. 1(1): 137-151.
25. Morábito, J.; Salatino, S.; Hernández, R.; Schilardi, C.; Álvarez, A.; Rodríguez Palmieri, P. 2015. Distribución espacial de la evapotranspiración del cultivo de referencia y de la precipitación efectiva para las provincias del centro-noreste de Argentina. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(1): 109-125.
26. Mussetta, P.; Barrientos, M. J. 2015. Vulnerabilidad de productores rurales de Mendoza ante el Cambio Ambiental Global: clima, agua, economía y sociedad. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(2): 145-170.
27. Navarro Chávez, J. C. L.; Ayvar Campos, F. J.; Zamora Torres A. I. 2016. Desarrollo económico y migración en América Latina, 1980-2013: Un estudio a partir del Análisis Envolvente de Datos. Trace 70. págs. 149-164.
28. Ntontos, P. N.; Karpouzou, D. K. 2010. Application of data envelopment analysis and performance indicators to irrigation systems in Thessaloniki Plain (Greece). International Journal of Engineering. 4(10): 714-720.
29. Phadnis, S. S.; Kulshrestha, M. 2012. Evaluation of irrigation efficiencies for water users' associations in a major irrigation project in India by DEA. Benchmarking: An International Journal. 19(2): 193-218.
30. Pinilla, A. A.; Arias S. C.; Orea S. L. 2001. Introducción al análisis empírico de la producción. Universidad de Oviedo, España. 150 p.
31. Ríos Flores, J. L.; Torres Moreno, M.; Castro Franco, R.; Torres Moreno, M. A.; Ruiz Torres, J. 2015. Determinación de la huella hídrica azul en los cultivos forrajeros del DR-017, Comarca Lagunera, México. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(1): 93-107.
32. Rodríguez Díaz, J. A. 2003. Estudio de la gestión del agua de riego y aplicación de las técnicas de benchmarking a las zonas regables de Andalucía. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba, departamento de Agronomía. Córdoba, España. 364 p.
33. Rodríguez Díaz, J. A.; Camacho Poyato, E.; López Luque, R. 2004. Application of Data Envelopment Analysis to Studies of Irrigation Efficiency in Andalusia. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 130: 175-183.
34. Visbal, C. D.; Mendoza, M. A.; Causado, R. E. 2016. Eficiencia en las instituciones de educación superior públicas colombianas: una aplicación del análisis envolvente de datos. Universidad Sergio Arboleda. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11232/687>

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Ing. María Guadalupe Chávez Espinoza (†), por la información proporcionada a través del Distrito de Riego N° 041, Río Yaqui y a Kevin Olascoaga Olmedo nuestro más sincero reconocimiento.

Determinación de indicadores de gestión en los módulos del Distrito de Riego No. 041, Río Yaqui (Sonora, México)

Determination of management indicators on Irrigation Districts modules 041, Río Yaqui (Sonora, Mexico)

Víctor Manuel Olmedo Vázquez^{1,3}, Emilio Camacho Poyato¹, Juan Antonio Rodríguez Díaz¹, José Luis Minjares Lugo², María Leticia Hernández Hernández³

Originales: *Recepción*: 13/06/2016 - *Aceptación*: 12/10/2016

RESUMEN

Se determinaron indicadores de gestión en el uso de agua de riego para módulos en el Distrito de Riego No. 041, Río Yaqui, ubicado en el sur de Sonora, México; analizado 11 indicadores de rendimiento y ocho indicadores de eficiencia en productividad. Estos indicadores se caracterizaron a través del International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage, los cuales permitieron analizar la expresión de las variables a combinar y medirlas en cuatro años agrícolas. El propósito de este trabajo fue desarrollar una metodología que permitiera analizar la eficiencia del riego. Por lo que los objetivos fueron: 1) Caracterizar a los 42 módulos de riego mediante indicadores de gestión y la aplicación de las técnicas de benchmarking, con la finalidad de mejorar el riego donde existan deficiencias y 2) Determinar los elementos fundamentales y propósitos que caracterizan el uso eficiente de agua a través de indicadores de gestión que inciden en el área agrícola de estudio. Los resultados para el indicador Suministro Relativo de Agua (RWS), expresa que se está usando agua de riego por encima de lo requerido, y el indicador Suministro Relativo de Agua de Riego (RIS), precisó de manera contundente la aportación de agua en proporción a las necesidades de los cultivos.

Palabras clave

indicadores • riego • uso eficiente • benchmarking • suministro relativo de agua de riego

-
- 1 Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes. Departamento de Agronomía. De Campus Rabanales. Edificio Leonardo da Vinci. Universidad de Córdoba. 14071 Córdoba, España. olmedovazquez@gmail.com
 - 2 Comisión Nacional de Agua (Conagua). Calle Sinaloa 611, Norte, Urb. No. 4. Colonia Centro, 85000, Ciudad Obregón, Sonora, México. jose.minjares@conagua.gob.mx
 - 3 Centro Regional Universitario del Noroeste (CRUNO), Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Colima 163 Norte, colonia Centro, 85000, Ciudad Obregón, Sonora, México. hernandez.leticia710@gmail.com

ABSTRACT

There were determined indicators of management in the use of water for irrigation on the modules of the Irrigation District 041, Río Yaqui, located at the south of Sonora, Mexico; analyzing 11 performance indicators and eight efficiency indicators in productivity. These indicators were characterized through the International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage, which allowed analyzing the expression of variables to combine and measure them in four agricultural years. The purpose of this work was to develop a methodology that allows analyzing the irrigation efficiency. By what the objectives were: 1) Distinguish the 42 irrigation modules through management indicators and the application of benchmarking techniques, in order to improve the irrigation where there are deficiencies and 2) To determine the key elements and purposes which distinguish the efficient use of water through management indicators that affect the agricultural area of study. The results for the relative water supply indicator (RWS), expressed that it is using irrigation water over as required, and the relative irrigation water supply indicator (RIS) said conclusively the contribution of water in proportion to the crops needs.

Keywords

indicators • irrigation • efficient use • benchmarking • relative irrigation supply

INTRODUCCIÓN

El manejo de agua, para la producción agrícola en el Distrito de Riego No. 041, Río Yaqui, en el noroeste de México, es uno de los principales factores a analizar, para ser eficientes y competitivos en la actividad. Esto debido a que el agua es un recurso primordial en las zonas áridas y semiáridas de México, en tanto que su aporte limita la producción de la agricultura (19). Por lo que es importante tomar medidas para incrementar la eficiencia en el manejo y la operación de los recursos hidráulicos y, de esta manera, lograr el uso sustentable del agua y de las actividades que dependen de ella, a través de algunos indicadores de gestión. Todo ello, basado en la propuesta de Malano y Burton (2001), por medio del International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage (IPTRID).

Los indicadores de gestión considerados en este estudio, son los relativos a rendimiento y eficiencia en la producción. Estos indicadores se categorizaron, se ordenaron y se describieron con el propósito de conocer la situación de cada uno de los 42 módulos de riego con los que cuenta el distrito, con la finalidad de utilizar adecuadamente sus recursos naturales y económicos. Posteriormente, se emplearon las técnicas de benchmarking con la intención de mejorar su eficiencia y los rendimientos obtenidos. Se considera que las técnicas de benchmarking tienen como fin impulsar a las organizaciones hacia el logro de los estándares de calidad con el firme propósito de realizar mejoras continuas en las organizaciones, para que estas mejoren sus indicadores de eficiencia o determinen la satisfacción del cliente (23).

Bajo este argumento, se estimaron los efectos del uso eficiente de agua estableciendo un conjunto de 19 indicadores de gestión, aplicándolos a 42 módulos de riego y en su conjunto al mismo distrito, lo cual permitió compararlos en función de distintas condiciones dentro del área de estudio.

Se indica que existen, al menos, dos criterios para clasificar a los indicadores: 1) A partir de la dimensión o valoración de la realidad económica, social, política o humana que se pretende expresar y 2) Partiendo del tipo de medida o procedimiento estadístico necesario para su obtención (13).

En el segundo criterio se enfoca este estudio, debido a la utilización de bases estadísticas durante cuatro años agrícolas analizados (2010-2011, 2011-2012, 2012-2013 y 2013-2014).

Los indicadores de gestión en el ámbito de los riegos son herramientas muy útiles para propender a la optimización de los recursos hídricos y de los resultados obtenidos con el riego. Se trata de un proceso sistemático para garantizar la mejora continua a través de la comparación con datos y estándares internos (con comparaciones previas y objetivos futuros) o externos (organizaciones similares o con funciones parecidas) relevantes y factibles, utilizando las técnicas de benchmarking (18).

El proceso de benchmarking se originó en el negocio de la empresa como medio para medir, y posteriormente, mejorar su rendimiento en relación con los principales competidores. Así, mediante el estudio de los principales competidores, y los procesos utilizados para lograr los mejores resultados, muchas organizaciones han sido capaces de adoptar mejores prácticas de gestión y mejorar su propia actuación.

En algunos casos, las organizaciones han hecho tan bien el proceso de benchmarking que se convierten como ejemplo a seguir por otras organizaciones (1). Por ello, una de las herramientas para planificar ese deseado aumento de la eficiencia y de la productividad son los indicadores de gestión y la comparación de los mismos mediante las técnicas de benchmarking (20).

La esencia del proceso de benchmarking es proporcionar a las organizaciones la capacidad de comparar su desempeño en relación con organizaciones similares o procesos similares.

El análisis comparativo consiste principalmente en la clasificación de los niveles de desempeño para indicadores individuales tanto numérica como gráficamente (1).

Desde los inicios de esta metodología a la fecha, se han realizado una serie de estudios en distintas partes del mundo; entre los cuales el International Water Management Institute (IWMI) llevó a cabo la obtención de datos e indicadores de seis países para ayudar en el desarrollo de la evaluación comparativa utilizando y probando el proceso propuesto. Estos países fueron: Australia, México, Sri Lanka, China, India y Estados Unidos de Norteamérica (1).

Australia es reconocida internacionalmente como uno de los líderes en riego y drenaje y, como proveedor de servicios de benchmarking empresarial. El mérito de este mandato corresponde al Comité Nacional de Australia de Riego y Drenaje (ANCID), que tuvo la iniciativa y comenzó la evaluación comparativa de sus empresas de proveedores de agua de riego en 1998. Desde 1998, ANCID ha preparado seis informes comparativos anuales que han recibido reconocimiento nacional e internacional (2).

Si bien en México, en el año 2002, se llevó a cabo un estudio (1), con datos del

año 2000/2001, al analizar la información vertida en dicho estudio, se observó que solamente consideraron cinco módulos de riego, de los 42 existentes, y solo para un año agrícola (primavera-verano y otoño-invierno), lo cual, a consideración propia, limitó determinar la eficiencia y competitividad en su conjunto del mismo distrito.

Se aportaron datos de indicadores del sistema de operación, indicadores de financiamiento, de eficiencia productiva y medio ambiente.

En el estudio anterior, se indica que una de las limitantes es precisamente la exactitud de los volúmenes de suministro de agua, en cuanto a la poca precisión de la medición; observando variaciones importantes en cada uno de los módulos de riego considerados, lo cual refuerza realizar el estudio más a detalle, con la finalidad de considerar la totalidad de los módulos de riego, y en conjunto con el mismo distrito para conocer el incremento de la eficiencia y de la productividad a través de los indicadores de gestión, y posteriormente realizar la comparación de los mismos mediante las técnicas de benchmarking.

Hipótesis

Los indicadores de gestión permiten ajustarse a los estándares de competitividad, a través del uso eficiente de riego, logrando mayor productividad en la actividad agrícola.

Objetivos

Caracterizar a los 42 módulos de riego mediante indicadores de gestión y la aplicación de las técnicas de benchmarking, con la finalidad de mejorar el riego donde existan deficiencias.

Determinar los elementos fundamentales y propósitos que caracterizan el uso eficiente de agua a través de indicadores de gestión que inciden en el área agrícola de estudio.

METODOLOGÍA

Zona de estudio

Caracterizada por un clima semiárido, la cuenca del río Yaqui en el noroeste de México comprende parte de los estados mexicanos de Sonora y Chihuahua, y una pequeña porción del estado de Arizona en los Estados Unidos de Norteamérica. Cuenta con una precipitación anual promedio de 511,8 mm, que proviene en un 70%, aproximadamente, de las lluvias de verano y el resto por las lluvias durante los meses de invierno.

El escurrimiento anual promedio es de 3061 hm³. El principal usuario de esta cuenca es el Distrito de Riego No. 041, Río Yaqui, con más del 85,0% del agua superficial asignada, la cual se utiliza para regar 227.224 hectáreas.

El sistema agrícola del distrito depende tanto del volumen de agua almacenado en sus presas como de la capacidad de bombeo de su acuífero. Este distrito es un sistema agrícola que produce principalmente trigo, cártamo, hortalizas, maíz, sorgo, algodón, garbanzo, alfalfa y frutales, entre otros (11).

Dentro de los niveles de operación del distrito, se cuenta con una red total de canales en tres niveles operativos (Tramo muerto, Red mayor y Red menor), considerando el agua que se extrae de la presa más el agua de bombeo en plan colectivo hasta la entrega en parcela, se tiene una red de 3522 km de canales totales.

Tramo Muerto

Tramo operado por la Comisión Nacional de Agua (Conagua) que va de la toma baja a Hornos por el Canal Principal Bajo y de la toma alta al Km 14 del Canal Principal Alto y comprende 26,5 km.

Red Mayor

Tramo operado por una Sociedad de Responsabilidad Limitada que comprende una red de 292 km de canales principales desde los puntos de control donde recibe el agua de parte de Conagua hasta la entrega en los 327 puntos de control a Módulos de Riego en colectivo.

Red Menor

Tramo operado por los módulos de riego hasta entregar el agua a nivel parcela, que comprende una red de 3204 km de canales secundarios desde el punto de control, donde recibe el agua por parte de la Sociedad de Responsabilidad Limitada incluyendo pozos en plan colectivo (comunicación personal Humberto Borbón, 2013).

La metodología permitió identificar y comparar las diferentes eficiencias de riego existentes en el distrito de riego. Para ello se realizó un estudio de análisis de la eficiencia en la conversión de varios recursos en productos o salidas con un determinado valor económico. Fue necesario desarrollar bases de datos, para la organización, y para la descripción de los indicadores; así como un modelo de informe donde se mostraron las características más significativas de cada uno de los módulos de riego.

El siguiente paso fue el proceso de benchmarking al comparar los indicadores, anteriormente calculados, de cada uno de los módulos de riego con los del resto y con ellos mismos, analizando su serie histórica. Este análisis permitió determinar las relaciones causa-efecto que han llevado a un módulo a una mejor o a una peor eficiencia en el uso de los recursos. Así, al determinar las relaciones causa-efecto facilitó la elección de las posibles acciones a realizar encaminadas a la mejora de la eficiencia del área de riego.

Los métodos y técnicas empleados en este estudio, estuvieron determinados por la información aportada principalmente por el Distrito, la Comisión Nacional de Agua (Conagua), el Patronato para la Investigación y Experimentación Agrícola del Estado de Sonora (PIEAES); así como por la propia naturaleza de cada uno de los objetivos a responder y por los indicadores de gestión seleccionados.

El primer paso para el estudio, consistió en conjuntar bases de datos que incluyeron las variables relacionadas con los indicadores de gestión, donde se introdujeron: 1) cultivos, 2) superficie sembrada, 3) superficie cosechada, 4) superficie regable, 5) superficie regada, 6) rendimiento (t/ha), 7) producción (t/ha), 8) precio medio rural (\$/t), 9) valor de la producción (miles de \$), 10) costos de producción (miles \$/ha), 11) evapotranspiración real (ETc), que incluye la evaporación directa desde el suelo y la transpiración de los cultivos, 12) precipitación efectiva, 13) requerimiento de riego y 14) datos climáticos de cada módulo de riego. Además, se recurrió al análisis de datos a través del software Cropwat 8.0 para el cálculo de las necesidades de agua de los cultivos establecidos en el área de estudio.

Se generó una cuantiosa información que se debió ordenar y clasificar adecuadamente. Se inició el proceso de generación de bases para luego obtener los resultados que orientarán a cada uno de los responsables de los módulos de riego, a tomar decisiones pertinentes y continuar trabajando más eficientemente, con la finalidad de que los usuarios (productores), cuenten con mayores beneficios en la actividad agrícola que desarrollan. Los indicadores de gestión considerados fueron: indicadores de rendimiento. Los indicadores de rendimiento son datos en

series temporales que reflejan y registran cambios a través de un número significativo de dimensiones relevantes, a través de los cuales se juzga la eficacia y eficiencia de un sistema para alcanzar determinados objetivos. Esta definición subraya dos características comúnmente asociadas con los indicadores (16). Primero, la información sobre la actuación o el rendimiento de un individuo, organización o sistema es recogida usualmente en intervalos regulares, para obtener datos de los cambios producidos a lo largo del tiempo. Segundo, los indicadores de rendimiento son importantes para reflejar la calidad y el producto («output»). Los indicadores de rendimiento que se consideraron en este estudio, se muestran en la tabla 1.

Para el ajuste de las aportaciones de agua en los diferentes módulos de riego a las demandas de los distintos cultivos, se dio mayor importancia a los indicadores Suministro Relativo de Agua (RWS, Relative Water Supply), el cual permite conocer si la cantidad total de agua (riego y precipitaciones) con la que ha contado el cultivo durante su ciclo de crecimiento, si ha sido excesiva, suficiente o escasa. Valores de

RWS próximos a la unidad indican que las necesidades de agua del cultivo se han podido satisfacer de manera adecuada, valores inferiores a la unidad, el agua ha sido insuficiente y mayor a la unidad, el cultivo ha dispuesto de una cantidad más que suficiente de agua para cubrir sus necesidades (21). El Suministro Relativo de Agua de Riego (RIS, Relative Irrigation Supply), muestra la eficiencia de riego del sistema como un todo, porque compara el agua de riego que se suministra con el agua de riego necesaria (4).

Cullinane *et al.* (2004), muestra que con el indicador RIS, es posible analizar el aporte de agua en relación con las necesidades de agua de los cultivos. Ambos indicadores aportan información acerca de la condición de escasez o exceso de agua y de cómo se ajusta la aplicación de agua con la demanda (12).

El indicador de gestión de Suministro Relativo de Agua, (RWS); se calcula según Malano y Burton (2001), como se observa en la tabla 2 (pág. 155).

El indicador RIS, según Cullinane *et al.* (2004), se calcula como se aprecia en la tabla 3 (pág. 155).

Tabla 1. Indicadores de gestión relativos a rendimiento (IPTRID).

Table 1. Management indicators relating to performance (IPTRID).

Grupo	Indicadores
R	Volumen de agua de riego por gravedad suministrada a los usuarios (m ³).
e	Volumen de agua de riego por pozo suministrada a los usuarios (m ³).
n	Volumen de agua total suministrada a los usuarios (m ³).
d	Volumen de agua de riego que entra al sistema (m ³).
i	Volumen total de agua que entra al sistema (m ³).
m	Suministro de agua de riego por unidad de área total regable (m ³ /ha).
i	Suministro de agua de riego por unidad de área regada (m ³ /ha).
e	Eficiencia en la distribución (%).
n	Suministro relativo de agua (m ³).
t	Suministro relativo de agua de riego (m ³).
o	Garantía de suministro (%).

Tabla 2. Cálculo para el Suministro Relativo de Agua.
Table 2. Calculation for the Relative Water Supply (RWS).

Indicador	Definición	Especificaciones
Suministro Relativo de Agua (RWS) (m ³)	Volumen total de agua que entra al sistema	Volumen total de agua que entra al sistema: volumen total de agua superficial desviada al sistema más las extracciones netas de aguas subterráneas más el agua de lluvia. No se incluye la recirculación del drenaje interno. R= Riego P _e = Precipitación efectiva durante la fase de crecimiento. ETC: Volumen de agua demandada por el cultivo. Para arroz se debe incluir la filtración.
	Ecuación: $RWS = \frac{R + P_e}{ETc}$	

Tabla 3. Cálculo para el Suministro Relativo de Agua de Riego (RIS).
Table 3. Calculation for the Relative Irrigation Supply (RIS).

Indicador	Definición	Especificaciones
Suministro Relativo de Agua (RIS) (m ³)	Volumen de agua de riego que entra al sistema	Volumen de agua de riego que entra al sistema: cantidad total de agua de riego que entra al sistema, sin considerar pérdidas en distribución. ETC: Volumen de agua demandada por el cultivo. R= Volumen de agua de riego que entra al sistema P _e : Precipitación efectiva durante la fase de crecimiento.
	Ecuación: $RIS = \frac{R}{(ETc - P_e)}$	

Indicadores de eficiencia en la productividad

Se establece que la determinación de indicadores de productividad juega un papel importante en el desarrollo de cualquier empresa o institución (7).

Los mismos autores señalan que además son útiles para proyectar el futuro de los mismos (6).

La medición del funcionamiento permite orientar el rumbo de la actividad en la dirección más deseada. Por ello se consideran los siguientes indicadores de eficiencia en la productividad a analizar, como se muestra en la tabla 4 (pág. 156); con el propósito de caracterizar a los módulos y mejorar el riego donde existan deficiencias.

Tabla 4. Indicadores de gestión relativos a la eficiencia en la productividad.**Table 4.** Management indicators relating to efficiency in productivity.

Grupo	Indicadores
Eficiencia en la productividad	Producción agrícola (t/ha).
	Valor total de la producción agrícola (\$).
	Productividad por unidad de área regable (\$/ha).
	Productividad por unidad de área regada (\$/ha).
	Productividad por unidad de agua de riego suministrada (\$/m ³).
	Productividad por unidad de agua de riego (\$/m ³).
	Productividad por unidad de agua total (\$/m ³).

La agrupación de los módulos de riego, según sus factores más representativos facilitará la creación de un sistema que permita estimar la calidad de la gestión (índice de calidad en la gestión), indicando los problemas principales y algunas de las posibles soluciones. Lo anterior con la finalidad de que la situación de desventaja de los grupos más vulnerables pone bajo la lupa la redistribución de los recursos (15).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente estudio se exponen los resultados alcanzados para la caracterización de cada uno de los 42 módulos de riego que conforman el distrito. La importancia radica en que se han obtenido resultados para los últimos cuatro años agrícolas 2010-2011, 2011-2012, 2012-2013 y 2013-2014; a través de los indicadores de gestión, con la finalidad de mejorar el riego donde existen deficiencias; establecidos en la metodología.

Los indicadores permitieron clarificar el comportamiento en cuanto a la eficiencia en el uso de agua, como se analiza a continuación.

Caracterización de los módulos de riego y del distrito con los indicadores más representativos

El agua es un elemento fundamental para el desarrollo de la vida en el planeta y representa un recurso esencial para el desarrollo social y económico de un país (3). En este contexto, el distrito de riego ha dotado al productor de un volumen de agua por hectárea, determinado (figura 1, pág. 157).

La dotación volumétrica de agua inició en 1997, con un volumen bruto de 12 millares de metros cúbicos por hectárea por año, medidos a punto de control (es el punto de unión del canal alto o canal bajo con cualquiera de los canales laterales del distrito). Esto significó regar una hectárea completa de trigo y el 50% de una hectárea de un cultivo como de maíz de verano.

A partir de esta dotación, esta disminuyó en 1999 a 10 millares de metros cúbicos por hectárea por año. Después en el año 2000 a 9 millares de metros cúbicos por hectárea, así debido a los bajos almacenamientos en el sistema de presas. El ciclo otoño-invierno 2000-2001 inició con 4,2 millares de metros cúbicos por hectárea, y debido a la recuperación de las presas en el mes de octubre, se actualizó a 5,7 millares de metros cúbicos por hectárea.

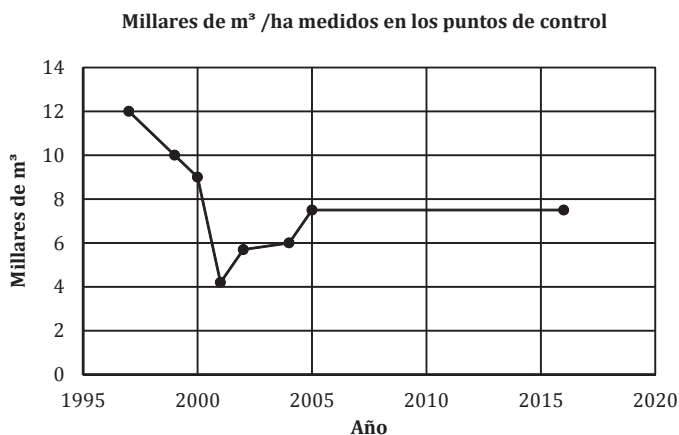


Figura 1. Dotación al productor de un volumen de agua por hectárea por año.

Figure 1. Endowment to the producer of a volume of water per hectare per year.

En el ciclo 2002-2003 fue de 6,0 millares de metros cúbicos como volumen bruto.

Los últimos años hasta el 2013-2014, la dotación ha sido de 7,5 millares de metros cúbicos (75 cm de lámina de riego) (17). Es importante señalar que, la adecuada gestión del riego es la que determina cuándo y cuánto regar, sobre la base de las necesidades de agua de los cultivos, las características del suelo y las condiciones climáticas del entorno, para optimizar la calidad y cantidad de la producción. Las necesidades de agua de las plantas varían entre especies, dependiendo de la genética y la adaptación a diferentes condiciones de cultivo (14).

Mediante los indicadores de gestión, se expresan cuantitativamente los resultados evaluados, con el propósito de valorar el trabajo que ha desarrollado el distrito, a través de sus objetivos y metas con respecto a los módulos de riego. Además, los indicadores proporcionan información importante para corregir o adecuar condiciones desfavorables que se hayan llevado a cabo durante los últimos cuatro años analizados.

Para conocer la eficiencia de riego en el distrito y conocer el potencial de mejora que debe desarrollar en la zona de estudio, se da énfasis a los indicadores de gestión: 1) Suministro Relativo de Agua (RWS) y 2) Suministro Relativo de Agua de Riego (RIS), ya que precisan sobre la condición de escasez o exceso de agua y de cómo ajustar la aplicación de agua con respecto a la demanda.

Suministro relativo de agua (RWS)

Al contar el distrito con 42 módulos de riego y haber analizado 4 años; se ha generado una cantidad importante de información; aunque en este caso y debido a la extensión territorial del distrito, y con base a los valores obtenidos, se determinó que la mayoría de los módulos de riego sobrepasan la unidad (1,0) como se observa en la figura 2 (pág. 158). La mayoría de los datos obtenidos para este indicador muestran que se estaría regando en exceso, o bien un riego muy en exceso y un riego extremo.

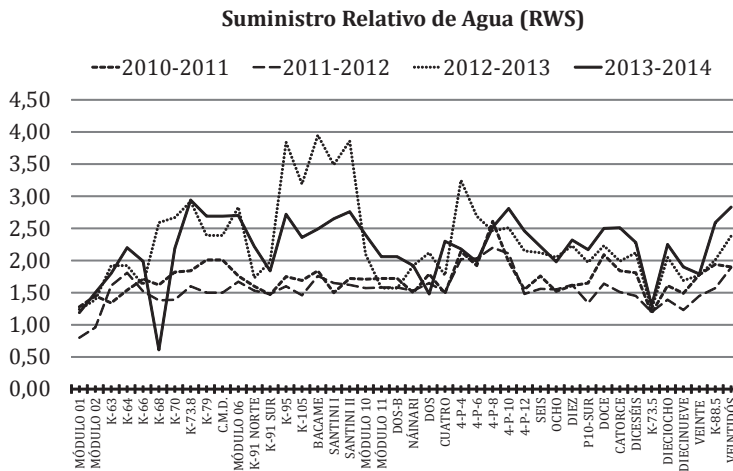


Figura 2. Indicador Suministro Relativo de Agua (RWS) para cada módulo de riego en el Valle de Yaqui, México. Por año agrícola.

Figure 2. Relative water supply indicator (RWS) for each irrigation module at the Yaqui Valley, Mexico. By crop year.

En su conjunto para este indicador, se determinó que el distrito se encuentra usando agua de riego por encima de lo requerido, lo cual se traduce en pérdidas de recursos naturales y económicos, que pueden llegar a ocasionar falta de agua en la presa; generando un ajuste drástico como se desarrolló en el año agrícola 2003-04, cuando no se regó ninguna hectárea con agua de las presas, utilizando solo agua de pozos.

Con el propósito de corroborar mejor la eficiencia de riego, se analizó a mayor detalle estos porcentajes con el indicador Relative Irrigation Supply (Suministro Relativo de Agua de Riego).

Suministro Relativo de Agua de Riego (RIS)

Al considerar que parte del agua de riego se pierde en el distrito, a través de la distribución por falta de canales revestidos tanto en los canales principales

que comprenden 292 km de longitud y de los cuales se encuentran revestidos únicamente 91 km (31%), así como de los canales secundarios que cuentan con 3204 km de longitud y de los cuales únicamente 776,8 km (24,2%) están revestidos; además de incluir la forma de aplicación del riego en cada uno de los módulos.

Por ello es necesario que el agua de riego cuando se entrega (bajo programa) en las bocas tomas de canales laterales o tomas directas de los módulos de riego a los representantes de las asociaciones civiles, mismos que distribuyen y proporcionan directa o a través de los "zanjeros" el servicio de riego a los usuarios, sea lo más eficiente posible.

Además de considerar problemas de revestimiento y/o entubamiento de las regaderas, así como nivelación de terrenos agrícolas e implementación de drenaje parcelario para sanear suelos con problemas de salinidad.

En los Distritos de Riego en México, la eficiencia de conducción en canales, se ha estimado en el orden del 65% y a nivel parcelario en un 52,5%.

Para obtener la eficiencia global, se considera la eficiencia de conducción multiplicada por la eficiencia a nivel parcelario; la cual da como resultado un 34,1%; es decir, de cada 1,000 litros de agua para riego, el cultivo aprovecha únicamente 341 litros.

En el Distrito de Riego 041, la eficiencia de conducción en canales, se ha estimado en el orden del 65%, dando como resultado una eficiencia a nivel parcelario del 70% e interparcelario (canales de la parcela) del 85%; lo cual se traduce en un 59,5% de eficiencia parcelaria.

Para obtener la eficiencia global, se considera la eficiencia de conducción multiplicada por la eficiencia de la parcela; la cual da como resultado un 38,68%. Es decir, de cada 1,000 litros de agua para riego, el cultivo aprovecha únicamente 386,8 litros.

Precipitación efectiva

Las tierras secas se caracterizan, entre otras cosas, por presentar precipitaciones escasas y suelos con insuficiente agua (9).

La precipitación efectiva indica la fracción de agua de lluvia que realmente se infiltra en el suelo y que, por lo tanto, se encuentra disponible para el cultivo.

De igual manera el cálculo de la Precipitación Efectiva (Pef) se llevó a cabo a través del Cropwat 8.0, para cada uno de los módulos de riego en los cuatro años agrícolas analizados, lo cual proporcionó el aprovechamiento real de las precipitaciones en los cultivos.

Una vez obtenidos los valores para el Suministro Relativo de Agua de Riego, y considerando la situación actual de la infraestructura de riego en el distrito, se determina que los valores, se pueden clasificar con cinco categorías como se observa en la tabla 5, en función del planteamiento inicial realizado por Pérez (2007).

Los valores de 0,7 a 0,9 se clasifican en un riego deficitario (el cual puede causar estrés en el cultivo y como consecuencia, reducción de los rendimientos). Es decir, el riego deficitario consiste en la aplicación de láminas inferiores a las necesarias para satisfacer las deficiencias hídricas de un cultivo, además que puede maximizar la eficiencia en el uso del agua (5). Rangos más altos indican una eficiencia de riego baja. Para este estudio se propone un rango entre 0,9 y 1,4; considerándolo como un riego adecuado debido a la falta de revestimiento en los canales principales y secundarios que irrigan los módulos de riego, como se aprecian en los resultados en la tabla 6 (pág. 160).

Tabla 5. Categorías para evaluar el RIS en el Distrito de Riego.

Table 5. Categories for evaluating the RIS at the Irrigation District.

Valor del RIS	Tipo de Riego
0,7 - 0,9	Riego deficitario
0,9 - 1,4	Riego adecuado
1,4 - 1,9	Riego en exceso
1,9 - 2,4	Riego muy en exceso
> 2,4	Riego extremo

Tabla 6. Indicador Suministro Relativo de Agua de Riego (RIS) según año agrícola.
Por módulo de riego del Distrito de Riego, México.

Table 6. Relative Irrigation Supply indicator (RIS) according to crop year. For irrigation module of the Irrigation District, Mexico.

Módulo de riego	2010-2011 RIS	2011-2012 RIS	2012-2013 RIS	2013-2014 RIS
Módulo 01	1,08	0,81	0,82	0,80
Módulo 02	1,32	0,72	0,86	0,97
K-63	1,18	1,12	1,08	1,03
K-64	1,42	1,39	1,18	1,49
K-66	1,51	1,24	1,30	1,37
K-68	1,31	1,16	1,74	2,29
K-70	1,45	1,16	1,61	1,80
K-73,8	1,47	1,32	1,81	2,48
K-79	1,73	1,32	1,99	2,47
C.M.D.	1,46	1,34	1,69	2,39
Módulo 06	1,46	1,45	2,13	2,36
K-91 Norte	1,28	1,30	1,47	1,46
K-91 Sur	1,27	1,30	1,34	1,22
K-95	1,39	1,42	2,15	1,78
K-105	1,31	1,28	1,78	1,53
Bacame	1,62	1,66	2,51	1,82
Santini I	1,21	1,53	2,17	1,89
Santini II	1,42	1,48	2,38	1,92
Módulo 10	1,53	1,41	1,56	1,58
Módulo 11	1,48	1,31	1,11	1,46
DOS-B	1,46	1,33	1,95	1,83
Náinari	1,39	1,27	1,35	1,44
Dos	1,59	1,45	1,40	1,48
Cuatro	1,33	1,27	1,49	1,75
4-P-4	1,87	1,74	2,20	2,18
4-P-6	1,71	1,77	1,82	1,99
4-P-8	2,38	1,86	1,67	1,76
4-P-10	1,78	1,84	1,84	2,16
4-P-12	1,36	1,27	1,55	1,77
Seis	1,56	1,38	1,48	1,60
Ocho	1,33	1,33	1,42	1,41
Diez	1,41	1,38	1,57	1,63
P10-Sur	1,38	1,12	1,23	1,56
Doce	1,82	1,44	1,62	1,96
Catorce	1,58	1,29	1,39	1,88
Diceséis	1,58	1,28	1,53	1,81
K-73,5	1,02	1,06	0,89	0,99
Dieciocho	1,40	1,21	1,47	1,73
Diecinueve	1,33	1,07	1,20	1,47
Veinte	1,56	1,26	1,22	1,35
K-88,5	1,74	1,41	1,47	1,67
Veintidós	1,68	1,69	1,70	1,82
Promedio DRRY	1,48	1,34	1,57	1,70

En la figura 3 (pág. 162), se observan los valores obtenidos para cada módulo de riego en el año agrícola 2010/2011 con un promedio del RIS de 1,48 en el distrito, lo cual, al considerar el área agrícola tan extensa y la distribución del recurso a través de las condiciones de la red de canales; se estima como un promedio de riego en exceso.

Aunque al considerar la variación de cada módulo de riego, y al segregarlos, se observan los diferentes niveles de eficiencia en la utilización del recurso agua, a través de las categorías propuestas para este estudio; por tanto, se debe poner en marcha el benchmarking para conocer qué hacen los módulos más eficientes y llegar a ser como ellos. Estos resultados expresan cómo con el indicador RIS, es viable considerar la contribución del recurso agua en función de lo que demandan los cultivos en el área agrícola. En este año agrícola, 17 (40,47%) de los módulos de riego están regando de forma adecuada; y el resto cae en las otras cuatro categorías propuestas. En este caso no existe ninguno que presente riego deficitario.

En la figura 4 (pág. 162), se determina que el año agrícola 2011-2012, fue el más eficiente que el resto de los años analizados.

El promedio del RIS fue de 1,34, y 26 módulos de riego (61,9%) se encuentran en la categoría de un riego adecuado. A pesar de ello, el módulo 01 y el módulo 02 presentan riego deficitario en los últimos tres años analizados, a pesar de ser los dos primeros módulos más cercanos al inicio de la red de canales y consecuente con la distribución del recurso agua; lo cual debe ser considerado

por el mismo distrito de riego, con la finalidad de corregir esta deficiencia.

El resto de los módulos deberá disminuir sus rangos obtenidos, en virtud de que se encuentran por encima de lo adecuado.

Para el año agrícola 2012-2013 disminuye considerablemente la eficiencia del distrito de riego en su conjunto, y por ende en la mayoría de los módulos de riego como se aprecia en la figura 5 (pág. 162). Este año, solamente 11 de los 42 módulos de riego contaron con un riego adecuado (26,19%), lo cual indica que hubo un desajuste para aquellos que venían haciendo las cosas bien.

Se aprecia que siete módulos (16,66%) presentaron un riego en exceso y un módulo de riego presentó un riego muy en exceso. Al no aprovechar adecuadamente el agua de riego, presentará un déficit en los próximos años como se aprecia en la tendencia del siguiente año agrícola y que a la postre no haya alternativa de solución cuando haya escasez del vital líquido en el sistema de presas que irrigan el distrito, además de la explosión demográfica para cubrir las necesidades básicas.

Por último, en la figura 6 (pág. 162), al analizar el año agrícola 2013-2014 se puede indicar que la eficiencia cayó drásticamente en la mayoría de los módulos de riego (88,09%) y solamente cinco módulos contaron con un riego adecuado; incluso se puede indicar que, de estos cinco módulos, dos de ellos (K-63 y K-91 SUR) presentaron en los cuatro años agrícolas analizados un riego adecuado, por lo que se deben considerar más a detalle para analizar a través del benchmarking, qué es lo que están haciendo para contar con esa eficiencia.

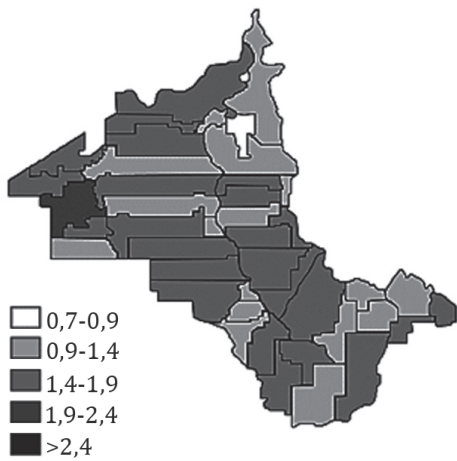


Figura 3. RIS para el año agrícola 2010-2011. Por módulo de riego del Distrito de Riego, México.

Figure 3. RIS for the 2010-2011 agricultural year. For irrigation module of the Irrigation District, Mexico.

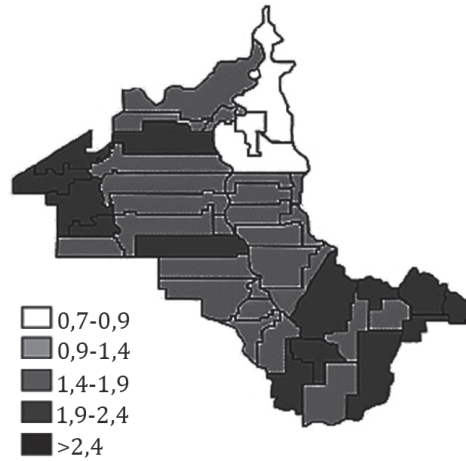


Figura 4. RIS para el año agrícola 2011-2012. Por módulo de riego del Distrito de Riego, México.

Figure 4. RIS for the 2011-2012 agricultural year. For irrigation module of the Irrigation District, Mexico.

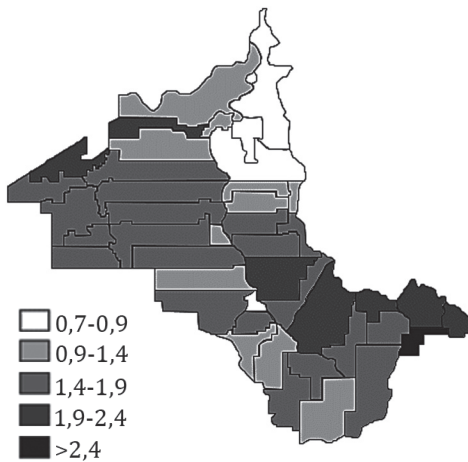


Figura 5. RIS para el año agrícola 2012-2013. Por módulo de riego del Distrito de Riego, México.

Figure 5. RIS for the 2012-2013 agricultural year. For irrigation module of the Irrigation District, Mexico.

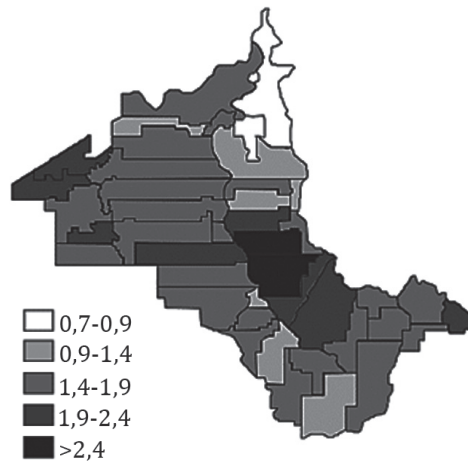


Figura 6. RIS para el año agrícola 2013-2014. Por módulo de riego del Distrito de Riego, México.

Figure 6. RIS for the 2013-2014 agricultural year. For irrigation module of the Irrigation District, Mexico.

Media Ponderada (MP)

Se determinó la media ponderada para el indicador Suministro Relativo de Agua de Riego (RIS) en cada año agrícola analizado, en virtud de que las superficies agrícolas para cada módulo de riego son desiguales, a través de la ecuación 1:

$$MP = \frac{\rho_1 X_1 + \rho_2 X_2 + \dots + \rho_N X_N}{\rho_1 + \rho_2 + \dots + \rho_N} \quad (1)$$

donde:

(X_1, X_2, \dots, X_N) = conjunto de datos

$(\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_N)$ = pesos

X = Valores obtenidos para el Indicador Suministro Relativo de Agua de Riego (RIS) según año agrícola.

P = Porcentaje de la superficie que corresponde a cada módulo de riego en los años agrícolas analizados ¹.

Al realizar el análisis de la media ponderada, se determinó que no existe diferencia significativa con respecto a los cálculos obtenidos en el indicador Suministro Relativo de Agua de Riego

(RIS); lo cual confirma la posición relativa de un módulo con respecto a otros y, analizándolos todos, se detectaron sus debilidades y posibilidades de mejora.

Indicadores de eficiencia en la productividad

La visión actual de los negocios considera que el objetivo principal de las empresas es generar valor.

Para lograr la supervivencia de la empresa este valor debe repartirse equilibradamente entre los clientes, los propietarios y los trabajadores. Si una empresa realiza cambios para mejorar su producción, debe conseguir que las prestaciones de sus productos o servicios aumenten en mayor medida de lo que aumentan los costos en los que incurre para lograr las modificaciones. Esto será posible en la medida en que la conducta de los trabajadores (indicadores de recursos humanos) favorezca las mejoras en los procesos y productos (indicadores productivos) que son necesarias para que la empresa sea rentable (8).

¹ Año agrícola 2010-2011:

$$MP = \frac{3,62 * 1,08 + 4,07 * 1,32 + 0,48 * 1,18 + \dots + 2,20 * 1,56 + 2,55 * 1,74 + 1,85 * 1,68}{3,62 + 4,07 + 0,48 + \dots + 2,20 + 2,55 + 1,85} = 1,50$$

Año agrícola 2011-2012:

$$MP = \frac{3,65 * 0,81 + 4,17 * 0,72 + 0,47 * 1,12 + \dots + 2,12 * 1,26 + 2,63 * 1,41 + 1,91 * 1,69}{3,65 + 4,17 + 0,47 + \dots + 2,12 + 2,63 + 1,91} = 1,34$$

Año agrícola 2012-2013:

$$MP = \frac{3,46 * 0,82 + 4,48 * 0,86 + 0,44 * 1,08 + \dots + 2,07 * 1,22 + 2,48 * 1,47 + 1,82 * 1,70}{3,46 + 4,48 + 0,44 + \dots + 2,07 + 2,48 + 1,82} = 1,57$$

Año agrícola 2013-2014:

$$MP = \frac{3,28 * 0,80 + 3,43 * 0,97 + 0,46 * 1,03 + \dots + 2,10 * 1,35 + 2,59 * 1,67 + 1,99 * 1,82}{3,28 + 3,43 + 0,46 + \dots + 2,10 + 2,59 + 1,99} = 1,72$$

En este contexto, se asumen los indicadores de productividad para el distrito analizado. Los indicadores considerados, proporcionan información importante para la toma de decisiones futuras en el ámbito de la producción agrícola; para lo cual se hará énfasis en el indicador que se detalla a continuación.

Productividad por unidad de agua de riego suministrada

En la medida que el agua se vaya perdiendo, ya sea porque las raíces de las plantas la toman, o porque en la superficie se produce la evaporación, los capilares se van vaciando de acuerdo con su tamaño (22), y al convertir este indicador en términos económicos, donde se precisa el valor total de la producción agrícola (cantidad total recibida por los agricultores, estimado a precios de mercado

local); entre el volumen de agua de riego suministrada a los usuarios (medido en la unión entre el sistema de distribución y la toma del agricultor); se puede indicar que existen grandes variaciones en cada uno de los módulos de riego en función de su producción. Estos valores, mientras mayores sean, mayor será la eficiencia o productividad en el uso del recurso agua, como se muestra en la figura 7.

Es importante la variación de un año a otro, en función de cómo se rigieron los precios agrícolas en el mercado.

En el primer año agrícola analizado, el promedio en el distrito fue de 2,64 pesos por metros cúbicos agua consumida y el módulo 4-P-8 fue el más rentable, donde se pudo obtener un promedio de 5,99 pesos por metro cúbico agua utilizada; y el módulo 4-P-4 fue el menos rentable con un promedio 1,79 por m³ de agua consumida.

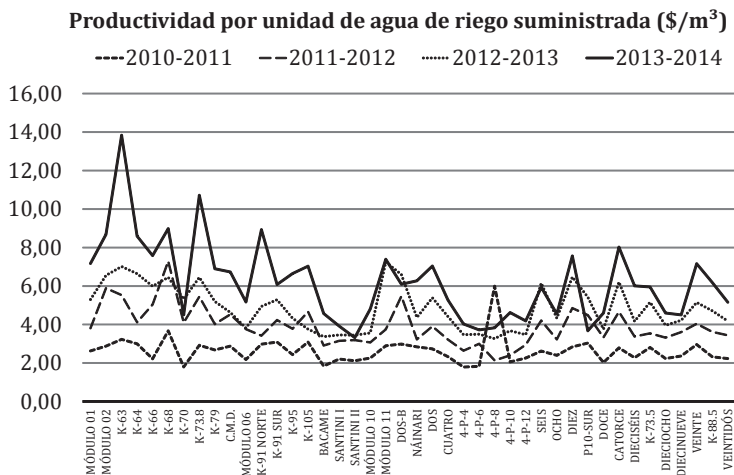


Figura 7. Productividad por unidad de agua de riego suministrada para cada módulo de riego en el Distrito de Riego, México. Por año agrícola. En pesos por metros cúbicos.

Figure 7. Productivity per unit of irrigation water supplied for each module of irrigation at the Irrigation District, Mexico. For the agricultural year. In pesos per cubic meters.

Al analizar el módulo 4-P-8 en el año agrícola 2010-2011 cuando fue el más rentable que el resto de los módulos de riego, con un promedio 7,29 pesos por metro cúbico de agua consumida; se determina que no sembró ni una sola hectárea de trigo y estableció el 67,36% de superficie con otros cultivos (hortalizas), lo que le llevó a contar con un mayor ingreso económico por hectárea producida.

El módulo 4-P-4 sembró el 75,88% de trigo y fue el menos rentable del resto de los módulos de riego.

En el año agrícola 2011-2012 el mejor módulo de riego en cuanto a la productividad de agua fue el K-68, con un promedio 7,29 pesos por metros cúbicos de agua consumida. Se puede observar que sembraron diversos cultivos, es decir, el 20,6% de otros cultivos (hortalizas); el 60% de trigo y el resto de algodón, maíz, alfalfa, cártamo, y garbanzo. El módulo de riego menos productivo fue precisamente el módulo 4-P-8 que había presentado el año anterior ser el mejor, esto debido a que este año revirtió sus cultivos sembrados y solamente consideró un 5,59% de hortalizas y el 63,91% de trigo, lo que redujo sus ingresos totales.

En el año agrícola 2012-2013, se considera el más homogéneo en cuanto a la productividad por unidad de agua de riego, ya que, aunque hubo diferencias, el promedio fue de 4,89 pesos por metros cúbicos.

La productividad de agua para el módulo 11, presentó un promedio de 7,25 pesos por metros cúbicos de agua consumida, estableciendo únicamente el 53,80% de trigo.

En el último año agrícola, existen dos módulos de riego con una alta productividad por unidad de agua de riego suministrada y son el K-63 con una productividad de agua de 13,83 pesos por metros cúbicos de agua consumida;

sembrando 78,05% de trigo y 13,90% de hortalizas y el módulo K-73,8 con una productividad de agua de 10,71 pesos por metros cúbicos de agua consumida; sembrando 72,83% de trigo y un 14,13% de hortalizas. El comportamiento del establecimiento de cultivos, de los módulos que fueron eficientes por lo menos un año, se presenta en la tabla 7 (pág. 166).

Las técnicas de benchmarking

Una vez realizada la investigación, el haber identificado y comparado los resultados, resta que los módulos ineficientes aprendan lo que están haciendo los módulos de riego eficientes.

Si bien, los logros de los módulos eficientes, en cuanto al aumento de la eficiencia y productividad, se deben a varios factores internos y externos; estos se deben replicar en el distrito de riego en su conjunto.

El aplicar el éxito de los eficientes, no es tarea fácil, aunque no imposible y por ello, se hace necesaria la participación de los directivos de cada módulo de riego para que implementen y adecuen situaciones que no favorecen a sus usuarios como se ha analizado.

Los indicadores de gestión son de suma importancia para el proceso de benchmarking. Así, en este proceso de análisis, es haber proporcionado a los módulos de riego la capacidad de comparar su desempeño en relación con ellos mismos. Al analizar los módulos K-63 y K-91 SUR, con el resto de los módulos de riego; se determina que estos dos presentaron un riego adecuado en la aplicación y distribución del agua en sus parcelas, durante los 4 años analizados; lo cual debe ser adaptado por el resto de los módulos que presentan riego en exceso o deficitario.

Tabla 7. Cultivos establecidos en los módulos de riego que fueron eficientes por lo menos un año agrícola.**Table 7.** Established crops in the irrigation modules that were efficient at least on an agricultural year.

Módulo de Riego	Trigo Grano (%)	Maíz (%)	Cártamo (%)	Garbanzo (%)	Otros Cultivos (%)	Algodón (%)	Sorgo (%)	Alfalfa (%)	Frutales (%)	Total (ha)
Ciclo Agrícola 2010-2011										
4-P-8	0,00	16,94	8,15	4,08	67,09	0,00	0,68	2,72	0,34	100
4-P-4	75,89	2,85	6,64	0,66	5,43	0,00	0,00	3,79	4,74	100
Ciclo Agrícola 2011-2012										
K-68	59,57	4,04	1,48	0,39	20,66	3,77	0,27	5,25	4,18	100
4-P-8	63,80	12,74	11,38	0,00	5,59	1,09	0,36	4,10	0,95	100
Ciclo Agrícola 2012-2013										
K-63	78,05	4,60	0,00	0,00	13,90	0,96	0,00	2,49	0,00	100
Ciclo Agrícola 2013-2014										
K-68	50,68	4,70	11,82	5,07	14,08	0,00	0,70	5,91	7,04	100
K-73.8	76,50	2,29	2,29	2,29	16,17	0,00	0,00	0,46	0,00	100

CONCLUSIONES

El estudio de cuatro años agrícolas en el distrito, considerando 42 módulos de riego; a través de 19 indicadores de gestión, permitió caracterizar y clarificar el comportamiento de la eficiencia en el uso de agua de riego. Al analizar el Suministro Relativo de Agua (RWS); se determinaron valores promedio de 1,72; 1,56; 2,28 y 2,20 para los años agrícolas 2010-2011, 2011-2012, 2012-2013 y 2013-2014 respectivamente, lo cual se traduce como un riego por encima de lo requerido por los cultivos, y a la vez se convierte en pérdidas de recursos naturales y económicos en su conjunto.

La mayoría de los módulos de riego sobrepasan la unidad (1,0); mostrando que se estaría regando en exceso, o bien un riego muy en exceso y un riego extremo con estos valores.

El indicador más significativo fue el Suministro Relativo de Agua de riego (RIS); que determinó de manera contundente la

aportación de agua en proporción a las necesidades de los cultivos.

Se estimaron valores promedio en el distrito de 1,48; 1,34; 1,57 y 1,70 para cada año agrícola analizado. Con estos resultados, y en función de los rangos propuestos para el distrito, se aprecia que el año agrícola 2011-2012 fue más eficiente que el resto de los años analizados.

El promedio del RIS fue de 1,34, donde 26 módulos de riego (61,9%) se encuentran en la categoría de un riego adecuado.

Las técnicas de benchmarking permiten identificar que la mayoría de los módulos de riego son ineficientes (66,67%), en su conjunto como distrito para los cuatro años analizados. Algunos años agrícolas cumplen con un uso adecuado del agua de riego y otros no; esto se debe a factores internos y externos que deben ser analizados a mayor detalle en cada uno de los módulos de riego; a través de la metodología de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y

Amenazas (FODA), y precisar las fallas en las que incurren, con la finalidad de mejorar la competitividad, sus rendimientos y por ende su eficiencia; demostrando que existe un alto potencial de mejora.

Los indicadores de rendimiento permiten ajustar los resultados de la eficiencia en la productividad, esto, haciendo uso también de las técnicas de benchmarking, con el fin de que los módulos de riego ineficientes, aprendan lo que están haciendo bien los módulos eficientes, con el propósito de mejorar en ello.

Al contar con información a nivel de módulo de riego, se considera necesario hacer el estudio a nivel de parcela, con la finalidad de conocer a mayor detalle

la variación de eficiencias por módulo de riego y por año agrícola.

Se deben tomar medidas con prontitud, ya que en el año agrícola 2013-2014, el 88,09% de los módulos de riego contaron con un riego inadecuado, y que a la postre se puede tener una gestión del uso de agua de riego equivocada en el distrito para los consecutivos años agrícolas.

Con el propósito de reforzar las precisiones sobre el manejo y uso adecuado del agua de riego en el distrito, se realizará un trabajo, enfocado hacia la competitividad y competencias, desde la perspectiva de productividad y emprendimiento de las actividades tecnológicas innovadoras en la agricultura de riego.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alexander, P. 2002. Benchmarking of the irrigation and drainage sector in México. Report for Mission to Obregon from 19 January to 26 January 2002. Food and Agricultural Organization of the United Nations as part of their International Program for Technology and Research in Irrigation and Drainage.
2. Alexander, P.; Potter, M. 2005. Benchmarking of Australian irrigation water provider businesses 13th September 2005, Beijing, China.
3. Alvarez, A.; Morábito, J. A.; Schilardi, C. O. 2016. Huellas hídricas verde y azul del cultivo de maíz (*Zea mays*) en provincias del centro y noreste argentino. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 48(1): 161-177.
4. Behailu, M.; Tadesse, N.; Legesse, A.; Teklu, D. 2004. Community based irrigation management in the Tekeze Basin: Performance evaluation of small scale Irrigation Schemes. A Case Study on My Nigus Micro Dam in Tigray, Northern Ethiopia. 29 p.
5. Costa da Silva, A. C.; Lima, L. A.; Fernandes de Almeida, W.; Silveira Thebaldi, M.; da Silva, A. C. Tifton 85 production under deficit irrigation. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 49(2): 117-126.
6. Cullinane, K.; Song, D.W.; Ji, P.; Wang, T. F. 2004. An application of DEA Windows analysis to container port production efficiency. Review of Network Economics School of Marine Science & Technology, University of Newcastle. 3(2).
7. Doerr, O.; Sánchez, R. J. 2006. Indicadores de productividad para la industria portuaria. Aplicación en América Latina y el Caribe. Serie recursos naturales e infraestructura. Naciones Unidas. Santiago de Chile. CEPAL. 76 p.
8. García, M. J. A.; García-Sabater, J. J. 2015. Cálculo de indicadores productivos. Departamento de organización de empresas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en: www.ingenieriaindustrialonline.com
9. Johnson, B. G.; Abraham, E. M.; Cony, M. A. 2017. Salinización del suelo en tierras secas irrigadas: perspectivas de restauración en Cuyo, Argentina. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 49(1): 205-215.

10. Malano, H.; Burton, M. 2001. Guidelines for benchmarking performance in the irrigation and drainage sector. International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage. FAO, Roma. 50 p.
11. Minjares, L. J. L.; Salmón, C. R. F.; Valdés, J. B.; Oroz, R. L. A.; López, Z. R. 2009. Índice económico para el manejo interanual del agua: caso del Distrito de Riego 041 Río Yaqui, México. *Ingeniería hidráulica en México*. 24(1): 41-54.
12. Molden, D.; Sakthivadivel, R.; Perry, C. J.; Fraiture, C.; Kloezen, W. 1998. Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems. Research report 20, International Water Management Institute, Colombo. 34 p.
13. Mondragón, P. A. R. 2002. Revista de información y análisis. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México. N° 19.
14. Morábito, J.; Salatino, S.; Hernández, R.; Schilardi, C.; Álvarez, A.; Rodríguez Palmieri, P. 2015. Distribución espacial de la evapotranspiración del cultivo de referencia y de la precipitación efectiva para las provincias del centro-noreste de Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(1): 109-125.
15. Mussetta, P.; Barrientos, M. J. 2015. Vulnerabilidad de productores rurales de Mendoza ante el Cambio Ambiental Global: clima, agua, economía y sociedad. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(2): 145-170.
16. Norris, N. 1991. Evaluación, Economía e Indicadores de Rendimiento. C.A.R.E. (School of Education. University of East Anglia.) U.K. Symposium «Judging Quality in Education», 17th Annual Conferece of the British Educational Research Association, Nottingham Polytecnic 28th-31st August.
17. Ortiz, E. J. E. 2010. Validación y transferencia de la tecnología para el buen uso y manejo del agua de riego en el sur de Sonora. Disponible en: http://www.sifupro.org.mx/agendas/002089-001544-protocolo_proyecto_riegos_fps_2010.doc.
18. Pérez, U. L. 2007. Aplicación de los indicadores para el análisis de las acciones de mejora en zonas regables y para el desarrollo de un modelo de gestión integral del agua de riego. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba, España. Departamento de Agronomía.
19. Ríos Flores, J. L.; Torres Moreno, M.; Castro Franco, R.; Torres Moreno, M. A.; Ruiz Torres, J. 2015. Determinación de la huella hídrica azul en los cultivos forrajeros del DR-017, Comarca Lagunera, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(1): 93-107.
20. Rodríguez Díaz, J. A. 2003. Estudio de la gestión del agua de riego y aplicación de las técnicas de benchmarking a las zonas regables de Andalucía. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba, España. 364 p.
21. Rodríguez Díaz, J. A. 2006. Índices de calidad del riego. Instituto de investigación y formación agraria y pesquera. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Boletín trimestral de información al regante. IFAPA No. 5.
22. Ruiz, H. A.; Oliverio Sarli, G.; Gonçalves Reynaud Schaefer, C. E.; Filgueira, R. R.; Silva de Souza, F. 2016. La superficie específica de oxisoles y su relación con la retención hídrica. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 48(2): 95-105.
23. Santos, L. M.; Otero, B. T. 1998. La aplicación del benchmarking en un sistema de información. *Revistas Ciencias de la Información*. La Habana, Cuba. 29(2):25-31.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Ing. María Guadalupe Chávez Espinoza (†), por la información proporcionada a través del Distrito de Riego No. 041, Río Yaqui. Al Ing. José Ramón Romero Arreola y a Kevin Olascoaga Olmedo nuestro más sincero reconocimiento.

Techos verdes. Contribución de *Carpobrotus Acinaciformis* al manejo integrado de escurrimientos superficiales urbanos *

Green roofs. Contribution of *Carpobrotus Acinaciformis* to the integrated management of urban surface runoff

Gustavo Ariel Villalba¹, Héctor Gustavo Rosatto¹, Fernando Bienvenido², Isabel María Flores-Parra², Guido Fernando Botta^{1,3,4}, Daniel Andrés Laureda¹, Damián Andrés Perez¹

Originales: *Recepción*: 18/08/2016 - *Aceptación*: 24/10/2016

RESUMEN

En el marco de la modelización matemática de las cuencas hídricas urbanas, uno de los parámetros que es necesario conocer, son los factores en la cuenca que pueden modificar la escorrentía superficial. Las Cubiertas Naturadas pueden (a partir de su capacidad de retención y retardo de los escurrimientos originados por las precipitaciones), modificar la escorrentía superficial. Pero en qué medida pueden hacerlo, dependerá de la respuesta de dichas estructuras vegetadas a la cantidad precipitada y esta respuesta será diferente según el tipo de cubierta utilizada (básicamente espesor del sustrato y tipo de vegetación). Por eso en los modelos matemáticos de simulación, la modelización será más precisa en función de la precisión de los datos fuentes utilizados en la misma. El objetivo de este trabajo ha sido determinar la capacidad de retención que presentan las cubiertas naturadas de tipo extensivo e intensivo implantadas con *Carpobrotus acinaciformis*. Los resultados obtenidos permitirían afirmar, para las condiciones estudiadas, que el *Carpobrotus acinaciformis*, puede realizar un aporte a la disminución de los escurrimientos urbanos para ciudades ubicadas en la costa bonaerense como la de este trabajo.

Palabras clave

techos verdes • retención hídrica • modelos de simulación

* El presente trabajo es el resultado de las mediciones efectuadas en el marco del proyecto UBACYT 20020130100752BA.

1 Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Depto. Ingeniería Agrícola y Uso de la Tierra. rosatto@agro.uba.ar

2 Universidad de Almería - Departamento de Informática. La Cañada - 04120, Almería, España.

3 Departamento de Tecnología. Universidad Nacional de Luján.

4 Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de La Pampa. Av. San Martín 4453, Cap. Federal - CP: 1417.

ABSTRACT

In the mathematical modeling of urban watershed, the parameters that are necessary to know, are the factors of the basin that can modify the surface runoff. The green roofs can modify (from its capacity of retention and delay the water flow originated by the rainfalls), the superficial run-off. But the magnitude that they can do it, will depend on the response of the above mentioned green roofs to the rainfalls, and this response will be different according to the type of green roof (basically substrate thickness and type of vegetation). Because of it, in the mathematical simulation models, the modeling will be more precise depending on the precision of the information sources used. The aim of this work has been to determine the capacity of retention that present green roof, extensive and intensive, planted with *Carpobrotus acinaciformis*. The results would allow affirming, for the studied conditions, that the *Carpobrotus acinaciformis*, can realize a contribution to the decrease of the urban runoffs for cities located in the Buenos Aires coast as that of this work.

Keywords

green roofs • water retention • simulation models

INTRODUCCIÓN

Las cuencas son complejos sistemas ambientales donde se desarrollan procesos geomorfológicos, hidrológicos, climáticos y ecológicos, que son impactados por la urbanización (17).

La gestión del agua es equivalente a la gestión de conflictos entre seres humanos y de estos con el entorno. En cuencas donde se asientan poblaciones estos conflictos se agudizan (6).

No existe un solo aspecto de la vida de las sociedades contemporáneas que no se vea influido por el crecimiento de los grandes complejos urbanos, algunos de los cuales ya figuran entre las concentraciones de población y actividades económicas más grandes del mundo (4).

Dourojeanni y Jouravlev (1999), mencionan dentro de los problemas ambientales relacionados con la urbanización, al incremento del coeficiente de escorrentía en las zonas urbanas en comparación con las rurales, debido a una mayor proporción de

áreas impermeables en dichas zonas; y a la disminución del tiempo de concentración en las áreas urbanas, debido a que los flujos son más rápidos, los caudales picos aumentan de dos a cinco veces y con ello el potencial de inundación.

Vilatte *et al.* (2014), sostienen la importancia de generar políticas de desarrollo urbanístico e infraestructura para evitar daños recurrentes en el sector urbano.

El cambio climático ha impuesto retos sobre el manejo de los recursos hídricos en zonas urbanas. Las políticas y el enfoque de la ingeniería deben considerar la adaptabilidad como parte fundamental de la planeación de proyectos hidráulicos (2).

Entre los aspectos a considerar se encuentra la modificación del entorno, que provoca la urbanización. Esto altera los servicios eco-sistémicos que brindan los paisajes, algunos de los cuales, de existir, contribuyen a disminuir los problemas mencionados.

La Planificación Ecológica de los paisajes es una de las disciplinas que puede contribuir sustancialmente a la regulación del proceso de urbanización en áreas ambientalmente sensitivas. Se trata de una disciplina que combina los aportes de la ecología con el análisis espacial aportado esencialmente por la geografía, para proporcionar argumentos, evaluar y predecir los problemas ambientales que afectan a las ciudades latinoamericanas, así como para contribuir a la sustentabilidad de su crecimiento (17).

Gran parte de la hidrología urbana actual, como nuevo paradigma que pueda lograr lo antedicho, propone para el manejo del drenaje urbano, además del sistema de alcantarillado tradicional existente, una serie de medidas que tratan de trabajar sobre el escurrimiento superficial de una manera integrada. Esta serie de prácticas suelen agruparse bajo la denominación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sustentable o Sistemas de Drenaje sostenible (SuDS).

Kellagher *et al.* (2007), mencionan que estos sistemas están diseñados para gestionar los riesgos ambientales resultantes de la escorrentía urbana y contribuir siempre que sea posible a la mejora de la ecología urbana. Por lo tanto los objetivos de los SuDS, son minimizar los impactos del desarrollo urbano sobre la cantidad y calidad de los escurrimientos y maximizar oportunidades de biodiversidad.

Dentro de estas prácticas que se agrupan bajo la denominación de SuDS, se encuentran los Techos verdes o como mencionan Rosatto *et al.* (2013), mejor denominadas como Cubiertas Naturadas, involucra la construcción de espacios verdes "contenidos" encima de una estructura hecha por el hombre. Este espacio verde puede estar sobre, en o debajo del nivel del piso, pero en todos los

casos la vegetación no es plantada en el "suelo natural".

Crespo *et al.* (2010), concluyen en su trabajo que el escurrimiento estudiado, dependió en gran parte de la Cobertura Vegetal.

En las cuencas rurales o agrícolas, uno de los principios de su ordenamiento (1), se centra en el análisis de las capacidades bioclimáticas en las diferentes zonas de la cuenca, a fin de establecer la vegetación protectora contra la erosión, que al mismo tiempo contribuye en la regulación de la lámina de escurrido. Por asociación, se podría decir que el establecimiento de cubiertas naturadas, por su capacidad de retención y retardo del escurrimiento proveniente de las precipitaciones, sería una de las prácticas que contribuiría en la regulación de la lámina de escurrimiento en las cuencas urbanas.

Para el análisis de los beneficios del establecimiento de distintas prácticas integradas para el manejo del drenaje urbano, suelen utilizarse modelos matemáticos, con el fin de estudiar la respuesta de las medidas propuestas ante diferentes rangos de precipitaciones.

GelmiySeoane (2013), mencionan que la revisión bibliográfica (por ellos realizada), muestra que los modelos hidrológicos y de calidad de agua determinísticos, para su aplicación en cuencas, requieren información muy detallada de las variables.

La bibliografía menciona, que para las cubiertas vegetadas o naturadas, tanto de tipo extensivo como intensivo, se reportan distintos beneficios, uno de ellos es: la capacidad de retener y retardar las aguas pluviales, lo que reduce los riesgos de inundaciones urbanas.

En el contexto actual de Cambio Climático, es importante estudiar el comportamiento de las Cubiertas Vegetadas en cuanto a la capacidad real,

mencionada, de contribuir a la disminución o retardo del escurrimiento superficial, para realizar un aporte a una de las variables de estudio que es necesario conocer en el marco de la modelización matemática de la simulación comportamiento superficial en cuencas urbanas.

Rosatto *et al.* (2015) citando a Perahia (2011), mencionan que los efectos del cambio climático y de los procesos de crecimiento urbano provocaron un deterioro ambiental en la Región Metropolitana Buenos Aires. Los peligros que esto conlleva se tornan menos predecibles debido a los mencionados cambios en el clima.

La variabilidad climática puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropogénicas (variabilidad externa) (2014).

En Argentina, Rosatto *et al.* (2010, 2013, 2015), para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, reportaron en sus estudios, datos sobre la capacidad de retención de las Cubiertas Naturadas (tanto de tipo extensivo como Intensivo), ante distinta pluviometría de las precipitaciones, encontrando una tendencia positiva de acuerdo con el tipo de vegetación utilizada. En sus trabajos los mayores porcentajes de retención fueron determinados para especies del género *Sedum* (*S. pachyphyllum*, *S. spurium* y *S. acre*) y para *Carpobrotus edulis*. Todas Crasuláceas.

Sin embargo, Re y Menéndez (2007), en un trabajo donde analizaron las respuestas de un modelo de simulación de grandes ondas de tormenta, menciona que, las zonas costeras, y especialmente las ciudades ubicadas en ellas, están amenazadas por una amplia variedad de peligros relacionados con el clima.

Objetivo

Determinar la capacidad de retención hídrica (en forma indirecta a partir de la percolación) de parcelas de simulación de cubiertas naturadas de tipo intensivo y extensivo implantadas con *Carpobrotus acinaciformis*, en una localidad de la costa atlántica bonaerense.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en la localidad de Ostende sita en: 37°7'33,10" S y 56°53'3,12" O, en el partido de Pinamar, en la provincia de Buenos Aires-Argentina (figura 1, pág. 173).

Establecimiento del ensayo

La materialización de cubiertas vegetadas en una ciudad se encuentra condicionada (técnicamente), cuando se trata de construirlas sobre estructuras ya existentes, y que en su cálculo no han contemplado el peso extra que representa la instalación de la cubierta (19).

El sobrepeso que estas cubiertas generan en la edificación, varía según sea el tipo de cubierta: Extensiva (menor profundidad de sustrato) entre 80-210 kg/m² e Intensiva (mayor profundidad de sustrato) tienen un peso superior a 210kg/m². Esto presenta el desafío de desarrollar alternativas para los edificios y casas ya construidas, que soportan un menor sobrepeso, dado que no fueron construidos "pensando" en la instalación posterior de un techo verde. En estas viviendas la alternativa son las cubiertas vegetadas de tipo "extensivo" (20), con profundidad de sustrato menor a 15 cm y que generalmente requieren mantenimiento mínimo.

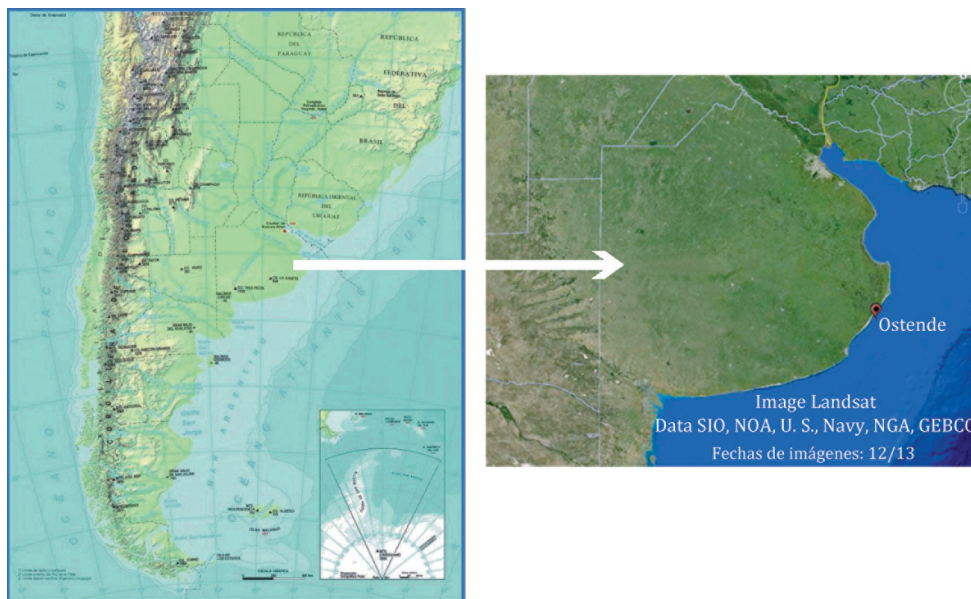


Figura 1. Ubicación geográfica del sitio de ensayo (Fuente IGN e imagen Landsat de Google earth).

Figure 1. Geographical location of test site (Source IGN and Landsat image from Google earth).

El ensayo se montó sobre la terraza de un edificio de la ciudad, donde no existe ningún tipo de interferencia de arbolado o de construcciones que pudieran interceptar las lluvias.

En la mencionada terraza se ubicaron, en forma aleatoria, parcelas de simulación de techos verdes, constituidas por "macetones" de fibrocemento de 0,50 x 0,50 metros y alturas de 35 y 20 cm.

Todas las parcelas fueron niveladas a fin de que cuenten con pendiente hacia el desagüe de las mismas.

Para establecer el desagüe de cada parcela de simulación, se realizó una perforación en las cubetas en uno de sus ángulos, en el mismo se sujetaron varillas roscadas huecas de $\frac{1}{2}$ " mediante tuercas, arandelas y pegamento siliconado (para evitar pérdidas) (figura 2, pág. 174).

Adosada a la varilla (en la parte inferior de la cubeta) se insertó una manguera de plástico transparente, conectada a un bidón de 30 litros, ubicado en la parte inferior, a fin de coleccionar el agua drenada de la parcela. Cada bidón se identificó con un número que corresponde a la cubeta a la cual está conectada.

Colocación de las capas de los sustratos en las parcelas

Aquí se quiere dejar sentado que algunos de los sustratos sugeridos por la bibliografía, no se comercializan en Argentina, por lo que se reemplazaron por materiales "locales" en función de evaluar la viabilidad de la metodología con los insumos disponibles en el mercado en el sitio de estudio.

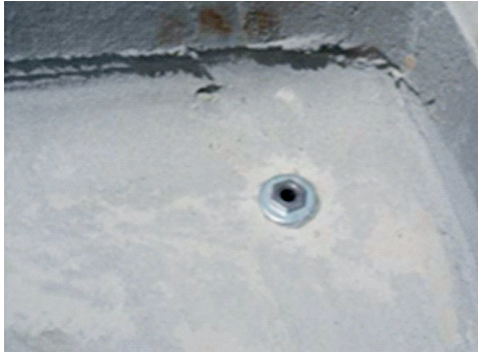


Figura 2. Detalle del dispositivo de desagüe de cada parcela (fuente propia).

Figure 2. Detail of each plot drain device (own source).

Asimismo, parte de la bibliografía reciente, por ejemplo Vanwalleghem *et al.* (2015) mencionan que, en la capacidad total de retención de agua de los sustratos de los techos verdes, el tipo de sustrato no tiene gran influencia en el porcentaje retenido.

Bianchini and Hewage (2012), mencionan que la nueva tecnología permitió el uso de polietileno de baja densidad (polímeros) y materiales de polipropileno con un peso reducido en los techos verdes. Sostienen que estos materiales tienen efectos negativos para el ambiente, por lo que, concluyen, los actuales materiales de techos verdes necesitan ser reemplazados por productos más ecológicos y sostenibles. Por esta razón, tampoco se utilizaron estos materiales.

Los sustratos, se colocaron en forma de capas desde el fondo del macetón (de mayor a menor granulometría). Los sustratos o capas utilizadas fueron:

- Piedra partida o "granza"
- Arcilla expandida "mini leca"
- Arena Oriental de textura gruesa
- Sustrato Superior; se utilizó arena del sitio donde crece naturalizada la especie estudiada.

Vegetación

En cuanto a las especies a utilizar en los techos verdes, tomando en cuenta que los mismos se construyen sin riego, y se encuentran sujetos a condiciones frecuentes de estrés hídrico, la bibliografía recomienda el uso de Crasuláceas.

La elección de especies con capacidad de adaptación a recursos limitados es un criterio fundamental desde el enfoque de la sustentabilidad (Carrieri *et al.*, 1996, citado por Martínez *et al.*, (2013)).

La capacidad de ocupación de hábitats secos, ha sido favorecida por el desarrollo de la capacidad de fijación nocturna de CO₂ (Metabolismo CAM) (12).

CAM es un acrónimo de Crassulaceae Acid Metabolism (Metabolismo Ácido de Crassulaceae), que es un tipo de metabolismo de fijación de carbono caracterizado por la acumulación de ácidos orgánicos durante la noche. Semejante al metabolismo C₄, pero en CAM la separación de las dos carboxilaciones no es espacial (C₄) sino temporal (21).

El resultado es que la apertura estomática y la fijación de CO₂ ocurren durante la noche, cuando la demanda evaporativa de la atmósfera es menor, y la fotosíntesis de carbohidratos se produce al día siguiente. Por ello la eficiencia de uso de agua (cantidad de materia orgánica sintetizada por unidad de agua transpirada) es mucho mayor en aquellas plantas que poseen este tipo de metabolismo (12).

En Argentina, han sido reportadas dos especies con este metabolismo: *Carpobrotus edulis* y *Carpobrotus acinaciformis* (13, 16).

Estas especies están naturalizadas en el área de estudio y una buena descripción botánica de ellas ha sido realizada por Portela Carballeira (2015).

El mencionado autor, menciona que *Carpobrotus edulis* es una especie vegetal perteneciente a la familia Aizoaceae. La especie es originaria de Sudáfrica, pero en la actualidad se encuentra presente en todas las zonas templadas del mundo, especialmente en ecosistemas costeros (incluyendo tanto dunas como costa rocosa). Se trata de una planta camefita, pluricaule y reptante, alcanzando los tallos una longitud de hasta 2 m, radicales, muy ramificados y subcilíndricos. Las hojas son de color verde vivo, a veces púrpura en los extremos, ahusadas, con textura cérea y sección transversal en triángulo equilátero, curvadas hacia arriba, de alrededor de 10 cm de largo.

En suelos muy salinos, pueden desarrollar una especie de costra salina que les da un color superficial blanquecino. Posee metabolismo CAM, propio de las plantas crasuláceas. Las flores son muy llamativas, tienen de 6 a 9 cm de diámetro, numerosos pétalos imbricados de color rosado o amarillento, con cinco tépalos.

Respecto de *Carpobrotus acinaciformis*, Portela Carballeira (2015), sostiene que esta planta se encuentra emparentada

con *C. edulis*, procede de Sudáfrica y muchas de sus características fisiológicas y morfológicas son similares.

Se trata de un caméfito suculento y reptante, pluriacaule, con los tallos largos y radicales y las ramas cortas con numerosas hojas. Estas son opuestas, sésiles, curvadas, generalmente glaucas. La diferencia fundamental con *C. edulis* es que las hojas de este tienen forma de triángulo equilátero, mientras que las de *C. acinaciformis* presentan sección transversal en triángulo isósceles (Suehs *et al.*, 2004, citado por Portela Carballeira (2015)). Además, la flor de *C. acinaciformis* siempre es de color púrpura.

Flores grandes, de 7-10 cm de diámetro, solitarias, de color púrpura, con 5 tépalos. Soporta bien la sequía y la salinidad pero no las heladas. Necesita exposiciones a pleno sol para crecer.

Tomando en cuenta que *Carpobrotus edulis*, había sido utilizada en la investigación reportada por Rosatto *et al.* (2015), en este ensayo las parcelas se vegetaron con plántulas de *Carpobrotus acinaciformis*, a fin de evaluar su comportamiento (figuras 3 y 4, pág. 176).

Tratamientos

Se realizaron cuatro repeticiones de cada una de las combinaciones (8), con un diseño completamente aleatorizado (tabla 1, pág. 176).

La determinación del escurrimiento posterior a cada lluvia, se realizó mediante la medición del agua de cada recipiente (correspondiente a cada una de las parcelas) y se determinó el porcentaje de retención de cada combinación (en forma indirecta a partir del agua percolada) respecto del testigo, luego de cada evento de lluvia.

Con los datos obtenidos, se realizó un ANVA con el método de comparación de Duncan y un nivel de significación de 0,99.



Figura 3. Implantación de *Carpobrotus acinaciformis* - parcelas "extensiva" e "intensiva" (fuente propia).

Figure 3. Plantation of *Carpobrotus acinaciformis* - plots "extensive" and "intensive" (own source).



Figura 4. Detalle de *Carpobrotus acinaciformis* creciendo en las parcelas (fuente propia).

Figure 4. Detail of *Carpobrotus acinaciformis* growing in plots (own source).

Tabla 1. Tratamientos.

Table 1. Treatments.

Vegetación / Tratamiento	Con <i>Carpobrotus acinaciformis</i>	Con <i>Carpobrotus acinaciformis</i>
Sin sustrato (Testigo)		X
Con sustrato de 15 cm de espesor (extensivo)	X	X
Con sustrato de 30 cm de espesor (intensivo)	X	X

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos obtenidos, de los porcentajes de agua de lluvia retenida, respecto del testigo, pueden apreciarse en la tabla 2.

En primer lugar se estudió estadísticamente si existían diferencias significativas entre las parcelas de simulación de Cubiertas Naturadas de tipo "intensivo" y "extensivo", para los intervalos de lluvia estudiados.

Los resultados, muestran que para la capacidad de retención analizada, existen diferencias significativas para todos los intervalos (de precipitaciones) estudiados entre ambos tipos de Cubiertas Naturadas. Esto va de la mano con lo sostenido por la mayoría de la bibliografía consultada.

Rango 0 - 20 mm

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
0 - 20	70	0,84	0,84	8,80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM
Modelo	2654,05	1	2654,05
Repeticiones	2654,05	1	2654,05
Error	581,09	14	41,51
Total	3235,15	15	

F.V.	F	p-valor
Modelo	63,94	<0,0001
Repeticiones	63,94	<0,0001
Error		
Total		

Test: Duncan Alfa = 0,01

Error: 38,1174 gl: 68

Repet	Medias	n	E.E.		
1	84,20	35	1,04	A	
2	56,04	35	1,04		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,01).
 Statistical average with a common letter are not significantly different (p > 0.01).

Rango 21 - 40 mm

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
21 - 40	16	0,82	0,81	9,36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM
Modelo	13877,81	1	13877,81
Repeticiones	13877,81	1	13877,81
Error	2591,98	68	38,12
Total	16469,79	69	

F.V.	F	p-valor
Modelo	364,08	<0,0001
Repeticiones	364,08	<0,0001
Error		
Total		

Test: Duncan Alfa = 0,01

Error: 41,5067 gl: 14

Repet	Medias	n	E.E.		
1	81,69	8	2,28	A	
2	55,93	8	2,28		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,01).
 Statistical average with a common letter are not significantly different (p > 0.01).

Tabla 2. Porcentaje de retención de las parcelas respecto del testigo.

Table 2. Percentage of retention of the plots compared to the witness.

Tratamiento	Precipitación (en mm)			
	0 - 20	21 - 41	42 - 60	61 - 80
<i>Carpobrotus acinaciformis</i> (Intensivo)	84% (σ = 5,6)	82% (σ = 6,2)	84% (σ = 2,5)	77% (σ = 1,0)
<i>Carpobrotus acinaciformis</i> (Extensivo)	56% (σ = 6,7)	56% (σ = 4,0)	52% (σ = 4,5)	35% (σ = 2,8)

Rango 41 - 60 mm*Análisis de la varianza*

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
41 - 60	14	0,96	0,95	5,40

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM
Modelo	3611,25	1	3611,25
Repeticiones	3611,25	1	3611,25
Error	161,86	12	13,49
Total	3773,11	13	

F.V.	F	p-valor
Modelo	267,74	<0,0001
Repeticiones	267,74	<0,0001
Error		
Total		

Test:Duncan Alfa = 0,01

Error: 13,4880 gl: 12

Repet	Medias	n	E.E.	A	B
1,00	84,13	7	1,39	A	
2,00	52,01	7	1,39		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$)

Statistical average with a common letter are not significantly different ($p > 0.01$).

Rango más de 60 mm*Análisis de la varianza*

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Mayor a 60	14	1,00	1,00	0,11

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM
Modelo	6174,00	1	6174,00
Repeticiones	6174,00	1	6174,00
Error	0,05	12	3,9E-03
Total	6174,05	13	

F.V.	F	p-valor
Modelo	1576340,43	<0,0001
Repeticiones	1576340,43	<0,0001
Error		
Total		

Test:Duncan Alfa = 0,01

Error: 0,0039 gl: 12

Repet	Medias	n	E.E.	A	B
1	77,00	7	0,02	A	
2	35,00	7	0,02		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$)

Statistical average with a common letter are not significantly different ($p > 0.01$).

En segundo término, se determinó si existían diferencias significativas entre los resultados del porcentaje retenido de agua de lluvia, para los intervalos de precipitaciones, para las cubiertas de tipo "Intensivo", e igualmente para las de tipo "extensivo".

El análisis estadístico para las parcelas de simulación de cubiertas de tipo "intensivo", muestra que no existen diferencias significativas, en cuanto a la capacidad de retención, para los intervalos de lluvia de 0-20 mm, 21 a 40 mm y 41 a 60 mm, en cambio sí existen para el último intervalo de más de 60 mm.

Cubierta de tipo "Intensivo"*Análisis de la varianza*

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Columna 2	12	0,93	0,90	1,10

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM
Modelo	82,16	3	27,39
Repeticiones	82,16	3	27,39
Error	6,42	8	0,80
Total	88,58	11	

F.V.	F	p-valor
Modelo	34,11	<0,0001
Repeticiones	34,11	<0,0001
Error		
Total		

Test: Duncan Alfa = 0,01
Error: 0,8030 gl: 8

Columna 1	Medias	n			
1,00	84,20	3	0,52	A	
2,00	82,00	3	0,52	A	
3,00	81,66	3	0,52	A	
4,00	77,01	3	0,52		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$)

Statistical average with a common letter are not significantly different ($p > 0.01$).

El análisis estadístico para las parcelas de simulación de cubiertas de tipo "intensivo", muestra que no existen diferencias significativas, en cuanto a la capacidad de retención, para los intervalos de lluvia de 0-20 mm, 21 a 40 mm y 41 a 60 mm, en cambio sí existen para el último intervalo de más de 60 mm.

En cuanto a las de tipo "extensivo", el estadístico, permite afirmar que no hay diferencias para los dos primeros intervalos (0-20 mm y 21-40 mm), pero sí con el tercero (41-60 mm) y de este con el cuarto intervalo (más de 60 mm).

Cubierta de tipo "Extensivo"

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Columna 2	12	1,00	1,00	0,20

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM
Modelo	930,72	3	310,24
Repeticiones	930,72	3	310,24
Error	0,08	8	0,01
Total	930,80	11	

F.V.	F	p-valor
Modelo	31023,99	<0,0001
Repeticiones	31023,99	<0,0001
Error		
Total		

Test: Duncan Alfa = 0,01
Error: 0,0100 gl: 8

Columna 1	Medias	n			
1,00	56,04	3	0,06	A	
2,00	55,93	3	0,06	A	
3,00	52,01	3	0,06		B
4,00	34,67	3	0,06		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$)

Statistical average with a common letter are not significantly different ($p > 0.01$).

Respecto de los datos de la tabla 2 (pág. 177), los resultados observados en este estudio, así como los mencionados en la bibliografía van en línea con el hecho observado generalmente de una disminución de la retención con el aumento de la precipitación.

Aunque en el presente trabajo los resultados son algo menores que los observados por Rosatto *et al.* (2015), para el intervalo de 0 a 20 mm.

Este alto porcentaje de retención ante lluvias relativamente pequeñas, encuentra su explicación de acuerdo con la bibliografía (2005). Para condiciones secas del sustrato, se requiere entre 6 y 12 mm de lluvia para iniciar la escorrentía, mientras que para condiciones de saturación, la respuesta es más lineal.

En el trabajo de Rosatto *et al.* (2015), el sustrato utilizado (capa superior) fue un sustrato orgánico compuesto, que "necesita" para comenzar el drenaje, una pluviometría mayor que el sustrato de arena utilizado en esta investigación. Esto permitiría acordar con que lo aseverado por Vanwalleghem *et al.* (2015), respecto de que en la capacidad total de retención de agua de los sustrato de los techos verdes, el tipo de sustratos no tiene gran influencia en el porcentaje retenido, no sería del todo cierto.

Respecto de los resultados obtenidos para los otros intervalos de precipitaciones, en este ensayo la capacidad de retención ha sido más estable que en el estudio mencionado de Rosatto *et al.* (2015).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permitirían afirmar, para las condiciones estudiadas, que *Carpobrotus acinaciformis*, puede

realizar un aporte a la disminución de los escurrimientos urbanos, como vegetación a utilizar en cubiertas naturadas para ciudades ubicadas en la costa bonaerense como la de este trabajo.

Los porcentajes de retención obtenidos ante los distintos intervalos de lluvia analizados pueden significar un aporte a las variables a estudiar en el marco de la modelización matemática de simulación de inundaciones urbanas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguirre, J. Á. M.; Sánchez, J. C. R. 1994. Caracterización de las cuencas hidrográficas, objeto de restauración higrológico-forestal, mediante modelos hidrológicos. *Ingeniería del agua*. 1(2): 69-82.
2. Ávila, H. 2012. Perspectiva del manejo del drenaje pluvial frente al cambio climático-caso de estudio: Ciudad de Barranquilla, Colombia. *Revista de Ingeniería*. 36: 54-59.
3. Bianchini, F.; Kasun, H. 2012. How green are the green roofs? Life cycle analysis of green roof materials. *Building and Environment*. 48: 57-65.
4. CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 1992. El manejo del agua en las áreas metropolitanas de América Latina. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Chile. 19 p.
5. Crespo, R. J.; Sfeir, A.; Usunoff, E.; Ares, G.; Wingeyer A. B. 2010. Efecto de la labranza y la cobertura vegetal sobre el escurrimiento y la pérdida de suelo en la región central dela provincia de Buenos Aires. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 42(1): 93-106.
6. Dourojeanni, A.; Jouravlev, A. 1999. Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos. CEPAL. 176 p.
7. Farreras, V. 2014. Valoración económica de los efectos de la presión antrópica sobre el piedemonte mendocino. Una aplicación de los experimentos de elección discreta. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 46(2): 113-133.
8. Forrester, K.; Jost, V.; Luckett, K.; Morgan, S.; Yan, T.; Retzlaff, W. 2006. Evaluation of Storm Water runoff from a midwest green roof system. Illinois State Academy of Science Annual Meeting, Chicago. Published by Green Roof Environmental Evaluation Network. 5 p.
9. Gelmi, M. E.; Seoane, R. S. 2013. Modelos determinístico y probabilístico para la estimación de la carga de nitratos en una cuenca rural. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 45(2): 245-255.
10. Kellagher, R.; Martin, P.; Jefferies, C.; Bray, R.; Shaffer, P. 2007. The SUDS manual. London. 697: 599 p.
11. Martínez, C. F.; Cavagnaro, J. B.; Roig Juárez, F. A.; Cantón, M. A. 2013. Respuesta al déficit hídrico en el crecimiento de forestales del bosque urbano de Mendoza. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 45(2): 47-64.
12. Medina, E. 1990. Eco-fisiología y evolución de las Bromeliaceae. *Boletín de La Academia Nacional de Ciencias, Córdoba*. 59(1-2): 71-100.
13. O'Rourke, E.; Lysaght, L. 2014. Risk assessment of *Carpobrotus edulis*. National Biodiversity Data Centre - Documenting Ireland's Wildlife. 28 p.

14. Portela Carballeira, R. 2015. Importancia de la integración clonal en los procesos de invasiones biológicas: un trabajo experimental con *Carpobrotus* sp. Trabajo Fin de Máster, Master Universitario en Ciencias, Tecnologías y Gestión Ambiental. Universidad de La Coruña.
15. Re, M.; Menéndez, Á. 2007. Impacto del Cambio Climático en las Costas del Río de la Plata. Revista Internacional de Desastres Naturales. 7(1): 25-34.
16. Robert, H.; Lafontaine, R. M.; Beudels, R. C.; Delsinne, T. 2013. Risk analysis of the Hottentot Figs *Carpobrotusedulis* (L.), *C. acinaciformis* (L.). Risk analysis report of non-native organisms in Belgium from the Royal Belgian Institute of Natural Sciences for the Federal Public Service Health, Food chain safety and Environment. 35 p.
17. Romero, H.; Vásquez, A. 2005. Evaluación ambiental del proceso de urbanización de las cuencas del piedemonte andino de Santiago de Chile. Revista EURE, Vol. XXXI, N° 94. 97-117.
18. Rosatto, H.; Laureda, D.; Pérez, D.; Barrera, D.; Meyer, M.; Gamboa, P.; Villalba, G.; Friedrich, M.; Bargiela, M.; Rodríguez Plaza, L.; Calvo, G.; Miranda, M. B.; Iñigo, M.; Quintenne, E. 2010. Eficiencia de la retención hídrica de las cubiertas vegetadas. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Mendoza. Argentina. 42(1): 213-219.
19. Rosatto, H.; Meyer, M.; Laureda, D.; Cazorla, L.; Barrera, D.; Gamboa, P.; Villalba, G.; Bargiela, M.; Pruzzo, L.; Rodríguez Plaza, L.; Mazzeo, N.; Caso, C.; Rocca, C.; Hashimoto, P.; Kohan, D.; Quintenne, E. 2013. Eficiencia en la retención del agua de lluvia de Cubiertas Vegetadas de tipo "Extensivo" e "Intensivo". Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 45(1): 169-183.
20. Rosatto, H.; Moyano, G.; Cazorla, L.; Laureda, D.; Meyer, M.; Gamboa, P.; Bargiela, M.; Caso, C.; Villalba, G.; Barrera, D.; Pruzzo, L.; Rodríguez Plaza, L.; Oliveri, A.; Waslavsky, A.; Hashimoto, P.; Kohan, D. 2015. Cubiertas Vegetadas de tipo "Extensivo" - Eficiencia en la retención del agua de lluvia de distinto tipo de Vegetación Implantada. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(2): 123-134.
21. Tormo Molina, R. 2014. Plantas y Hongos. Universidad de Extremadura. Disponible en: <http://www.plantasyhongos.es/index.htm>.
22. Vanwallegghem, T.; Hayas, A.; Peña, A.; Jiménez-Quiñones, D.; Sánchez, D.; Giráldez, J. V. 2015. Análisis de la escorrentía, la percolación y la evaporación en techos verdes usando áridos reciclados como sustrato. IV Jornadas de Ingeniería del agua, la precipitación y los procesos erosivos. Córdoba, España. 10 p.
23. Vilatte, C.; Aguas, L.; Confalone, A. 2014. Influencia de los ciclos solares sobre las precipitaciones en Azul, provincia de Buenos Aires. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 46(1): 227-233.
24. Villarreal E. L.; Bengtsson, L. 2005. Response of a Sedum green-roof to individual rain events. Ecological Engineering. 25(1): 1-7.

Are there any differences in carbon concentration among species of high conservation value forests in Northern Mexico?

¿Hay variaciones en la concentración de carbono entre especies de bosques de alto valor de conservación en el norte de México?

Diego Hernández-Vera ¹, Marín Pompa-García ^{1*}, Christian Wehenkel ², Gustavo Pérez-Verdín ³, Artemio Carrillo-Parra ²

Originales: *Recepción*: 14/02/2017 - *Aceptación*: 25/08/2017

ABSTRACT

Despite the publication of numerous studies about carbon (C) concentration in various tree components, few have investigated the C variation in spatially restricted tree species. We evaluated differences in C concentrations among four conifer species of High Value Conservation Forests (HVCF) in northern Mexico. Total carbon concentration (TOC) analyses were performed for *Cupressus lusitanica* Mill, *Picea chihuahuana* Mtz., *Abies durangensis* Mtz., and *Pseudotsuga menziesii* Mirb. Carbon concentration varies within the structural tree component, but no significant difference was found when the aerial samples were classified based on the point of cardinal extraction from where they were taken. The species, *P. menziesii*, *A. durangensis*, and *P. chihuahuana* showed the lowest C concentration in the stems, while *C. lusitanica* had the highest.

Keywords

carbon-storage • carbon flux • tree compartments • cardinal direction

-
- 1 Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED). Av. Papaloapan, Blvd. Durango, Valle Del Sur. Durango México. 34120. diegozhv@hotmail.com, *mpgarcia@ujed.mx
 - 2 Instituto de Silvicultura e Industria de la madera, Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED).
 - 3 Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional (IPN). Durango, México.

RESUMEN

A pesar de la publicación de numerosos estudios sobre la concentración de carbono (C) en diversos componentes del árbol, pocos han investigado la variación entre especies de distribución restringida y sus componentes. Se investigaron las diferencias en las concentraciones de C entre las cuatro especies de coníferas de alto valor de conservación (Bosques HVCF) en el norte de México. Se realizó un análisis de la concentración total de carbono (TOC) para *Cupressus lusitanica* Mill., *Picea chihuahuana* Mtz., *Abies durangensis* Mtz., y *Pseudotsuga menziesii* Mirb. La concentración de C varía dentro del componente estructural de árbol, pero no se encontró ninguna diferencia significativa en la concentración de C según la orientación de la extracción cardinal de muestras de tejidos aéreos. Las especies, *P. menziesii* Mirb., *A. durangensis* Mtz. y *P. chihuahuana* Mtz., resultaron tener la menor concentración de contenido de carbono en los tallos, mientras que *C. lusitanica* Mill. tuvo la mayor.

Palabras clave

almacenamiento-carbono • flujo de carbono • compartimentos de árboles • orientación cardinal

INTRODUCTION

Forest ecosystems are the major biological sink of atmospheric CO₂, capable of mitigating part of the emissions of this greenhouse gas (7, 8). Global forest ecosystems account for approximately 90% of the annual carbon (C) flux between the atmosphere and terrestrial ecosystems (5, 9). Nevertheless, several studies around the world report that ongoing global climate change could alter forests, from composition to structure (2, 12). Therefore, the forest ecosystems are decreasing their capacity to mitigate the imminent hazardous effects of global warming by acting as global carbon sinks (8, 24).

Among forest ecosystems, high conservation value forests (HCVF) are those areas of outstanding and critical importance due to their environmental, socio-economic, cultural, biodiversity, and landscape value (4) (<https://ic.fsc.org/en/what-is-fsc/what-we-do/strengthening-standards/high-conservation-values>). HCVF were

first defined by a non-profit organization for use in forest certification. The concept is increasingly being used for other purposes, such as conservation and natural resource planning, landscape mapping, and the promotion of social values (1, 4).

In this regard, accurate knowledge of carbon (C) concentration in forest biomes is crucial for converting estimates of forest biomass into forest C stocks (36).

In the vast majority of assessments, C concentration has been assumed 50% of tree biomass (20). However, recent prominent efforts have sought to demonstrate that wood C concentration is highly variable among co-occurring species (36).

Noticeable forest C accounting methodologies (18, 21, 22) suggest to fraction field samples into tree components (*e.g.*, leaves, twig, branches, trunk, bark and roots), then perform chemical analyses

of these tissues. For instance, Martin and Thomas (2013), extracted 190 cores from 59 native trees species in Central America. Figueroa *et al.* (2005) sampled trees from Southern Mexico using a destructive approach. In a similar study, Yerena *et al.* (37) studied compartments of trees and shrub species on Tamaulipan thornscrub.

Recently, Yerena *et al.* (2012b) evaluated C concentration in the stem of 21 species of conifers growing in the northeastern part of Mexico. All these studies were carried out dismissing the cardinal direction of samples, and ultimately, sample size. To our knowledge, all previous works in Mexican ecosystems followed the methodology of Gayoso and Guerra (2005), which consists of collecting samples from the cardinal points. Consequently, it is necessary to test whether samples are statistically different from the four cardinal points. Furthermore, correlation of C concentrations among components are proof of certain physiological processes within the components (30). Consequently, this association could improve the understanding of carbon flux among different components.

In Northern Mexico, there is a relict forest where four representative tree species are co-occurring: *Picea chihuahuana* Mtz, *Abies durangensis* Mtz, *Cupressus lusitanica* Mill, and *Pseudotsuga menziesii* Mirb. This particular ecosystem has been considered a high conservation value forest (HCVF) and was recently certified by a non-profit organization dedicated to the promotion of responsible forest management worldwide.

The area is characterized by other pine-oak associations, having above-average precipitation rates, and providing exceptional scenic beauty. It is a high-conservation value forest free of recent management plans (*e.g.*, logging) according to the Local Forest Management Program (1, 4).

For these reasons, this HCVF constitutes an ideal experimental site for dynamic C assessment in forests. Furthermore, studying species from this HCVF could improve knowledge on the issue at hand. By hypothesizing that concentrations of C among components and species are statistically different, and some linear relationships among them are expected, we aimed to examine the differences of C concentrations in these species. To the best of our knowledge, no such effort has been made to date. Therefore, we attempted to (1) explore whether there is a significant variation of C concentration according to the four cardinal directions (*i.e.*, N, W, E, S) (2), assess if there is a significant variation among species and components, and (3) to quantify correlations in C concentration among tree compartments.

MATERIALS AND METHODS

Study area

The study area is located in the Sierra Madre Occidental, which represents an important protected forest that includes rare conifers, such as the genera *Picea*, *Abies*, *Cupressus* and *Pseudotsuga*, which occur as protected relicts that have a high conservation status (1).

The mixed-conifer forests usually also include one or two *Pinus* species (*P. durangensis*, *P. leiophylla*, *P. strobiformis*, and/or *P. pseudostrobus*) that are often associated with *Quercus* and *Arbutus* species (1).

The specific site is a highly preserved location in south-central Durango and belongs to a common-based property known as El Brillante (figure 1, page 186).

The Santa Bárbara site is considered as a community-protected area.

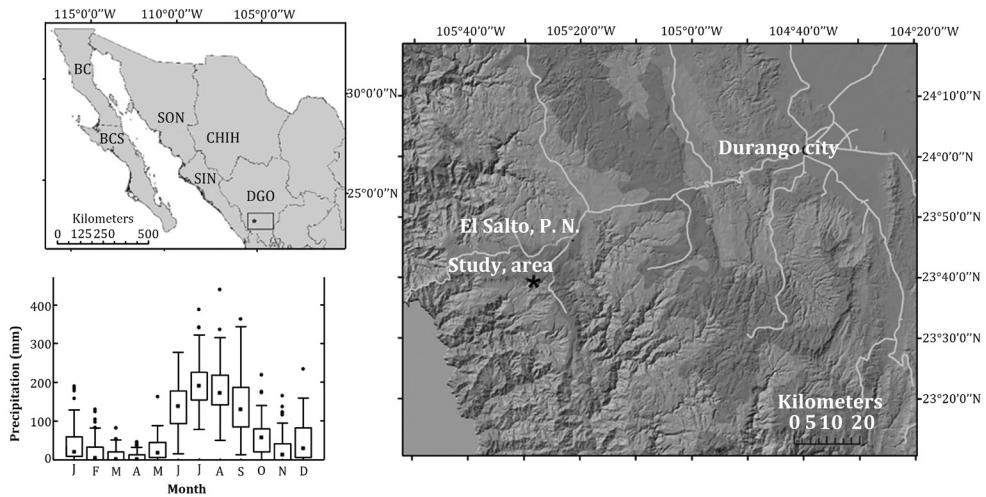


Figure 1. Location of the study area (The Santa Bárbara site) and climate conditions in south-central Durango that belongs to Sierra Madre Occidental.

Figura 1. Localización del área de estudio (sitio Santa Bárbara) y condiciones climáticas en el centro-sur de Durango que pertenece a la Sierra Madre Occidental.

According to the technical manager, 30 years ago, the study area was isolated from logging and forest management as a strategy for conservation and the generation of various ecosystem services. This site has a permanent stream and it is limited to the south and east by the plateau pine forests, while the western side flows into the steep, canyon-like gorge known as Quebrada del Infierno. The four tree species, *Picea chihuahuana*, *Abies durangensis*, *Cupressus lusitanica*, and *Pseudotsuga menziesii*, are found in this particular site within a limited area of about 20 ha.

The climate is temperate sub humid with a cool and humid summer because of the influence of the monsoon and dry conditions in the spring and winter.

The type of soils found in the study area includes Cambisols, Lithosols, Regosols, and Phaeozems (1, 4).

Data and lab processing

Following Henry *et al.* (2011), a selective sample design of 17 trees was applied. Undamaged trees, with a diameter breast height (dbh) larger than 40 cm, with no deformities or signs of competition for light or nutrients were included.

In each tree, a 50-g sample of aerial parts was collected from each cardinal point (*e.g.*, N, S, W, E). The process was repeated for leaves, branches, and twigs (< 5 cm in diameter).

The sample cores were collected at 1.3 m from the ground using a Pressler borer, hatchet and scissors to avoid destructing the tree. Samples were taken

to the lab following the procedures of Karlikand Chojnacky (2013) and immediately placed in paper bags to minimize the loss of volatile C (18, 20).

The samples were dried at an environmental temperature until a constant weight was reached. Following the Lamlon and Savidge (2003) procedure, the samples were broken down into small particles to better estimate C concentration using a pulverizing mill (Fritsch pulverisette 2), which produced particles smaller than 10 µg. Total carbon concentration (TCC) was obtained using a Solids TOC Analyzer (model 1020A) from O-I Analytical, which analyzes solid 5-mg samples (at least three replications) by means of thorough combustion at 900°C. Resulting gasses were then measured through an infrared, non-dispersive detector that counted carbon molecules (38).

Statistical analysis

The R-based Kruskal-Wallis post-hoc test (*i.e.*, the Tukey and Kramer approach) (17, 32, 35) was used to test for mean differences in the C concentration among species, cardinal directions, and their components.

The test was carried out using the "PMCMR" package (29). A level of statistical significance equal or lower than 0.05 was chosen for this study.

Finally, correlation tests were performed using Pearson coefficient to determine the statistical association ($p < 0.05$) of C concentrations when the components mentioned above were compared (33).

RESULTS

Results indicate that no significant differences in C concentration were found in each tree component for every cardinal point. The lowest values of correlation were found in the leaves, between the west and north points ($p = 0.57$). Meanwhile, the maximum values corresponded to leaves oriented north-south (1), branches oriented east-west (1), branches oriented south-west (0.93), branches oriented west-east (1), and twigs oriented north-south (1).

The results varied significantly for various components of the species studied (table 1, page 188). That is, the total concentration of carbon found in the components of above ground biomass depends on the species, ranging from 45.57% (*C. lusitanica*) to 52.72% (*P. menziessii*).

The mean C concentration for *P. menziessii* varied from 48.78% (stem) to 54.41% (leaf), with the former being significantly different from the other components.

Likewise, *A. durangensis* exhibited a variation of 47.46% in stem issue and 49.27% in leaf tissue. These were statistically different to other components, much like the branches. When it comes to the species variation *C. lusitanica* showed a variation from 45.57% (branches) to 52.15% (stem). Tests for variance showed that the stem component was statistically significant from the others.

The average C concentration for *P. chihuahuana* ranged from 47.51% (stem) to 50.63% (twig). The stem turned out to be significantly different from branches and twigs, while twigs showed a significant difference from the stem and leaves.

Table 1. Average carbon concentration per component for the species studied.
Tabla 1. Concentración de carbono promedio por componente para las especies estudiadas.

Component	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	<i>Abies durangensis</i>	<i>Cupressus lusitanica</i>	<i>Picea chihuahuana</i>
Stem	48.78±1.01 B	47.46±1.82 B	52.15±0.88 A	47.51±2.01 C
Leaf	54.41±2.03 A	49.27±2.32 A	48.43±2.15 B	47.83±1.56 BC
Branch	52.72±0.12 A	47.48±0.14 B	45.57±1.84 C	49.89±2.31 BA
Twig	52.47±2.04 A	48.25±1.22 BA	46.51±1.61 CB	50.63±1.54 A

Means with different letter are statistically different (Tukey $p = 0.05$).
 Medias con diferentes letras son estadísticamente diferentes (Tukey $p = 0,05$).

The results of correlation tests, which determined the statistical relationship between C concentration and the components, showed a significant association. Leaves, branches, and twigs kept a positive linear correlation altogether. Leaves and branches had a result of $r = 0.63$, ($p < 0.001$), which is the same for leaves and twigs with a result of $r = 0.61$, ($p < 0.001$). Branches and twigs yielded $r = 0.83$, ($p < 0.001$), suggesting that C concentrations in these components are closely associated (figure 2).

DISCUSSION

Our results revealed no significant difference in C concentration in any component of all cardinal points. A possible explanation for this finding may be due to nutrients being absorbed by the roots, which are distributed equally throughout the tree itself (38). Moreover, the cardinal directions do not seem to affect C concentration.

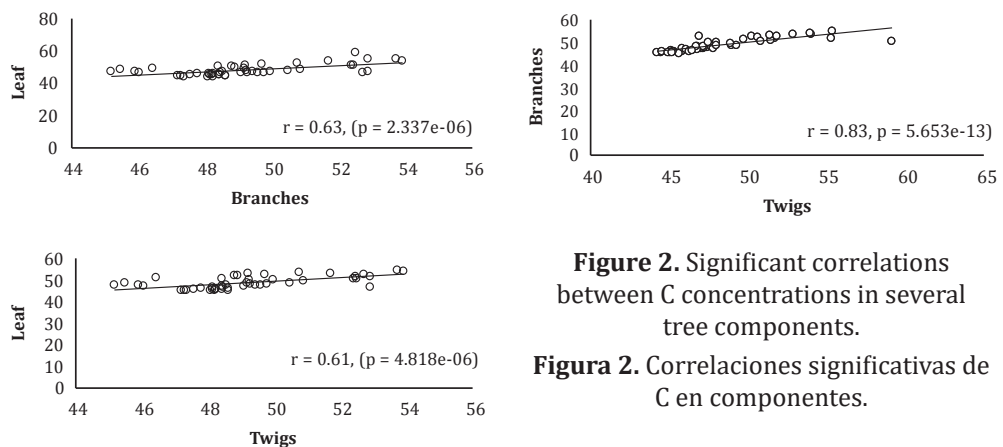


Figure 2. Significant correlations between C concentrations in several tree components.
Figura 2. Correlaciones significativas de C en componentes.

Unlike other previous works in Mexican ecosystems (15, 38, 39), this results suggest that it is not necessary to collect samples from the four cardinal points. Variations between cardinal directions were negligible suggesting that C concentration is evenly metabolized across aerial parts of trees (13, 20). Although the economic implications of this type of sampling are beyond the reach of our work, this finding brings relevant information in terms of economic efficiency without compromising the statistical reliability of the results.

Several studies about carbon fluxes have been developed in Mexico and worldwide (6, 15, 31, 37, 39).

However, this one is among the first efforts that contributes to the knowledge of carbon variation in co-existing HCVF species of northern Mexico. The results may improve future research about what we know about these forests in terms of carbon concentrations.

The stems of three out of the four species studied turned to have a lower concentration of carbon, except for *C. lusitanica*. Such similarity is attributed to the family Pinaceae, whose species are characterized by a high chemical composition of cellulose, hemicellulose, and starches (22).

Additionally, physiological characteristics common in species of the same family (28) and habitat in which the species thrive may represent the conditions to which the similarities are attributed to carbon concentrations (3).

The high averages found in the leaves of *A. durangensis* and *P. menziesii* can be attributed to the fact that they are depositories for high rates of volatile compounds. In turn, they showed a significant difference in C concentrations when it comes to tree structures (36). This implies that these

volatile compounds are involved in differing concentrations for tree structures. Some authors argue that even though leaves contain a smaller quantity of cellulose, they exhibit a high carbon concentration thanks to the photosynthetic processes occurring there (26, 37).

The highly positive degrees of linear association imply an existence of physiological processes within these components.

For Martin *et al.* (2013), this physiological interaction establishes a strategy for mature trees to achieve a biochemical stability to prevent further decay. Recent studies have tested this hypothesis for several species at risk of mortality (14). This insight implies direct involvement in the productivity of the tree, as a decrease in C concentrations suggests a loss of vigor in the foliage.

Although these ecosystems are characterized by low humidity restrictions, the results obtained reclaim importance, given that water limitations are forecasted for the upcoming years in this region (34). Most projections for the dynamic models for carbon are based on water dependence (27). This means a high evapotranspiration demand in the near future could be a cause of decline for these forests.

Since the partition of biomass in woody species is assigned mostly in the stems (19), these results have implications about the accuracy of C estimates (*e.g.*, biomass) when using allometric equations (25). That is, incorporating the intra specific variations of C, it is possible to improve what we know about C flux. Therefore, applying 50% of C concentration would imply overestimating the concentration of C for some species. For example, Martin *et al.* (2015) and Wang *et al.* (39) presented numerical evidence from the generated errors. A quantitative evaluation of these errors could be addressed in future research.

These results suggest that carbon concentration varies within the structural components of HCVF species. It also demonstrates that the current notion that carbon concentration is approximately 50% plant biomass may be biased.

The species, *P. menziesii*, *A. durangensis*, and *P. chihuahuana*, turned out to have the least amount of carbon concentration in the stems, while *C. lusitanica* had the most. The total C concentration highly depends on the type of species.

When it comes to estimating C, no significant differences in concentrations were found, even when using a cardinal sample point from aboveground biomass. Nonetheless, this approach has a positive impact in terms of effort and economy. Leaves, branches, and twigs demonstrated positive linear relationships in C concentration, suggesting the presence of uniform C flux within these tissues. This discovery provided knowledge about C flux in these species.

CONCLUSIONS

These results show that carbon concentration varies within the structural components of HCVF species. They also

demonstrate that the current notion that carbon concentration is approximately 50% plant biomass may be biased.

The species *P. menziesii*, *A. durangensis*, and *P. chihuahuana*, showed the lowest C concentration in the stem wood, while *C. lusitanica* presented the highest. These results should contribute to the knowledge of more accurate estimates of carbon stocks in forest ecosystems. Furthermore, reliable C concentration estimations are crucial for taking better global warming mitigation policies.

These results also suggest that it is irrelevant the cardinal origin of tree samples to estimate C concentration. Unlike other works in Mexico, we did not find any statistical difference among the four cardinal points. Correlation of C concentrations among tree components suggest certain uniform physiological processes within tissues. The implications of these findings could help better understand the precise role of forest ecosystems in mitigating the effects of greenhouse gases (GHG). For instance, to insure proper payments for biomass credits, cost-effective sampling for estimating GHG emissions reductions from forest ecosystems is critical.

REFERENCES

1. Aguirre, O.; Hui, G. Y.; Gadow, K.; Jimenez, J. 2013. Comparative analysis of natural forest sites in Durango, Mexico. *Forest Ecology and Management*. 183: 137-145.
2. Albright, W. L.; Peterson D. L. 2013. Tree growth and climate in the Pacific northwest, North America: a broad-scale analysis of changing growth environments. *Journal Biogeography*. 40: 2119-2133.
3. Álvarez, E.; Benítez, D.; Velásquez, C.; Cogollo A. 2013. Densidad básica del fuste de árboles del bosque seco en la costa caribe de Colombia. *Intropica*. 8: 17-28.
4. Cabral-Alemán, C.; Pompa-García, M.; Acosta-Hernández, A. C.; Zúñiga-Vásquez, J. M.; Camarero, J. J. 2017. Earlywood and latewood widths of *Picea chihuahuana* show contrasting sensitivity to seasonal climate. *Forests* 8: 173, doi:10.3390/f8050160.

5. Ciais, P.; Sabine, C.; Bala, G.; Bopp, L.; Brovkin, V.; Canadell, J.; Jones, C. 2014. Carbon and other biogeochemical cycles. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. p. 465-570.
6. Comisión para la Cooperación Ambiental. (CCA). 2014. Evaluación de la dinámica del carbono en el bosque tropical semideciduo de la península de Yucatán. Montreal, Canadá. 48 p.
7. Cunha-e-Sá, M.; Rosa, R.; Costa-Duarte, R. 2013. Natural carbon capture and storage (NCCS): Forests, land use and carbon accounting. *Resource and Energy Economics*. 35: 148-170.
8. Dhillon, R. S.; von Wuehlisch, G. 2013. Mitigation of global warming through renewable biomass. *Biomass and Bioenergy*. 48: 75-89.
9. Dixon, R. K. 1995. Agroforestry systems: sources or sinks of greenhouse gases?. *Agroforestry System*. 31: 99-116.
10. Figueroa, C.; Etchevers, J. D.; Velazquez, A.; Acosta, M. 2005. Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. *Terra Latinoamericana*. 23: 57-64.
11. Gayoso, J.; Guerra, J. 2005. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosque*. 26(2): 33-38.
12. Greene, C. H.; Pershing, A. J. 2007. Climate-driven sea change. *Science*. 315: 1084e5.
13. Henry, M.; Picard, N.; Manlay, R.; Valentini, R.; Bernoux, M.; Saint-André, L. 2011. Estimating tree biomass of sub-Saharan African forests: a review of available allometric equations. *Silva Fennica*. 45: 477-569.
14. Hersh, M. H.; Vilgalys, R.; Clark, J. S. 2012. Evaluating the impacts of multiple generalist fungal pathogens on temperate tree seedling survival. *Ecology*. 93:511-520.
15. Jiménez, P. J.; Treviño, G. E. J.; Yerena, Y. J. I. 2013. Carbon concentration in pine-oak forest species of the sierra madre oriental. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 4(17): 50-61.
16. Karlik, F. J.; Chojnacki, C. D. 2013. Biomass and carbon data from blue oaks in a California oak savanna. *Biomass and Bioenergy*. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.11.018>. 62: 228-232.
17. Kruskal, W.; Wallis, W. 1952. Use of Ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*. 47(260): 583-621.
18. Lamloom, S. H.; Savidge, R. A. 2003. A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species. *Biomass and Bioenergy*. 25(4): 381-388.
19. Litton, C. M.; Raich, J. W.; Ryan, M. G. 2007. Carbon allocation in forest ecosystems. *Global Change Biology*. 13: 2089-2109.
20. Martin, A. R.; Thomas, S. C. 2011. A reassessment of carbon content in tropical trees. *PLoS One*. 6(8), e23533. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023533>.
21. Martin, A. R.; Thomas, S. C. 2013. Size-dependent changes in leaf and wood chemical traits in two Caribbean rain forest trees. *Tree Physiology*. 33: 1338-1353.
22. Martin, A. R.; Thomas, S. C.; Zhao, Y. 2013. Size-dependent changes in wood chemical traits: a comparison of neotropical saplings and large trees. *AoB Plants*. 5: plt039.
23. Martin, A. R.; Gezahegn, S.; Thomas, S. C. 2015. Variation in carbon and nitrogen concentration among major woody tissue types in temperate trees. *Canadian Journal of Forest Research*. 45: 744-757.
24. Mussetta, P.; Barrientos, M. J. 2015. Producer's vulnerabilities to global environmental change: climate, water, economy and society. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 47(2): 145-170.
25. Navar, J. 2009. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management*. 257: 427-434.
26. Niinemets, Ü.; Ellsworth, D. S.; Lukjanova, A.; Tobias, M. 2001. Site fertility and the morphological and photosynthetic acclimation of *Pinus sylvestris* needles to light. *Tree Physiology*. 21 (17): 1231-124.
27. Ostle, N. J.; Smith, P.; Fisher, R.; Ian Woodward, F.; Fisher, J. B.; Smith, J. U.; Galbraith, D.; Levy, P.; Meir, P.; McNamara N. P.; Bardgett, D. R. 2009. Integrating plant-soil interactions into global carbon cycle models. *Journal of Ecology*. 97: 851-863.

28. Pérez, O. C. P.; Mendoza, A. M.; Ceja, R. J.; Pacheco, L. 2008. Anatomía de la madera de cinco especies de la familia Rosaceae. *Madera y Bosques*. 14(1): 81-105.
29. Pohlert, T. 2014. The Pairwise Multiple Comparison of Mean Ranks Package (PMCMR). R package. Available in: <http://CRAN.R-project.org/package=PMCMR>. (Accessed April 2016).
30. Pompa-García, M.; Yerena-Yamalliel, J. I. 2014. Concentración de carbono en *Pinus cembroides* Zucc: fuente potencial de mitigación del calentamiento global. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*. 20(3): 169-175.
31. Pompa-G., M.; Jurado, E. 2015. Carbon concentration in structures of *Arctostaphylos pungens* HBK: An alternative CO₂ sink in forests. *Phyton*. 84: 385-389.
32. Ponce-Donoso, M.; Vallejos-Barra, O. 2016. Valoración de árboles urbanos, comparación de fórmulas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 48(2): 195-208.
33. R Core Team. 2016. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. 3551 p.
34. Seager, R.; Ting, M.; Davis, M.; Cane, M.; Naik, N.; Nakamura, J.; Cook, C. Li, E.; Stahle, D. 2009. Mexican drought: an observational modeling and tree ring study of variability and climate change. *Atmósfera*. 22: 1-31.
35. Statistical Analysis System (SAS). 2004. SAS user's guide statistics. Release 9.1. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
36. Thomas, S. C.; Martin, A. R. 2012. Carbon content of tree tissues: A Synthesis. *Forests*. 3: 332-352.
37. Wang, X. W.; Weng, Y. H.; Liu, G. F.; Krasowski, M. J.; Yang, C. P. 2015. Variations in carbon concentration, sequestration and partitioning among *Betula platyphylla* provenances. *Forest Ecology and Management*. 358: 344-352.
38. Yerena, Y. J. I.; Jiménez, P. J.; Aguirre, C. O. A.; Treviño, G. E. J. 2012a. Contenido de carbono total de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso, en el matorral espinoso tamaulipeco, en México. *Bosque*. 33(2): 145-152.
39. Yerena, Y. J. I.; Jiménez, P. J.; Aguirre, C. O. A.; Treviño, G. E. J.; Alanís, R. E. 2012b. Concentración de carbono en el fuste de 21 especies de coníferas del noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 3(13): 49-56.

ACKNOWLEDGMENTS

Funding was provided by CONACYT through the 222522 project. Many thanks to the Ejido el Brillante, Dr. Javier Bretado, and his staff for helping in the collection of field data. We also thank the Dirección General de Vida Silvestre, SEMARNAT, Mexico for technical permit. In addition, many thanks to the editor and reviewers for their valuable comments.

Efecto de gallinaza y biosólido en mezcla con turba europea para producción de plántulas de cucurbitáceas

Effect of poultry manure and biosolid mixed with European turbe for cucurbit seedling production

Fernando de Jesús Carballo Méndez ¹, Juan Carlos Rodríguez Ortiz ², José Luis García Hernández ³, Jorge Alonso Alcalá Jáuregui ², Pablo Preciado Rangel ⁴, Humberto Rodríguez Fuentes ⁵, Federico Villarreal Guerrero ²

Originales: Recepción: 24/09/2014 - Aceptación: 28/09/2016

Nota científica

RESUMEN

En México, la turba de *Sphagnum* (*peat moss*), es el principal sustrato utilizado para la producción de plántulas de hortalizas en bandeja de poliestireno, su precio es elevado por ser de importación, lo que hace necesario estudiar alternativas de menor costo. Por lo anterior, se propone mezclar la turba con materiales orgánicos de origen local como la gallinaza (G) y biosólido (B) para producir plántulas de pepino (*Cucumis sativus* L.) y calabacita (*Cucurbita pepo* L.). Ocho mezclas de material orgánico-turba fueron evaluadas para cada especie: 1) 4% G + 96% turba; 2) 8% G + 92% turba; 3) 12% G + 88% turba; 4) 16% G + 84% turba; 5) 4% B + 96% turba; 6) 8% B + 92% turba; 7) 12% B + 88% turba; 8) 16% B + 84% turba, el tratamiento testigo fue 100% turba. En los resultados se destaca, en pepino, la mezcla con 16% de biosólido que afectó positivamente en unidades SPAD (Soil Plant Analysis Development), diámetro de tallo y área foliar, mientras que la mezcla con 12% de gallinaza aumentó peso seco de parte aérea y total ($P \leq 0,05$). En calabacita, la mezcla con 16% de gallinaza incrementó área foliar ($P \leq 0,05$). En las variables de altura, peso seco de raíz y balance de plántula no se encontraron diferencias significativas en ambas especies y mezclas. Se concluye que mezclas de turba europea (*peat moss*) con gallinaza o biosólido, son una importante alternativa técnica y económica para la producción de plántulas en pepino y calabacita.

Palabras clave

Cucumis sativus L. • *Cucurbita pepo* L. • plántulas • abonos • nutrición vegetal

- 1 Egresado, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Carretera San Luis Potosí-Matehuala km 14.5. Ejido Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, S. L. P., México.
- 2 Profesor-Investigador, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. jcrodot@uaslp.mx.
- 3 Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agronomía y Zootecnia. 35110 Venecia, Gómez Palacio, Durango, México.
- 4 Instituto Tecnológico de Torreón. Carretera Torreón-San Pedro km 7.5. Ejido Ana. Torreón, Coahuila, México. C.P. 27170.
- 5 Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Carretera Zuazua-Marín km. 7.5, Marín, N. L. México.

ABSTRACT

In Mexico, *Sphagnum turbe* (*peat moss*) is the main substrate used for the production of vegetable seedlings in polystyrene trays. It is imported and thus has an elevated price, therefore some lower cost alternatives need to be addressed. This work proposes a mixture of peat with local organic materials as poultry manure (PM) and biosolid (B) to produce cucumber (*Cucumis sativus* L.) and zucchini (*Cucurbita pepo* L.) seedlings. Eight mixtures of organic material-peat were evaluated for each species: 1) 4% PM + 96% peat; 2) 8% PM + 92% peat; 3) 12% PM + 88% peat; 4) 16% PM + 84% peat; 5) 4% B + 96% peat; 6) 8% B + 92% peat; 7) 12% B + 88% peat; 8) 16% B + 84% peat, and 100% peat as control. Compared with the control, the mixture with 16% of biosolid affected positively SPAD (Soil Plant Analysis Development) units, stem diameter and leaf area in cucumber seedlings, while the mixture with 12% of poultry manure increased aerial and total dry weight ($P \leq 0.05$). In zucchini, the mixture with 16% of poultry manure increased leaf area ($P \leq 0.05$). No significant differences were found in height, root dry weight and seedling balance in both species and mixtures. We concluded that use of peat moss mixed with poultry manure or biosolid represents an important technical and economic alternative for cucumber and zucchini seedling production.

Keywords

Cucumis sativus L. • *Cucurbita pepo* L. • seedling • manure • plant nutrition

INTRODUCCIÓN

La producción de plántulas en hortalizas de trasplante representa el inicio del proceso productivo en algunas especies hortícolas. Los resultados que se obtengan en esta primera fase repercutirá en las siguientes etapas fenológicas, por lo que es importante que se obtengan plántulas con raíces saludables, con tallos gruesos, hojas de color verde intenso (no cloróticas), sin daños por insectos, sin enfermedades, planta compacta y vigorosa, características deseables señaladas por Prunty (2015). Para ello, el sustrato o medio de cultivo, tiene un papel principal sobre el crecimiento y desarrollo de las raíces de las plántulas, como proveedor de aire y agua, así como permitir su expansión y ser soporte físico (16).

Para la producción de plántulas de hortalizas, es común en México el uso de

turba importada en conjunto con el uso de fertilizantes químicos sintéticos (algunos de importación). El costo de estos insumos se ha elevado significativamente en años recientes en el país. Ante esta situación, los materiales orgánicos como los estiércoles de algunos ganados y los biosólidos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales (4, 22), son una alternativa a la cual se puede recurrir debido a que ambos poseen propiedades físicas y químicas que aportan nutrientes y capacidad de anclaje a las plántulas (6, 18). Su empleo no representa un riesgo a la salud humana si se manejan acorde a las normas oficiales como la NMX -FF -109- SCFI -2007 (3) y NOM- 004- SEMARNAT- 2002 (2), las cuales especifican el uso de compostas y biosólidos en la agricultura, respectivamente.

Por lo expuesto, el presente ensayo tiene como objetivo evaluar el efecto de ocho mezclas preparadas con gallinaza (G), biosólido (B) y turba europea en las unidades SPAD (clorofila) y el crecimiento de plántulas para trasplante de pepino (*Cucumis sativus* L.) y calabacita (*Cucurbita pepo* L.).

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se hizo en el estado de San Luis Potosí, México, con coordenadas de 22°09'04" N y 100°58'34" O, dentro de una estructura tipo túnel con cubierta de plástico difusa a lo que se sobrepone una

mallita con capacidad de bloqueo de 30% de la luz incidente.

Ocho mezclas de material orgánico con turba y un testigo fueron evaluados en la producción de plántulas de pepino (híbrido "Turbo" de la compañía Seminis®) y calabacita (variedad "Hurakan" de la compañía Harris Moran®) (tabla 1). Las propiedades químicas de los abonos orgánicos se muestran en la tabla 2.

Las unidades experimentales fueron bandejas de poliestireno expandido con 242 cavidades (16,7 cc por cavidad). El ensayo se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Un tercio de cada bandeja conformó una repetición (81 plántulas).

Tabla 1. Descripción de los tratamientos en evaluación.

Table 1. Description of the treatments in evaluation.

Tratamiento (mezcla)	Proporción de material orgánico en la mezcla	Proporción de turba en la mezcla
1	4% gallinaza	96% turba
2	8% gallinaza	92% turba
3	12% gallinaza	88% turba
4	16% gallinaza	84% turba
5	4% biosólido	96% turba
6	8% biosólido	92% turba
7	12% biosólido	88% turba
8	16% biosólido	84% turba
9 (Testigo)	0% material orgánico	100% turba

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas y minerales en los abonos orgánicos.

Table 2. Physicochemical properties and minerals in the organic materials.

Material orgánico	pH	C.E.*	M. O.	N	P	K	Ca	Mg	S	ppm			
										Fe	Cu	Mn	Zn
Gallinaza	7,72	4,9	75,5	2,16	5,36	2,87	2,87	1,08	0,65	1802	40	514	299
Biosólido	5,85	3,4	30,11	5,92	5,69	0,5	2,55	0,58	0,74	5000	1365	110	108

*C. E. = Conductividad eléctrica en dS m⁻¹.

*C. E. = Electric conductivity in dS m⁻¹.

La gallinaza utilizada es comercializada por la empresa Meyfer® (ubicada en Zuázua, Nuevo León, México), la cual tiene registro OMRI (Instituto de Revisión de Materiales Orgánicos) para uso en agricultura orgánica certificada por el programa de agricultura orgánica de los Estados Unidos (USDA-NOP).

El biosólido evaluado es resultado de un proceso convencional de compostaje de seis meses realizado por una planta de tratamiento de aguas residuales que cumple con las especificaciones de calidad de la norma NOM-004-SEMARNAT-2002. Como criterio de madurez de los abonos orgánicos, se determinó la relación C/N, siendo de 7 en la gallinaza y de 3,35 en el biosólido, que de acuerdo con Iglesias y Pérez (1992), son considerados como materiales suficientemente maduros.

La turba utilizada fue una mezcla DSM marca Kekkila 05W (Laanemaa, Estonia) (densidad aparente 0,13 g cm⁻³; granulometría 0-6 mm; pH 5,9; materia orgánica >90%; conductividad eléctrica de 1,5 dS cm⁻¹ y 14-16-18 kg m⁻³ de N-P₂O₅-K₂O+ microelementos).

Las plántulas de pepino y calabacita recibieron por igual, en los nueve tratamientos, dos aplicaciones semanales de 0,25 g de fosfato monoamónico por bandeja y una aplicación semanal de 0,20 g de magicroot por bandeja (compañía Agroformuladora Delta) que contiene 0,30% de ácido-4-indol-3-butírico y 99,70% de ingredientes inertes.

Veinticinco días después de la siembra, las plántulas alcanzaron el tamaño para ser trasplantadas. Para la evaluación, quince plantas fueron seleccionadas por tratamiento (5 por repetición), considerando las siguientes variables: a) unidades

SPAD (Soil Plant Analysis Development), usando el medidor de clorofila (Konica Minolta modelo 502), donde se tomó el dato en la hoja más desarrollada colocando el sensor en la parte central entre la nervadura y borde de la hoja; b) altura de planta; c) diámetro de tallo; d) área foliar, usando el programa *ImageJ* (13); e) peso seco de la parte aérea, se procedió a separar las plántulas a partir de la base del tallo y la parte superior se colocó en horno de aire forzado a 65°C hasta obtener peso constante; f) peso seco de raíz, se procedió a lavar con agua a presión hasta retirar por completo el sustrato adherido para luego colocar en horno de aire forzado a 65°C hasta obtener peso constante; g) peso seco total, se obtuvo sumando peso seco de parte aérea y peso seco de raíz; y h) balance de planta (cociente entre peso seco de parte aérea y peso seco de raíz). Un análisis de varianza fue realizado para cada variable.

Al encontrar diferencias significativas se hizo comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). También se aplicó una prueba de contrastes ortogonales para comparar los tratamientos de gallinaza contra los de biosólidos. Los datos se analizaron con el paquete de diseños experimentales FAUANL versión 1.1 (15).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efectos en pepino

Los resultados en pepino se muestran en la tabla 3 (pág. 197). No se encontraron diferencias significativas en altura de planta, peso seco de raíz y balance de plántulas con respecto al testigo.

Tabla 3. Comparación de medias entre tratamientos en pepino.**Table 3.** Comparison of means among treatments in cucumber.

Trata- miento	Unidades SPAD	Altura (cm)	Diam. tallo (cm)	Área foliar (cm ²)	Peso seco p. a. (g)	Peso seco raíz (g)	Peso seco total (g)	Balace de plántula
1	38,84 c	12,90 a	0,39 ab	9,81 ab	0,19 ab	0,04 a	0,23 a	4,32 a
2	46,92 abc	13,26 a	0,44 ab	11,03 ab	0,22 ab	0,03 a	0,26 ab	5,48 a
3	41,23 bc	13,20 a	0,43 ab	11,31 ab	0,32 a	0,04 a	0,36 a	7,67 a
4	48,70 abc	12,25 a	0,41 ab	11,92 ab	0,16 b	0,03 a	0,19 b	4,82 a
5	50,22 abc	13,18 a	0,40 ab	12,70 ab	0,18 ab	0,03 a	0,22 ab	4,74 a
6	55,19 a	14,00 a	0,39 ab	15,74 a	0,20 ab	0,04 a	0,25 ab	4,72 a
7	54,14 ab	11,72 a	0,42 ab	13,22 ab	0,13 b	0,03 a	0,16 b	4,49 a
8	53,40 ab	13,02 a	0,47 a	16,30 a	0,16 b	0,03 a	0,19 b	4,92 a
Control	36,56 c	9,36 a	0,36 b	7,14 b	0,13 b	0,04 a	0,17 b	3,48 a
c.v. (%)	10,14	19,17	7,90	23,12	28,72	16,96	25,36	27,16

Medias con letras diferentes dentro de la misma columna son significativamente diferentes ($P \leq 0,05$). c.v.: coeficiente de variación. p. a.: parte aérea.

Means followed by different letter, within a column, are statistically different ($P \leq 0.05$). c.v.: coefficient of variation. p.a.: aerial part.

En las unidades SPAD el tratamiento testigo fue superado estadísticamente ($P \leq 0,05$) por los tratamientos 6, 7 y 8 en más de 16 unidades, que tienen en común al biosólido en la mezcla de sustratos.

Cuando se realizó un contraste ortogonal entre tratamientos con gallinaza (1 al 4) contra biosólido (5 al 8), los tratamientos con el biosólido fueron significativamente mayores superando en más de 9 unidades a los tratamientos con gallinaza (promedio 43.91 en gallinaza y 53,23 en biosólido, $P \leq 0,05$).

Las unidades SPAD se han relacionado estrechamente con el contenido de clorofila y nitrógeno en las hojas en diversos cultivos hortícolas, lo que resalta su importancia como variable de estudio (23).

El contenido elevado de nitrógeno en el biosólido (más del doble que la gallinaza) explica los resultados anteriores. Similares resultados han sido

reportados en producción de plántulas suplementadas con materiales orgánicos por investigadores de la Universidad Estatal de Ohio, Estados Unidos (10). Sin embargo, es importante no exceder la suplementación de los abonos en las mezclas de sustratos ya que se podrían obtener plántulas suculentas generadas por el nitrógeno excesivo, lo que puede afectar su calidad, principalmente al generar tallos débiles que se pueden doblar y trozar con facilidad. También es importante mencionar que los materiales orgánicos varían considerablemente en su composición química, especialmente en cuanto a nitrógeno (18).

En diámetro de tallo, el tratamiento testigo fue superado significativamente solo por el tratamiento 8 (biosólido) por más de 1 mm. Esta variable es un indicador del vigor de las plántulas, lo que es importante para soportar momentos de stress

al trasplante a campo abierto, mayor tolerancia a enfermedades del suelo, así como otros problemas en tallos como lesiones mecánicas que pudieran retrasar su arraigo (5, 17). Los tratamientos 6 y 8 (mezclas con biosólido) incrementaron significativamente área foliar en relación con el testigo, lo que puede atribuirse a su alto contenido de nitrógeno.

En cuanto al peso seco de la parte aérea y total, también se obtuvieron diferencias significativas, en esta ocasión los tratamientos 1, 2, 3 5 y 6 promovieron mayor crecimiento respecto de las plántulas del tratamiento testigo.

En el caso del tratamiento 3, la diferencia en pesos fue de más del doble. Tales efectos pueden ser debido a que dichas plántulas recibieron una mayor cantidad de elementos minerales contenidos en los materiales orgánicos a manera de suplemento (tabla 2, pág. 195), mismos que no recibieron las plántulas del tratamiento testigo.

Aun cuando los valores promedios obtenidos en la variable de balance de plántula no fueron significativos, se aprecia que el tratamiento testigo obtuvo, en promedio, un mejor balance de plántula. Esta variable es el cociente que resulta de dividir el peso seco de la parte aérea (numerador) con el peso seco de la raíz (denominador). Por lo tanto, un cociente menor representa un mejor balance entre ambas partes, lo que puede significar un mejor funcionamiento de las plántulas al ser trasplantadas a campo. De esta manera, el cociente fue menor en las plántulas crecidas en el tratamiento testigo, por tener pesos de parte aérea menores respecto del resto de los tratamientos (significativamente a los tratamientos 1, 2, 3, 5 y 6) pero con pesos de raíces iguales.

Los variados efectos de los materiales orgánicos en plántulas de pepino pueden ser explicados, en parte, por su compleja composición. Varios autores mencionan que además de los elementos minerales que contienen (tabla 2, pág. 195), los materiales orgánicos tienen ácidos húmicos y otras sustancias activas biológicas que actúan como reguladores del crecimiento (7). Al respecto, Hong *et al.* (2015), muestran evidencias de haber encontrado fitohormonas del crecimiento en vermicomposta: N⁶-[2-isopentenil]adenina (iP) (citoquinina), N⁶-isopenteniladenosina (iPR) (citoquinina) y ácido 3-indoleacético (AIA) (auxina), en concentraciones de 0,49, 0,53, 79,78 ng g⁻¹, respectivamente. Señalan que la presencia de estas sustancias en la vermicomposta explica la eficacia de este material orgánico en promover el crecimiento de plantas.

Efectos en calabacita

Los resultados en calabacita se muestran en la tabla 4 (pág. 199). El área foliar fue la única variable donde se encontró diferencias significativas entre tratamientos. Se destacan los tratamientos 4 y 5 que produjeron 107% y 92% más área foliar que el testigo, respectivamente. Se considera que dicho efecto es debido principalmente al nitrógeno presente en los materiales orgánicos, el cual no dispusieron las plántulas crecidas en el tratamiento testigo (tabla 2, pág. 195). Ng'etich *et al.* (2013), mencionan que un incremento en área foliar en plantas puede ser un indicador de que el nitrógeno fue absorbido y subsecuentemente utilizado en aminoácidos que actúan como componente estructural de la clorofila.

Tabla 4. Comparación de medias entre tratamientos en calabacita.**Table 4.** Comparison of means among treatments in zucchini.

Trata- miento	Unidades SPAD	Altura (cm)	Diám. tallo (cm)	Área foliar (cm ²)	Peso seco p. a. (g)	Peso seco raíz (g)	Peso seco total (g)	Balance de plántula
1	40,72 a	15,96 a	0,43 a	20,78 ab	0,28 a	0,05 a	0,32 a	5,56 a
2	40,27 a	14,65 a	0,49 a	23,05 ab	0,25 a	0,05 a	0,30 a	5,05 a
3	40,15 a	15,22 a	0,48 a	24,88 ab	0,27 a	0,04 a	0,31 a	6,14 a
4	38,08 a	18,01 a	0,47 a	32,27 a	0,30 a	0,04 a	0,34 a	6,60 a
5	37,47 a	18,89 a	0,47 a	30,04 a	0,26 a	0,04 a	0,30 a	6,34 a
6	39,93 a	17,71 a	0,47 a	24,28 ab	0,20 a	0,03 a	0,24 a	5,33 a
7	43,13 a	14,49 a	0,45 a	24,31 ab	0,19 a	0,04 a	0,23 a	4,85 a
8	41,10 a	14,13 a	0,50 a	22,62 ab	0,19 a	0,03 a	0,22 a	5,62 a
Control	39,94 a	14,14 a	0,43 a	15,58 b	0,19 a	0,05 a	0,25 a	3,87 a
c.v. (%)	6,52	16,85	6,01	18,67	23,76	19,61	21,11	23,59

Medias con letras diferentes dentro de la misma columna son significativamente diferentes ($P \leq 0,05$).
c.v.: coeficiente de variación. p.a.: parte aérea.

Means followed by different letter, within a column, are statically different ($P \leq 0.05$). c.v.: coefficient of variation. p.a.: aerial part.

Maldonado (2008), señala que el nitrato absorbido por la raíz se exporta a la parte aérea principalmente en forma de glutamina y asparragina, que son aminoácidos básicos para el crecimiento de las células vegetales.

Por su parte, Mercado *et al.* (2014), encontraron que el área foliar de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) se incrementó de manera proporcional al aumento de nitrógeno en la solución nutritiva. Las dosis que ellos evaluaron fueron: 0, 4, 8, 12 y 16 mEq L⁻¹ de nitrógeno (N-NO⁻³) y los efectos en el crecimiento del área foliar fueron: 5,3, 11,7, 21,8, 23,1 y 39,6 cm², respectivamente. Efectos similares fueron reportados por Utria *et al.* (2008) en plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.).

En la variable de balance de plántula se presentó un efecto igual al sucedido en plántulas de pepino, estos es, que las plántulas crecidas en el tratamiento testigo obtuvieron un mejor balance que

las mezclas, pero sin ser significativo. Esta variable es muy importante por los productores de hortalizas, ya que han observado que plántulas con mejor balance tienen un mejor arraigo y crecimiento al trasplantarlas al campo.

Se estima que se puede mejorar el balance de plántulas en las mezclas con materiales orgánicos al incrementar el peso seco de raíz, lo que se puede lograr al proveer una mayor cantidad de fósforo y bioestimulantes como las auxinas vía agua de riego. Ambas sustancias son conocidas por estimular el crecimiento radicular en plantas (1, 5).

La dosis de fosfato monoamónico (fuente de fósforo) y magicroot (fuente de auxinas), aplicadas en este ensayo (dos aplicaciones semanales de 0,25 g de fosfato monoamónico por bandeja y una aplicación semanal de 0,20 g de magicroot por bandeja), pueden ser incrementadas en busca de dicho efecto.

En cuanto a la diferentes respuestas que mostraron las dos especies en los tratamientos evaluados, Gárate y Bonilla (2008), mencionan que el crecimiento de las plantas depende de varios factores, que van desde la regulación génica hasta los factores edafoclimáticos. Considerando que el pepino y la calabacita estuvieron bajo un mismo ambiente edafoclimáticos, hace suponer que las diferencias son meramente genéticas.

Es claro que la demanda de nutrientes es diferente, que sus necesidades nutricionales son específicas. Los mismos autores señalan que los contenidos minerales entre las especies vegetales varían, incluso cuando las comparaciones se establecen utilizando los mismos órganos y de la misma edad fisiológica. Concluyen que estas variaciones se basan fundamentalmente en diferencias en el metabolismo.

Por otra parte, los costos en la producción de plántula pueden reducirse al utilizar menos turba. Esto es posible en la medida que se utilicen los abonos orgánicos. Por ejemplo, de utilizar una mezcla con 16% de gallinaza o biosólido (en el caso de los tratamientos 4 y 8), el productor ahorraría esta cantidad en la compra de turba.

Se considera que los resultados encontrados son relevantes en lo económico, debido a que la turba es el insumo de mayor costo en la producción de plántula (> 70% del total, sin considerar gastos fijos). Además, el hecho de que la turba es importada y se cotiza en dólares estadounidense, lo hace aún más relevante, esta moneda se ha apreciado recientemente con respecto al peso mexicano de manera significativa (> 50%).

Por su parte, el costo de la gallinaza utilizada de marca Meyfer® comprada

en su lugar de origen (Zuázua, Nuevo León, México), es diez veces menor a la turba. Mientras que el biosólido puede ser obtenido sin costo en algunas plantas de tratamiento de aguas residuales.

Por último, se agrega que el potencial de los biosólidos en la producción de plántulas de hortalizas debe ser más estudiado, así como otros materiales orgánicos (19). Son pocos los ensayos que se han publicado en esta línea de investigación desde Sterrett en 2001, quien trabajó en tomate, repollo, brócoli, berenjena, lechuga y pimiento. Para ello se aconseja ampliamente el tener plena seguridad de que el biosólido posee la calidad especificada por las normas oficiales para uso en la agricultura.

CONCLUSIONES

La gallinaza y el biosólido en mezcla con turba europea (*peat moss*) son una importante alternativa técnica y económica para la producción de plántulas de pepino (*Cucumis sativus* L.) y calabacita (*Cucurbita pepo* L.).

Con respecto al tratamiento testigo, se destaca la mezcla con 16% de biosólido (Tratamiento número 8) que afectó positivamente en unidades SPAD, diámetro de tallo y área foliar en pepino, mientras que la mezcla con 12% de gallinaza (Tratamiento número 3) aumentó el peso seco de la parte aérea y total ($P \leq 0,05$).

En calabacita, la mezcla con 16% de gallinaza (Tratamiento número 4) incrementó área foliar ($P \leq 0,05$). En las variables de altura, peso seco de raíz y balance de plántula no se encontraron diferencias significativas en ambas especies y mezclas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acosta, E. M.; Sánchez, B. J.; Bañón, A. M. 2008. Auxinas. In: Azcón-Bieto, J; Talón M. 2ª edición. Fundamentos de fisiología vegetal. McGrawHill. p. 396.
2. Diario Oficial de la Federación, 2003. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Norma de protección ambiental de lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
3. Diario Oficial de la Federación de los Estados Unidos Mexicanos, 2007. NMX-FF- 109-SCFI-2007. Humus de lombriz (lombricomposta) - especificaciones y métodos de prueba. México.
4. Donoso, S.; Peña Rojas, K.; Galdarnes, E.; Pacheco, C.; Espinoza, C; Durán, S.; Gangas, R. 2016. Evaluación de la aplicación de biosólidos en plantaciones de *Eucalyptus globulus*, en Chile central. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 48 (2): 107-119.
5. Escalona, A.; Anzola, J.; Acevedo, I.; Rodríguez, V.; Contreras, J. 2012. Soluble N-P-K fertilization in the production of tomato seedlings. Rev. Fac. Agron. 29: 183-201.
6. Ewulo, B. S.; Ojeniyi, S. O.; Akanni, D. A. 2008. Effect of poultry manure on selected soil physical and chemical properties, growth, yield and nutrient status of tomato. African Journal of Agricultural Research. 3(9): 612-616.
7. Gárate, A.; Bonilla, I. 2008. Nutrición mineral y producción vegetal. In: Azcón-Bieto, J; Talón M. 2ª edición. Fundamentos de fisiología vegetal. McGrawHill. p. 143-144.
8. Hong, Z.; Swee, N. T.; Chee, H. T.; Yan, R. Y.; Liya, G.; Xin, C.; Jean W. , H. Y. 2015. Analysis of phytohormones in vermicompost using a novel combinative sample preparation strategy of ultrasound-assisted extraction and solid-phase extraction coupled with liquid chromatography-tandem mass spectrometry. Talanta. 139: 189-197.
9. Iglesias J. E.; Pérez, G. V. 1992. Determination of maturity indices for city refuse compost. Agric. Ecosystems Environ. 38: 331-343.
10. Lindsay, C. P.; Metzger, J. M. 2005. Impact of vermicompost on vegetable transplant quality. Hortscience. 40(7): 2020-2023.
11. Maldonado, J. M. 2008. Asimilación del nitrógeno y del azufre. In: Azcón-Bieto, J; Talón M. 2ª edición. Fundamentos de fisiología vegetal. McGrawHill. p. 296.
12. Mercado L. A.; Rico, G.; Chávez, S.; Lara, H.; Serrano, A. 2014. Evaluation of different concentrations of nitrogen for tomato seedling production (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Universal Journal of Agricultural Research. 2(8): 305-312.
13. Newton, M.; Marchese, A.; Fernandes de Sousa, A. K.; Curti, G.; Fogolari, H.; Dos Santos C. 2013. Uso do software ImageJ na estimativa de área foliar para a cultura do feijão. Interciencia. 18(12): 843-848.
14. Ng'etich, O. K.; Niyokuri, A. N.; Rono, J. J.; Fashaho, A.; Ogweno, J. O. 2013. Effect of different rates of nitrogen fertilizer on the growth and yield of zucchini (*Cucurbita pepo* cv. Diamant L.) Hybrid F1 in Rwandan high altitude zone. Int. J. Agri. CropSci. 5(1): 54-62.
15. Olivares, S. E. 2012. Paquete de diseños experimentales. FAUANL, Versión 1.1. Facultad de Agronomía Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, N. L., México.
16. Olle, M.; Ngouajio, M.; Siomos, A. 2012. Vegetable quality and productivity as influenced by growing médium: a review. Zemdirbyste=Agriculture. 99(4): 399-408.
17. Prunty, R. M. 2015. Characteristics of good quality transplants. Virginia Cooperative Extension, Virginia State University. Available in: <https://pubs.ext.vt.edu/2906/2906-1383/2906-1383.pdf> (Accessed November 2015).
18. Qin, L.; Zhenli, L. H.; Stoffella, P. 2012. Land application of biosolids in the USA: A review. Applied and Environmental Soil Science. Vol. 2012. 11 p.
19. Saucedo Castillo, O.; de Mello Prado, R.; Castellanos González, L.; Ely, N.; Silva Campos, C. N.; Pereira Da Silva, G.; Assis, L. C. 2015. Efecto de la fertilización fosfatada con cachaza sobre la actividad microbiana del suelo y la absorción de fósforo en caña de azúcar (*Saccharum* spp.). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(1): 33-42 .

20. Sterrett, S. B. 2001. Composts as horticultural substrates for vegetable transplant production. In *Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems*. Stoffella, P. J. ; Kahn, B. A. Eds., p. 227-240, CRC Press, Boca Raton, Fla, USA.
21. Theunissen, J.; Ndakidemi, P. A.; Laubscher, C. P. 2010. Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. *Int. J. Phys. Sci.* 5: 1964-1973.
22. Utria, B. E.; Cabrera, R.; Reynaldo, E.; Morales, G. D.; Fernández, A. M.; Toledo T. E. 2008. Utilización agraria de los biosólidos y su influencia en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 14(01): 33-39.
23. Zhu, J.; Tremblay, N.; Liang, Y. 2012. Comparing SPAD and atLEAF values for chlorophyll assessment in crop species. *Can. J. Soil Sci.* (2012) 92: 645-648.

AGRADECIMIENTOS

A PROMEP-SEP por su apoyo económico a través de la red de agricultura sostenible del centro y norte de México (ASOCEN), número de convenio PROMEP/103.5/12/2110, UASLP-CA-209; A PROAGUA Potosí por la donación del biosólido y reporte de análisis.

Perfil mineral en los pastizales de *Andropogon lateralis* y *Sorghastrum setosum* (Gramineae) en Corrientes, Argentina

Mineral profile grassland of *Andropogon lateralis* and *Sorghastrum setosum* (Gramineae) in Corrientes, Argentina

Aldo C. Bernardis ¹, Roxana Villafaña ², Roberto G. Pellerano ³, Eduardo Marchevky ⁴

Originales: *Recepción*: 08/07/2015 - *Aceptación*: 25/04/2016

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar la composición florística y el aporte de minerales a la dieta animal para la producción de carne bovina de los pastizales de *Andropogon lateralis* Nees (PAL) y *Sorghastrum setosum* (Griseb.) Hitchc. (PSS), analizados mediante espectrometría ICP-AES en dos series de suelo de la provincia de Corrientes, Argentina. El mayor aporte de materia seca lo realizan *A. lateralis* y *S. setosum*. El aporte de leguminosas es bajo. El perfil de elementos minerales esenciales, probablemente esenciales y los de función incierta, cubren parcialmente los requerimientos del ganado bovino productor de carne, excepto para Mn. Las relaciones entre elementos, Ca/P, Na/K (mEq), Cu/Mo y Cu/Fe son aceptables. Las relaciones K/Mg, K/Ca+Mg (mEq) y Na/Mg (mEq) no son adecuadas, pues existe deficiencia de Mg.

Palabras clave

Andropogon lateralis • composición florística • *Sorghastrum setosum* • aporte de minerales • espectrometría ICP-AES • Psamacuentes sódicos • Psamacuentes típicos

-
- 1 Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), Sgto Cabral 2131, 3400 Corrientes, Argentina. aldobernardis@yahoo.com.ar - qaaber@agr.unne.edu.ar
 - 2 Becaria CONICET
 - 3 Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura (FCENA). Av. Libertad 5460, 3400. Corrientes, Argentina.
 - 4 Universidad Nacional de San Luis (UNSL), Facultad de Química Bioquímica y Farmacia, Área Química Analítica, CONICET.

ABSTRACT

The goal of this work was to determine the floristic composition and the mineral contribution of *Andropogon lateralis* Nees (PAL) and *Sorghastrum setosum* (PSS) pastures, in the animal diet for the production of beef, analyzed by ICP-AES spectrometry in two series of soils from the Province of Corrientes, Argentina. The greatest contribution of dry raw matter is provided by *A. lateralis* and *S. setosum*. The contribution of legume is low. The profile of essential mineral elements, probably essential ones and of those of uncertain function, partially fulfill the meat producer cattle requirements. The elemental ratios Ca/P, Na/K (mEq), Cu/Mo and Cu/Fe, are acceptable. The K/Mg, K/Ca+Mg (mEq) and Na/Mg (mEq) ratios are not adequate, and there is Mg deficiency.

Keywords

Andropogon lateralis • floristic composition • *Sorghastrum setosum* • mineral contribution • ICP-AES spectrometry • Spodic Psamacuentes • Typical Psamacuentes

INTRODUCCIÓN

Los pastizales naturales constituyen la base forrajera de la producción bovina, ovina y equina de la región Nordeste de la Argentina (NEA).

La importancia de los pastizales es de gran magnitud y está dada en aspectos ambientales, sociales y económicos. Estos son evaluados a través de indicadores de sustentabilidad (37).

La disponibilidad y calidad de la biomasa forrajera, definen el tipo de ganadería que prevalece en la misma.

Una característica de estos pastizales es que están compuestos por especies megatérmicas con alta capacidad fotosintética (C4), de porte alto con mayor eficiencia en el uso del agua, ligero crecimiento estival, producto del incremento de la temperatura, precipitaciones y horas luz. La tasa de crecimiento disminuye en otoño e invierno. La calidad decae rápidamente (6, 7).

El estado fenológico de los pastizales influye sobre el contenido de proteína y de minerales en los mismos: en las primeras fases del crecimiento el contenido de

minerales es alto, luego decrece en forma gradual a medida que la planta madura.

P, Fe, Zn, Co y Mo son los elementos que presentan mayor disminución durante el proceso fisiológico de crecimiento y maduración (3).

El contenido de proteínas y de energía son los factores más importantes que influyen en la nutrición de los animales. Para maximizar la producción ganadera los requerimientos nutricionales son cada vez más altos, pero su aporte se vuelve ineficiente cuando no se tiene en cuenta su interacción con los minerales (40).

La mayoría de estos pastizales no cubren las necesidades de minerales. Existe evidencia que indica que los minerales regulan la salud de los grandes herbívoros (47).

La baja disponibilidad de minerales en el suelo afecta al contenido de elementos minerales en el tejido vegetal (41).

Para la producción ganadera una limitante es la inadecuada nutrición mineral, que puede manifestarse por problemas de deficiencia, toxicidad o desbalances minerales (11).

Los requerimientos de minerales dependen de la edad de los animales, raza, tipo y nivel de producción (22).

Se consideran como minerales esenciales al P, Ca, Mg, Na, Cl, K, Fe, Zn, Cu, Co, Mo, Mn, Y, Se, Cr y S; probablemente esenciales son F, Li, Si, V, Ni, As, Pb, Sn, Cd, B, Al, Br, Ba, Er y Ti; y con función incierta se incluyen al Ge, Sb, Cs, Th, Tl, Be, Bi, U, Zr, Ag, Sc y Ga (34, 35).

En varias regiones del mundo han sido reportados deficiencias y excesos de elementos minerales en bovinos.

En el NEA se conocen algunos problemas de carencias minerales limitantes para la producción (1, 3, 28, 29, 30, 40). Los minerales deben estar presentes en cantidades adecuadas y equilibradas en la alimentación de los bovinos, su déficit o exceso puede ocasionar cuantiosas pérdidas en los rodeos. Esto está directamente relacionado con la obtención en el forraje de elementos minerales disponibles, necesarios para cubrir las demandas fisiológicas de los animales (6).

En las condiciones tropicales los elementos minerales que tienen una mayor probabilidad de escasear son P, Ca, Na, Co, Cu, I, Se, Zn y en menor medida el Mg, K, Fe y Mn pueden ser deficientes. Por su parte, F y Mo si se encuentran en exceso son extremadamente perjudiciales (20).

Diversos autores señalan que es necesario mejorar el conocimiento sobre el contenido mineral de las distintas áreas ganaderas a fin de aplicar prácticas que permitan mejorar las respuestas productivas y reproductivas de los sistemas ganaderos (4, 6, 13, 15).

Objetivo

Determinar la composición florística y el aporte de minerales a la dieta animal para la producción de carne bovina de los pastizales de *A. lateralis* y *S. setosum*, en dos series de suelo de la provincia de

Corrientes, Argentina.

Hipótesis

Las especies dominantes aportan la mayor proporción de materia seca en cada pastizal.

Los pastizales de PAL y PSS suministran diferentes concentraciones de elementos minerales a la dieta de bovinos productores de carne.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio

El experimento se condujo en la región occidental de la provincia de Corrientes, República Argentina, en los Departamentos San Cosme, General Paz, San Miguel y San Roque. El área de referencia, se encuentra entre los paralelos 27°20' y 28°21' de latitud Sur; los meridianos 57°12' y 58°41' longitud Oeste, entre 60 y 72 m s. n. m. Según el mapa de suelos de la provincia de Corrientes (14), pertenece a dos regiones: a la Región de Albardón y planicie subcónica del Río Paraná y afluentes y a la Región de las lomadas arenosas, planicies y depresiones. La temperatura media es de 20,5°C a 21,5°C y la precipitación es de 1346,1 mm anuales.

Se identificaron en el área de referencia dos Series de suelo, que corresponden al Orden Entisoles, Suborden Acuentes, Gran Grupo Psamacuentes, Sub grupo Psamacuentes spódicos, arenosa, mixta: Serie Chavarría (SSC) y Subgrupo Psamacuentes típicos, arenosa, mixta: Serie Pampín (SSP) (14).

La SSC constituye una de las Series de mayor distribución y superficie dentro de la provincia de Corrientes.

El relieve es normal y se ubica en planicies arenosas pardo amarillentas, en posición de media loma a media loma

baja, con pendientes de 1 a 1,5%, con escurrimiento lento, la permeabilidad es moderadamente lenta y el drenaje es imperfecto a moderado. Son suelos pocos profundos (0,60 m) de muy baja fertilidad, con escaso tenor de materia orgánica.

La SSP se ubica en relieve normal, posición de loma, con pendientes de 1 a 1,5%. Son suelos profundos y de baja fertilidad, compuestos por un manto arenoso de 1,20 m de espesor.

El principal uso de estas series de suelos es el campo natural y conforman los pastizales, definidos como una porción de superficie donde predominan especies herbáceas, muchas de ellas apetecidas por el ganado, consideradas espontáneas, naturales del lugar; y no hay especies introducidas.

Se destinan a la ganadería extensiva y para la forestación de bosques cultivados con especies de pino y eucalipto. Cuando se mejoran las condiciones de drenaje y fertilidad se los utiliza para agricultura. Se ubica en la Clase IVw y el Índice de Productividad es de 16 (14).

Muestras vegetales

Los pastizales se caracterizan por presentar una especie dominante y de mayor participación en la producción de biomasa aérea y un conjunto de otras especies acompañantes que integran el tapiz vegetal. Así surgen los nombres de los pastizales de *A. lateralis* "Paja colorada", "Capii pyta" (PAL) y pastizales de *S. setosum* "Paja amarilla", "Pasto indio" (PSS).

Considerando la utilización por el ganado los pastizales están integrados por un conjunto de especies deseables, intermedias e indeseables (6, 19).

La distribución de los PAL no está relacionada con el tipo de suelo (16). Los PSS se encuentran en áreas bajas, anegadizas, de suelos arenosos.

El área de mayor presencia es la región de los malezales. Forma grandes poblaciones casi puras o se asocia con "paja colorada" y numerosos géneros de ciperáceas (16).

Con la información del mapa de suelos de la provincia de Corrientes, Argentina e imágenes satelitales, en el área de estudio se identificó cuatro sitios con una superficie de 3 ha cada uno. La SSC en las localidades de Ramada Paso y San Miguel y la SSP en las localidades de Paso Florentín y Paso Naranjito. En cada sitio se localizó los PAL y los PSS. A fin de homogeneizar la vegetación, se realizó clausuras 3 meses antes de la toma de las muestras.

En cada sitio y tipo de pastizal a partir de un punto se tomaron al azar, en forma de zig-zag, sobre una transecta de 100 m de longitud y con el auxilio de un marco de 1,00 x 1,00 m. Se colectó 10 muestras de la parte aérea de las especies forrajeras del tapiz, cortando con una tijera a una altura de 2 cm sobre el suelo. Se eliminó el material muerto encontrado.

Las muestras fueron tomadas en el período estival y el estado fenológico fue al comienzo de la floración. Las muestras se llevaron al laboratorio y se determinó el porcentaje de la composición florística de la biomasa forrajera en base al peso seco (19).

Parte del material vegetal fue estabilizado en estufa de aire forzado a 65°C hasta humedad higroscópica (peso constante), molido con molino a cuchillas provisto de tamiz de 0,5 mm. De cada una se tomó 0,5 g de muestra, que fue puesto en crisol de porcelana, cubierto y carbonizado durante 1 h por ignición suave a 500°C y luego enfriado. Se le añadió 15 ml de ácido clorhídrico, 10 ml de ácido nítrico y 5 ml de ácido perclórico, llevando luego a volumen de 50 ml y agitando energicamente; los reactivos usados fueron de pureza analítica.

Las concentraciones de los elementos minerales fueron determinadas mediante espectrometría de emisión atómica por plasma acoplado inductivamente (ICP-AES), usando un espectrómetro Varian Vista-PRO radial, a 167-785 nm, con calibración automática y periódica.

Diseño experimental

El diseño experimental para la toma de muestras fue de bloques completos al azar con diez repeticiones. Los tratamientos corresponden a las series de suelo (SSC y SSP) y a los PAL y PSS. El modelo estadístico utilizado para el análisis de los datos fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \text{bloque}_i + \text{pastizal}_j + \text{serie}_k + \text{pastizal}_j \times \text{serie}_k + \varepsilon_{ij}$$

donde:

Y_{ij} = variable dependiente.

μ = media de Y (variable dependiente).

bloque_i = efecto fijo del i-ésimo bloque o repetición.

pastizal = el efecto del j-ésimo pastizal (tratamiento), ($j=1, \dots, b$).

serie_k = efecto fijo de k-ésimo serie.

ε_{ij} = es el error residual.

Los resultados se sometieron a un análisis de varianza (ANAVA) y comparación de medias por Test de Tukey con una significancia $p < 0,05$. La información se procesó utilizando InfoStat (12).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición florística

En la tabla 1 (pág. 208), se presenta la composición florística promedio de los PAL y PSS de acuerdo con el aporte en la producción de materia seca de cada una de las especies que conforman los pastizales, siendo las especies dominantes las que

contribuyen con la mayor parte de la biomasa aérea.

Las especies son de ciclo primavero-estivo-otoñal. El ANAVA demostró que existió interacción significativa entre pastizales y series de suelo.

Pastizales de *A.lateralis*

La especie dominante y de mayor participación en la producción de biomasa aérea, en las dos series de suelos, fue *A. lateralis*.

Desde el punto de vista forrajero, el principal aporte lo realizan las gramíneas; la familia de las ciperáceas aporta 3 a 4% de la materia seca, igual al aporte de la familia de leguminosas. No se encontró diferencia significativa del aporte de materia seca entre las series de suelos. Hack *et al.* (2009) reporta valores similares para pastizales del NEA.

Pastizales de *S. setosum*

La especie dominante y de mayor participación en la producción de biomasa aérea, en las dos series de suelos fue *S. setosum*. Estos resultados con pequeñas variaciones de la composición botánica de pastizales fueron reportados también por diversos autores (6, 8, 16, 18, 38).

Contenido de minerales

Las concentraciones de elementos minerales de la materia seca no presentaron interacción entre serie de suelo y tipo de pastizal. Existieron diferencias significativas del contenido de elementos minerales entre pastizales (tabla 2, pág. 209).

Con relación a las series de suelo, las concentraciones de los elementos P, Ca y Mg de la biomasa de ambos pastizales no presentaron diferencias significativas.

Se obtuvo diferencias significativas para los contenidos de Na, Mn y Cu, que fueron mayores en la serie pampín en los dos pastizales.

Tabla 1. Porcentaje de composición florística promedio de los PAL y PSS en relación con la producción de materia seca para cada serie de suelo.**Table 1.** Percentage of average floristic composition of the PAL and PSS in relation to the production of dry matter for each series of soil.

Especies vegetales	% de composición florística de los pastizales de			
	<i>A. lateralis</i> (PAL)		<i>S. setosum</i> (PSS)	
	Series de suelos			
	Chavarría	Pampin	Chavarría	Pampin
<i>Andropogon lateralis</i>	58,1 ± 2,5 B	55,1 ± 3,2 b	11,2 ± 1,8 A	9,4 ± 0,9 a
<i>Sorghastrum setosum</i>	8,2 ± 0,7 A	7,0 ± 0,6 a	40,0 ± 2,1 B	35,1 ± 3,6 b
<i>Schizachyrium microstachyum</i>	3,0 ± 0,3 A	5,9 ± 0,2 a	4,1 ± 0,3 B	8,0 ± 0,7 b
<i>Sporobolus</i> sp	6,0 ± 0,6 B	4,3 ± 0,3 a	4,5 ± 0,3 A	4,3 ± 0,2 a
<i>Axonopus</i> sp	3,1 ± 0,3 B	4,6 ± 0,2 a	3,9 ± 0,2 A	5,1 ± 0,3 b
<i>Setaria parviflora</i> var. <i>parviflora</i>	2,3 ± 0,3 B	2,0 ± 0,2 a	1,1 ± 0,2 A	6,8 ± 0,8 b
<i>Sorghastrum nutans</i>	2,1 ± 0,2 A	1,1 ± 0,3 a	4,8 ± 0,4 B	6,7 ± 0,6 b
<i>Paspalum notatum</i>	2,2 ± 0,4 A	6,5 ± 0,8 a	3,1 ± 0,2 B	5,8 ± 0,3 a
<i>Desmodium incanum</i>	2,1 ± 0,3 A	1,2 ± 0,2 a	2,0 ± 0,1 A	2,0 ± 0,2 b
<i>Desmodium barbatum</i>	1,4 ± 0,2 B	3,0 ± 0,2 b	1,1 ± 0,1 A	1,9 ± 0,2 a
Ciperáceas	4,5 ± 0,5 A	4,2 ± 0,3 a	12,0 ± 0,9 B	3,9 ± 0,5 a
Otras especies	7,0 ± 0,8 A	5,1 ± 0,3 a	12,2 ± 0,8 B	11,0 ± 0,7 b

Los valores representan la media de 40 muestras por tipo de pastizal y el desvío estándar.

En la fila letras mayúsculas (minúsculas) distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Values represent the mean of 40 samples per pasture and standard deviation. In row uppercase letters (lowercase) distinct indicate significant differences ($p < 0.05$).

La concentración de Zn fue mayor en la serie pampin en PAL. Mientras que los contenidos de Fe y Co fueron mayores para la serie Chavarría en PAL.

Los valores de requerimientos y la concentración máxima tolerable indicada de los elementos minerales corresponden a la categoría bovinos de carne (35).

Minerales esenciales

Fósforo

El contenido de P de la materia seca no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$). No cubren el requerimiento de referencia (2600 mg kg⁻¹) (35). Estos valores confirman el déficit del contenido de P de los pastizales en la zona de muestreo (32).

Sanpedro (2002) obtuvo valores más altos (900 mg kg⁻¹) en pastizales del NEA y destaca la deficiencia de P en el forraje durante todo el año.

La fertilización con P del campo natural constituye una alternativa; Porta *et al.* (2008) obtuvieron incrementos del 17% del fósforo foliar en pastizales con agregado de 90 kg ha⁻¹ de P.

La deficiencia de P es la más frecuente a nivel mundial en rumiantes a pastoreo (43).

El déficit produce disminución en el crecimiento, deficiencia para alimentarse y disminución en la producción. Se recomienda la suplementación mineral con P cuando la concentración del mismo es inferior a 1400 mg kg⁻¹ en la materia seca del forraje (32).

Tabla 2. Contenido de minerales de la materia seca de los PAL y PSS. Requerimiento y concentración máxima tolerable para el ganado vacuno productor de carne.**Table 2.** Mineral content of the dry matter of the PAL and PSS. Requirements and maximum tolerable concentration for cattle meat producer.

ELEMENTO	LD mg.kg ⁻¹ ceniza	<i>A. lateralis</i> (PAL)	<i>S. Setosum</i> (PSS)	Requerimiento mg.kg ⁻¹ materia seca	Concentración Máx. tolerable mg.kg ⁻¹ materia seca
Elementos minerales esenciales					
Fósforo (P)	0,150	425,98 A	325,98 A	2600	10000
Calcio (Ca)	0,021	552,77 A	548,53 A	4000	20000
Magnesio (Mg)	0,060	257,63 A	224,81 A	2000	4000
Sodio (Na)	0,060	100,28 B	70,22 A	100	10000
Potasio (K)	0,450	2193,78 B	1419,35 A	7000	30000
Hierro (Fe)	0,012	29,92 A	36,46 A	50	1000
Zinc (Zn)	0,006	16,01 B	6,76 A	30	500
Cobre (Cu)	0,009	2,05 A	2,04 A	10	100
Cobalto (Co)	0,006	0,04 A	0,05 A	0,10	10
Molibdeno (Mo)	0,015	< 0,01	< 0,01	0,1	5-6
Manganeso (Mn)	0,003	57,45 A	94,20 B	40	1000
Iodo (I)	...	0,26 *	0,26 *	0,5	50
Selenio (Se)	0,150	< 0,09	< 0,07	0,10	2
Cromo (Cr)	0,012	< 0,01	< 0,01	1	1000
Azufre (S)	...	0,25 *	0,25 *	1500	4000
Fluor (F)	...	< 0,20 *	< 0,20 *	...	40
Cloro (Cl)	...	...	...	2000	24000
Elementos minerales probablemente esenciales					
Litio (Li)	0,006	2,69 B	2,06 A	...	...
Silicio (Si)	0,060	64,28 A	96,50 B	...	...
Vanadio (V)	0,009	0,11 A	0,09 A	...	...
Niquel (Ni)	0,030	0,02 A	0,02 A	1	50
Arsénico (As)	0,106	< 0,03	< 0,03	...	50
Plomo (Pb)	0,084	< 0,05	< 0,05	...	30
Estaño (Sn)	0,051	< 0,03	< 0,03	...	...
Cadmio (Cd)	0,003	0,03 A	0,04 A	...	0,05
Boro (B)	0,009	3,87 B	1,48 A	...	5
Aluminio (Al)	0,060	35,45 A	31,55 A	...	1000
Bario (Ba)	0,003	6,43 A	10,43 B	...	1000
Estroncio (Sr)	0,001	6,74 A	7,35 A	...	2000
Titanio (Ti)	0,006	1,88 B	1,30 A	...	...
Elementos minerales con función incierta					
Antimonio (Sb)	0,063	< 0,04	< 0,04	...	...
Uranio (U)	0,450	< 0,29	< 0,29	...	...
Plata (Ag)	0,021	< 0,01	< 0,01	...	...
Talio (Tl)	0,081	0,26 A	0,45 B	...	...
Torio (Th)	0,090	< 0,06	< 0,06	...	...
Mercurio (Hg)	0,030	< 0,002	< 0,002	...	2
Bromo (Br)	...	...	...	...	200

En las filas: Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Los valores representan la media de 40 muestras por tipo de pastizal y el desvío estándar.

*Valores bibliográficos para la región NEA (30). / LD: límite de detección.

In the ranks: Different letters indicate significant differences uppercase ($p < 0.05$). Values represent the mean of 40 samples per pasture and standard deviation.

* Literature values for the NEA region (30). / LD: detection limit.

La deficiencia de P en los pastizales, probablemente se relaciona con la baja disponibilidad de P en el suelo, menos de 5 mg kg⁻¹ P, Bray-Kurtz (27)

Calcio

La concentración de Ca no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$); los valores encontrados se mantuvieron por debajo del nivel crítico, (35).

Con concentraciones inferiores a las reportadas por otros autores (6, 29, 32), para pastizales de la región NEA.

Con prácticas de quemas del pastizal en forma bienal, Fernández *et al.* (2011) registraron incrementos de las concentraciones de Ca, hasta 0,167 % en la materia seca.

Magnesio

El contenido de Mg registró valores por debajo de los niveles críticos (35).

Mufarrege (1999) reporta valores de 0,20% en la materia seca de forrajeras naturales.

Los forrajes tropicales en su mayoría presentan valores de Mg inferiores al requerimiento (23).

Sodio

La concentración de Na presentó diferencias significativas entre tipos de pastizales ($p < 0,05$).

En PSS los contenidos estuvieron por debajo del valor crítico (35).

Valores de 0,02 a 0,06% fueron reportados en pastizales similares (29, 42).

Norton (1982), señala que las gramíneas tropicales son limitantes en contenido de Na. Esto indica que la mayoría de los forrajes no contienen cantidad suficiente del elemento para cubrir las necesidades de una correcta nutrición de los animales, por lo que es necesaria una suplementación con cloruro de sodio.

En el NEA, del 80 al 90 % de las pasturas naturales son deficientes en Na (5).

Potasio

La concentración de K registró valores por debajo del nivel crítico, con diferencias significativas entre pastizales ($p < 0,05$). Estos valores son inferiores a las isóneas de K de los pastizales para la región NEA reportada por Mufarrege (2004).

El contenido de K en los pastizales está relacionado con la concentración del elemento en el suelo, la especie, estado fenológico y variaciones por la época del año (23).

Para mantener el nivel de K requerido por los forrajes es necesario incorporar fertilizantes a la pastura (24, 32).

La deficiencia de K se manifiesta con una reducción en el consumo y pérdida de peso (27, 35).

Hierro

La concentración de Fe presentó valores inferiores al nivel crítico, sin diferencias significativas entre pastizales ($p < 0,05$).

Valores similares son reportados por Mufarrege (2003) para la provincia de Corrientes. Es bien conocido que el Fe se encuentra más disponible a bajo pH (ácido), lo que permite una mayor absorción por la planta.

El contenido de Fe en los vegetales varía con el tipo de suelo, condiciones climáticas y especie vegetal (45).

Zinc

La concentración de Zn registró valores por debajo del nivel crítico.

Ambos pastizales muestran un déficit en la concentración de Zn y presentan diferencias significativas entre tipo de pastizales ($p < 0,01$). Esto confirma lo reportado por Mufarrege (1999) y que

Bernardis *et al.* (2005), ya que en la Región del NEA la concentración de Zn es inferior a 20 mg kg⁻¹ de materia seca de los pastos naturales. La concentración de Zn disminuye con la madurez del forraje.

Existen varias formas de suplementar con Zn, incorporando en la ración o en las mezclas minerales, algunas de las sales, como óxido de zinc, sulfato, cloruro, carbonatos o una sustancia orgánica que contenga Zn para evitar, entre otros, problemas de paraqueratosis en la piel (45).

Cobre

La concentración de Cu no cubre el requerimiento. En pastizales similares de la región se reportan valores de 3,9 a 6,8 mg kg⁻¹ (30, 39).

La deficiencia de Cu en los forrajes se presenta cuando los suelos tienen deficiencia natural de Cu y por interacciones con otros elementos minerales como Fe, Zn, Cd, Mo y S.

El contenido de Cu en las pasturas varía con el tipo de suelo (pH, contenido de materia orgánica), especie de planta, estado de madurez, manejo y clima (45).

En todas las regiones de la Argentina se manifiesta una deficiencia de Cu y ha sido reconocida como enfermedad endémica (39).

Cobalto

La concentración de Co no cubre el requerimiento. Valores similares fueron obtenidos por Mufarrege (1999) en tanto que Balbuena *et al.* (2013) en pastizales de la provincia del Chaco, Argentina, obtuvieron valores de entre 0,07 y 0,24 mg kg⁻¹.

Molibdeno

La concentración de Mo fue menor a 0,01 mg kg⁻¹ en ambos pastizales, con lo cual no cubre el nivel crítico.

Mufarrege (2003) cita valores bibliográficos de 0,8 mg kg⁻¹ en la materia seca de pastos de la región del NEA.

Balbuena *et al.* (2013) registraron valores de 3 a 42 mg kg⁻¹ de Mo en *Melilotus albus* en la provincia del Chaco, Argentina.

Altos niveles de Mo parecen ser frecuentes en pasturas cultivadas en varias zonas del país y por ello pueden resultar tóxicas.

Debería suplementarse con Cu para contrarrestar un posible efecto tóxico del microelemento Mo (36).

Manganeso

El contenido de Mn presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tipos de pastizales.

Los contenidos superan los requerimientos del ganado bovino y se encuentran por debajo de la concentración máxima tolerable (35).

Las altas concentraciones detectadas pueden explicarse por la presencia de concreciones de Fe y Mn en la SSP (14).

Los valores obtenidos son inferiores a lo comunicado por Mufarrege (2003) quien registró valores de 351 mg kg⁻¹.

En la Región NEA el contenido de Mn de los pastizales es un reflejo del nivel del elemento en los suelos, siendo suficientemente alto como para que no se produzcan deficiencias del elemento en el ganado bovino (27).

Selenio

Las concentraciones de Se fue inferior al nivel crítico. No presentó diferencias significativas ($p > 0,05$) entre tipos de pastizales. En el ganado bovino ha sido diagnosticada la deficiencia de Se por el análisis de muestras de sangre tomadas en distintas partes del país, desde el Chaco a la cuenca del Salado (27).

Un suplemento con Se o Cr orgánico quelados incrementan la degradabilidad de la materia seca, de la fibra detergente neutra y de la fibra detergente ácida en el rumen de novillos pero no afecta a la proteína cruda (9).

Cromo

La concentración de Cr fue menor a 0,01 mg kg⁻¹ en ambos tipos de pastizales, es decir valores siempre inferiores al requerimiento.

El papel fisiológico predominante del Cr es integrar el factor de tolerancia a la glucosa que potencia la insulina (10).

La dieta de terneros en crecimiento con el agregado de 0,05 mgkg⁻¹ de Cr como picolinato de Cr o polinicotinato de Cr, aumentó la tasa de metabolización de glucosa. Agregando Cr a la ración (0,2 a 1,0 mgkg⁻¹ de Cr), se aumentó la ganancia de peso vivo y la respuesta inmune en terneros afectados por el transporte (35).

Los forrajes tropicales son a menudo deficientes en elementos esenciales. Los minerales más deficientes aún fueron P, Na, Cu, Zn, Ca, Mg y Se (25).

Elementos minerales probablemente esenciales: Li, Si, V, Ni, As, Pb, Sn, Cd, B, Al, Ba, Sr, Ti

En la tabla 2 (pág. 209), se presentan las concentraciones de estos elementos en los PAL y PSS. Ciertos autores han demostrado para algunas especies animales que el As, B, Pb, Si y V (35, 36) son esenciales, pero no hay evidencia de que estos minerales tengan importancia práctica en el ganado bovino. No se han establecido los niveles de requerimiento, excepto para el Ni.

Para algunos de ellos se conoce los niveles máximos tolerables.

En las muestras analizadas la concentración de elementos en la materia seca registró valores por debajo de ese nivel crítico. Se encontró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tipos de pastizales para Li, Si, B, Ba y Ti.

Elementos minerales con función incierta: Sb, U, Ag, Tl, Th, Hg, F, Br

La concentración de Sb, U, Ag, Tl, Th,

Hg, F y Br en la materia seca de ambos pastizales está por debajo del límite de detección (LD) de cada elemento (tabla 2, pág. 209) para la metodología utilizada (ICP-AES). Estos elementos minerales no tienen una función reconocida en el metabolismo animal, por lo tanto no se han establecido niveles de requerimiento y no se conocen los niveles máximos tolerables, excepto para Hg, F y Br (35, 36).

Elementos minerales tóxicos

Todos los elementos minerales cuando se encuentran en altas concentraciones en la dieta animal provocan algún trastorno al metabolismo.

Algunos elementos muy utilizados y conocidos, principalmente sus iones y compuestos como el As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Ag, Pb, V (36) resultan sustancias tóxicas, a pesar que algunos de ellos son necesarios para la vida, pero cuando por algún motivo natural o producto de la actividad del hombre, se acumulan en altas concentraciones en el suelo, agua y forraje, se convierten en tóxicos muy peligrosos.

Los flujos de elementos en el sistema suelo-planta dependen sobre todo de las condiciones del suelo (nivel de contaminación, textura, acidez, contenido en materia orgánica, entre otros factores) que determinan la biodisponibilidad de estos elementos.

Por otra parte, distintas especies tienen distintos patrones de absorción a nivel raíz y de traslocación y acumulación de elementos en la biomasa aérea (13).

En los PAL y PSS estudiados la concentración de elementos minerales (tabla 2, pág. 209) no llega a superar los niveles de concentración máxima tolerable para bovinos de carne (35, 36).

Relación entre minerales en la biomasa

El requerimiento en elementos minerales está relacionado con la categoría animal y la ganancia de peso diaria.

Una concentración mayor o menor de un elemento en la dieta podrá incrementar el requerimiento de un tercer elemento. Esto ocurre por simple competencia de algunos agentes transportadores y otras por interacción metabólica (2). Aquí se analiza algunas de estas relaciones (tabla 3).

Relación Ca/P

Resultó una proporción adecuada, con diferencias significativas entre pastizales ($p < 0,05$) y no fue afecta por las series de suelo.

Las concentraciones de P no superan a las de Ca en ambos pastizales.

El exceso de P en la dieta por largos períodos de tiempo causa trastornos en el metabolismo del Ca, excesiva resorción ósea y cálculos urinarios en animales jóvenes productores de carne (35).

Relación Na/K (mEq)

Fueron similares en ambos pastizales y series de suelo. Los valores obtenidos resultan aceptables comparados con la referencia.

El K trabaja en conjunto con el Na para facilitar la entrada y salida de nutrientes a

las células (actividad de la bomba Na/K) y ayuda a mantener el balance de agua en la célula (17).

Relación K/Mg

Registró valores mayores a la referencia en ambos pastizales y series de suelo. Esta es determinante en el riesgo de ocurrencia de la hipomagnesemia (44, 46), que puede ocurrir cuando el Mg del pastizal es inferior a 2000 mg kg⁻¹ de la MS.

Relación K/Ca+Mg (mEq)

Es el potencial tetanizante, calculado a partir de la fórmula de Kemp y t'Hart (1953); cuando esta relación es menor de 2,2 los casos de tetania serían inferiores a 0,7% y cuando la relación es mayor de 3,0 los casos serían del orden del 15% (26, 27).

En los pastizales estudiados en ambas series de suelo las concentraciones de Mg se encuentran por debajo del requerimiento y la relación K/Ca+Mg está próximas al umbral de riesgo.

Es necesario considerar el Mg que aporta el agua de bebida. Podrían detectarse problemas de hipomagnesemia si no se suplementa con minerales a base de Mg.

Tabla 3. Relación entre los elementos minerales de la materia seca en los dos tipos de pastizales.

Table 3. Relationship between the mineral elements of the dry matter in the two types of grasslands.

Relación	Pastizal de <i>A. lateralis</i>	Pastizal de <i>S. sorghastrum</i>	Valores de referencia
Ca/P	1,30 A	1,68 B	1 a 2
Na/K (mEq)	0,08 A	0,08 A	> 0,024
K/Mg	8,51 B	6,31 A	< 3,50
K/Ca+Mg (mEq)	2,30 B	1,58 A	< 2,20
Na/Mg (mEq)	0,41 B	0,33 A	< 0,11
Cu/Mo	205 A	204 A	> 2,00
Cu/Fe	0,07 A	0,06 A	> 0,04

En las filas: Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

In the ranks: Different letters uppercase indicate significant differences ($p < 0.05$).

Relación Na/Mg(mEq)

Los valores se encuentran por encima de la referencia ($< 0,11$), esto significa que la concentración de Mg es baja. Se encontró diferencias significativas entre pastizales y no entre series de suelo.

Relación Cu/Mo

Los valores fueron altos en ambos pastizales y series de suelo, debido a los bajos contenidos de Mo. Se utiliza esta relación para evaluar el contenido de Cu del pasto.

Los signos de hipocuprosis se manifiestan cuando la relación es menor que 2:1 (30).

El Mo y el S disminuyen la absorción verdadera del Cu, los molibdatos y sulfuros reaccionan en el rumen formando tiomolibdatos y estos reaccionan con el Cu formando compuestos totalmente insolubles.

En ganado bovino, concentraciones de Mo de 3 a 20 ppm, volvieron inadecuadas concentraciones de Cu de 7 a 14 ppm del pasto (30).

En la Argentina la deficiencia de cobre en la mayoría de las regiones es condicionada, existe un bloqueo del cobre del pasto por la presencia de Mo y S (39). Esto no ocurre en los pastizales en estudio.

Relación Cu/Fe

El Fe al igual que el Mo es un potente antagonista del Cu en terneros.

La acción depresiva del Fe (se estima a partir de 250 mg kg⁻¹) y Mo serían aditivas (27).

En los pastizales analizados la concentración de Fe es baja por lo que no afectaría la disponibilidad de cobre. La relación Cu/Fe es adecuada respecto de la referencia.

CONCLUSIONES

En las series de suelo Chavarria y Pampin de la provincia de Corrientes, Argentina, la familia de las gramíneas aportó la mayor parte de la materia seca en los pastizales de *A. lateralis* y *S. setosum*. Estas fueron las especies más frecuentes y de mayor aporte de materia seca para cada tipo de pastizal respectivamente.

Las series de suelo afectaron al aporte de materia seca de cada especie en la mayoría de los casos en cada pastizal. Los pastizales estudiados aportan diferentes concentraciones de elementos minerales.

El perfil de elementos minerales esenciales, probablemente esencial y los de función incierta en los pastizales de *A. lateralis* y *S. setosum*, cubren parcialmente los requerimientos del ganado bovino productor de carne, excepto para Mn.

Las concentraciones encontradas de elementos minerales no llegan a ser tóxicas.

Las series de suelo no afectaron las concentraciones de P, Ca y Mg en los dos pastizales. Sí en cambio, a las concentraciones de Na, K, Mn, Fe, Zn, Cu, Co, Se, Mo pampín.

Las relaciones entre los elementos Ca/P, Na/K (mEq), Cu/Mo y Cu/Fe son aceptables. Las relaciones K/Mg, K/Ca+Mg (mEq) y Na/Mg (mEq) no son adecuadas, por la deficiencia de Mg.

La suplementación con minerales esenciales debe ser una práctica en bovinos a pastoreo en la zona de estudio, sobre todo en los pastizales de *A. lateralis* y *S. setosum*.

BIBLIOGRAFÍA

1. Arias, A.; Gandara, F.; Slobodzian, A. 1983. Nutrición mineral del ganado. Informe de situación en el área de la E.E.A. Corrientes. Rev. Argentina de Producción Animal. 4(3): 8-11.
2. Avila Teller, S.; Gutierrez Chavez, A. J. 2010. 2° ed. Vol. 1. Producción de leche con ganado bovino. Ed. Manual Moderno. 424 p.
3. Balbuena, O. 2003. Tecnología disponible en el NEA para la suplementación de vacunos en pastoreo. EEA INTA Colonia Benitez. Disponible en: <http://inta.gov.ar/documentos/>. (fecha de consulta 15/06/15).
4. Balbuena, O.; McDowell, L.; C. Luciani; Conrad, J.; Wilkinson, N.; Martin, F. 2013. Estudios de la Nutrición Mineral de los bovinos para carne del este de las provincias de Chaco y Formosa (Argentina). 5. Cobalto y Selenio. Rev. Veterinaria Argentina. 56(6): 25-32.
5. Bavera, G. A. 2005. Suplementación mineral del bovino a pastoreo y referencias en engorde a corral. Disponible en: www.produccion-animal.com.ar (fecha de consulta 19/05/15).
6. Bernardis, A. C.; Roig, C. A.; Bennasar Vilches, M. 2005. Productividad y calidad de los Pajonales de *Sorghastrum setosum* (Griseb.) Hitchc. en Formosa, Argentina. Rev. Agricultura Técnica. Chile. 65(2): 177-185.
7. Berone, G. D. 2016. Leaf expansion and leaf turnover of perennial C4 grasses growing at moderately low temperatures. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 48(2): 69-82.
8. Castelan, M. E.; Porta, M.; Hack, C. M.; Salvia, M. T.; Ciotti, E. M. 2013. Ambientes pastoriles de un establecimiento foresto-ganadero de la localidad de Cavaría (Corrientes). Rev. Agroecología. Argentina. 21(1): 18-23.
9. Chávez Solis, A. U. 2012. Efecto del cromo y selenio quelados en la degradación y fermentación ruminal en dietas para novillos en finalización. Disponible en: colposdigital.colpos.mx/http://hdl.handle.net/10521/1760. (Fecha de consulta 16/05/2015).
10. Ciria Ciria, J.; Villanueva Marín, R.; Ciria García de la Torre, J. 2005. Avance en nutrición mineral en el ganado bovino. E.U.I: Agrarias de Soria, Universidad de Valladolid, España. IX Seminario de Pastos y Forrajes. 50 p.
11. Depablos, L.; Godoy, S.; Chicco, C. F.; Ordoñez, J. 2009. Nutrición mineral en sistemas ganaderos de las sabanas centrales de Venezuela. Rev. Zootecnia Tropical. 27(1): 25-37.
12. Di Rienzo, J. A.; F. Casanoves; M. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada; C. Robledo. 2013. InfoStat. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>.
13. Dominguez, M. T. 2010. Elementos traza en el sistema planta-suelo: implicaciones para la ecología de especies leñosas mediterráneas y la restauración de zonas contaminadas. Rev. Ecosistemas. 19(1): 92-96. Disponible en <http://www.revistaecosistemas.net>. (Fecha de consulta 23/06/15).
14. Escobar E.; Ligier, H.; Melgar, R.; Matteio, H.; Vallejos, O. 1996. Mapa de suelos de la provincia de Corrientes 1:500.000. Ed. INTA. EEA Corrientes. Argentina. 430 p.
15. Fernández, J. A.; Schroeder, M. A.; Goldfarb, M. C.; Bernardis, A. C. 2011. Efecto de la frecuencia de quema prescripta sobre la composición mineral de los pastizales en el nordeste argentino. Rev. Ecología Aplicada. Perú. 10(1): 23-29.
16. Fernández, J. G.; Benítez, C. A.; Royo Pallares, O.; Pizzio, R. 1993. 2° Ed. Principales forrajeras nativas del medio este de la provincia de Corrientes. Serie Técnica N° 23. INTA. Estación Experimental Agropecuaria Mercedes, Corrientes, Argentina. 91 p.
17. Greene, L. W. 2000. Designing mineral supplementation of forage programs for beef cattle. Proc Amer Soc Anim Sci. J Anim Sci 77: E1-9.
18. Hack, C. M.; Ciotti, E. M.; Castelan, M. E.; Porta, M.; Tomei, C. 2009. Efecto de dos sistemas de pastoreo en la producción de materia seca y la composición florística de un pastizal de *Andropogon lateralis* Nees. Revista Agroecología. Argentina. 19(1): 19-24.
19. Huss, D.; Bernardón, A.; Anderson, D.; Brun, J. 1996. 2° ed. Principios de manejo de praderas naturales. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Of. Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Santiago, Chile. 272 p.

20. Jiménez Arango, F. 2010. Fluctuación de minerales en las praderas de clima medio húmedo de cordillera santander. *Rev. El Centauro*. Colombia. 3(3): 125-133.
21. Kemp, A.; t'Hart, M. L. 1953. Grass tetany in grazing milking cows. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 5: 4-17.
22. Klassen, N. 2010. Para animales en pastoreo Suplementación con minerales. Disponible en: <http://archivo.abc.com.py/suplementos/rural/articulos>. (Fecha de consulta 24/03/15).
23. López, M.; Godoy, S.; Alfaro, C.; Chico, C. F. 2008. Evaluación de la nutrición mineral en sabanas bien drenadas al sur del estado Monagas, Venezuela. *Rev. Científica FCV-LUZ (Maracaibo)*. 18 (2): 197-206.
24. Marschner, H. 1986. Mineral nutrition in higher plants. *Functions of Mineral Nutrients: Macronutrients*. USA. Ed. Academic Press. 180 p.
25. McDowell, L. R.; J. Arthington. 2005. Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales. Universidad de Florida. IFAS. USA. 6-47.
26. Minson, D. J. 1990. *Forages in Ruminant Nutrition*. San Diego, USA. Academic Press. 463 p.
27. Mufarrege D. 1999. Los minerales en la alimentación de vacunos para carne en la Argentina. INTA Mercedes, Corrientes, Argentina. *Divulgación Técnica*. 36 p.
28. Mufarrege, D. 2000. El contenido de zinc de las pasturas naturales en la provincia de Corrientes y en la región NEA. INTA EEA Mercedes, Corrientes, Argentina. *Noticias y Comentarios* N° 341. 4 p.
29. Mufarrege, D. 2002. El calcio en la alimentación del ganado bovino para carne. E.E.A. INTA Mercedes, Corrientes. Argentina. *Noticias y Comentarios* N° 359. 5 p.
30. Mufarrege, D. 2003. El cobre en la ganadería del NEA. E.E.A. INTA Mercedes, Corrientes, Argentina. *Noticias y Comentarios* N° 381. 4 p.
31. Mufarrege, D. 2003. El hierro y el manganeso en la alimentación del ganado de carne en la región NEA. INTA EEA. Corrientes, Argentina. *Noticias y Comentarios* N° 376. 5 p.
32. Mufarrege, D. 2004. EL fósforo en los pastizales de la región NEA. E.E.A INTA Mercedes, Corrientes, Argentina. *Noticias y Comentarios* N° 388. 4 p.
33. Mufarrege, D. 2004. El potasio en la ganadería de la región NEA. E.E.A INTA Mercedes, Corrientes, Argentina. *Noticias y Comentarios* N° 385. 5 p.
34. Norton, B. W. 1982. Differences between species in forage quality. En: J.B. Hacker (Ed.). *Nutritional limits to animal production from pastures*. Commonwealth Agricultural Bureau. Farmhand Royal, UK. 90-110 p.
35. NRC (National Research Council). 2001. Seventh Revised Edition. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. Washington, DC. USA. National Academies Press. 488 p.
36. NRC (National Research Council). 2005. 2nd Edition. *Mineral Tolerance of Animals*. Washington, DC. USA. The National Academies Press. 511 p.
37. Otta, S.; Quiroz, J.; Juaneda, E.; Salva, J.; Viani, M.; Filippini, M. F. 2016. Evaluación de sustentabilidad de un modelo extensivo de cría bovina en Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 48(1): 179-195.
38. Porta, M.; Hack, C. M.; Tomei, C.; Ciotti, E. M.; Castelán, M. E. 2008. Producción de materia seca y fósforo foliar en un pastizal del nordeste de la provincia de Corrientes. *Rev. Agrotecnia*. Argentina. 18:(1) 3-5.
39. Postma, G. C.; Minatel, L.; Carfagnini, J. C. 2010. Deficiencia de cobre en bovinos en pastoreo de la Argentina. *Revista Argentina de Producción Animal*. 30(2): 189-198.
40. Repetto, J. C.; Donovan, A.; García Mata, F. 2004. Carencias minerales, limitantes de la producción. Bs. As. *Laboratorios Biotay*. 2(18):6-7. Disponible en: www.produccion-animal.com.ar. (Fecha de consulta: 18/05/15).
41. Salamanca, A. 2010. Suplementación de minerales en la producción bovina. *Revista electrónica de Veterinaria*. 11(09): 1-10. Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/>. (Fecha de consulta 27/05/15).
42. Sanpedro, D. 2002. Sistemas pecuarios de la zona campos de Argentina: tecnología y perspectivas. Reunión del grupo técnico en forrajeras del cono sur zona campos, XIX. Mercedes, Corrientes, Argentina. *Memorias*. 16-30 p.

43. Soto, C.; Reinoso, V. 2012. Suplementación con fósforo en ganado de carne a pastoreo. REDVET Rev. Electrónica de veterinaria. 13(7): 1-13. Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070712.html>. (Fecha de consulta 02/07/15).
44. Sykes, A. 1993. Hipomagnesemia en bovinos. In: Jornadas Chilenas de Buiatria, 1. Osorno. Anales. Osorno: Sociedad Chilena de Buiatria. 21-28 p.
45. Underwood, J.; Suttle, F. 1999. 3Th Ed. The detection and correction of mineral imbalances. The Mineral Nutrition of Livestock. Wallingford, UK. CABI Publishing. 600 p.
46. Wittwer, F. 1996. Bases para el manejo de la hipomagnesemia bovina en el sur de Chile. Ed. Producción animal. Valdivia: Universidad Austral de Chile. Serie B19. 119-130 p.
47. Yoshiharaa Y; Mizunoa, H.; Oguraa, S.; Sasakib, T.; Satoa, S. 2013. Increasing the number of plant species in a pasture improves the mineral balance of grazing beef cattle Animal Feed Science and Technology. 179(1-4): 138-143.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias Agrarias y la Secretaría General de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE).

Labranza y fertilización como moduladores de la dinámica de comunidades microbianas asociadas a un cultivo de trigo en el sudeste bonaerense (Argentina)

Tillage and fertilization as modulators of the dynamics of microbial communities associated with a wheat crop of Southeast of Buenos Aires (Argentina)

Germán Ricardo Pérez¹, Pablo Andres Barbieri^{1,3}, Keren Hernandez Guijarro¹,
Hernán Eduardo Echeverría¹, Fernanda Covacevich^{1,2*}

Originales: *Recepción:* 02/06/2016 - *Aceptación:* 03/11/2016

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar a campo el efecto de la labranza y la fertilización con macro y micronutrientes, sobre el crecimiento y la colonización de raíces por hongos micorrízicos arbusculares y la abundancia de microorganismos solubilizadores de P en la rizósfera del cultivo de trigo. Para ello, se realizó el monitoreo del crecimiento y la colonización micorrízica de un cultivo de trigo ("Buck SY 300") durante dos campañas en Balcarce (Pcia. Buenos Aires). Se evaluó el crecimiento, la colonización micorrízica del cultivo y las características químicas del suelo de un ensayo dispuesto en tres bloques completamente aleatorizados con arreglo de tratamientos en parcelas divididas. La parcela principal correspondió a los tratamientos de labranza: siembra directa y labranza convencional y las subparcelas a los siguientes tratamientos: Sin Fertilizar (Testigo); Fertilizado con N, P y S (NPS); y Fertilizado con N, P, S; y los micronutrientes Cu y Zn (NPS+Mi). Durante el segundo año se cuantificó además la abundancia de microorganismos cultivables totales y de solubilizadores de P. La fertilización incrementó el crecimiento y rendimiento del cultivo; sin embargo, la labranza no tuvo efectos significativos. La fertilización (NPS y NPS+Micronutrientes) afectó negativamente la colonización micorrízica nativa, mientras que la labranza deprimió la micorrización solo en macollaje. Ni la labranza ni la fertilización afectaron significativamente la abundancia de bacterias totales. Independientemente de la labranza, la fertilización con macro y micronutrientes ocasionó una reducción en los recuentos de solubilizadores de P (solP). En este estudio, se confirma la falta de efecto de la labranza, aunque es evidente el efecto depresivo de la fertilización sobre la colonización micorrízica y la abundancia de solubilizadores de

-
- 1 UI (Unidad Integrada) FCA-UNMdP (Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata) /EEA INTA. Correo Postal Ruta 226 Km 73,5. CC 276. (7620) Balcarce. * covacevich.fernanda@inta.gov.ar
 - 2 CONICET-INBIOTEC (Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Biotecnología) /FIBA (Fundación para Investigaciones Biológicas Aplicadas). Vieytes 3103. (7600) Mar del Plata.
 - 3 CONICET.

P asociados a un cultivo de trigo. Los resultados muestran que aun en sistemas productivos intensivos, los hongos micorrícicos arbusculares y las bacterias solubilizadoras de P se asocian al cultivo de trigo y que estrategias de fertilización son requeridas para lograr mantener alta productividad sin deprimir las poblaciones microbianas nativas del suelo.

Palabras clave

hongos micorrícicos arbusculares • solubilizadores de P • *Triticum aestivum* • manejo agrícola

ABSTRACT

The objective was to evaluate under field conditions, the effect of tillage and fertilization with macro and micronutrients on growth of wheat crop, root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi and the abundance of P solubilizing microorganisms in the rhizosphere. Wheat crop (cv. "Buck SY 300") growth, root mycorrhizal colonization and soil chemical characteristics were assessed during two growing seasons (two years) in Balcarce (Buenos Aires province) of a trial arranged in three completely randomized blocks with treatments arranged in split plot. The main plot treatments were tillage: non-tillage and conventional tillage and subplots following treatments: unfertilized (control); fertilized with N, P and S (NPS); and fertilized with N, P, S; Cu and Zn and micronutrients (NPS + Mi). During the second year abundance of total bacteria and P solubilizer (solP) were also assessed. Fertilization increased growth and yield of the wheat crop; however, tillage had no significant effect. Fertilization (NPS and NPS+Micronutrients) negatively affected mycorrhizal colonization, while tillage depressed root colonization only in tillering. Tillage and fertilization did not affect the abundance of total cultivable bacteria. Instead, tillage and fertilization with macro and micronutrients reduced solP abundance. We confirmed lack of tillage effect but depressive fertilization effect on mycorrhizal colonization and solP associated of wheat crop of Balcarce (Buenos Aires Province). Furthermore, this results shown that even in intensive production systems, arbuscular mycorrhizal fungi and soil P solubilizer bacteria are associated to the wheat crop and fertilization strategies are required in order to maintain high productivity without depressing the native soil microbial populations.

Keywords

arbuscular mycorrhizal colonization • P solubilisers • *Triticum aestivum* • crop management

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la siembra del trigo en Argentina ocupa 4,2 millones de ha, lo que representa un 10,32% de la superficie total destinada a la agricultura (17). Además, la producción de trigo se ha incrementado en un 12,2% en relación con la campaña anterior; estimándose que la producción de la campaña triguera 2014-15, alcanzó 9,2 millones de toneladas (41).

De los cultivos más extendidos en la región, el trigo es el que consume más nutrientes por lo que es uno de los cultivos que recibe la mayor cantidad de fertilizantes. Sin embargo, en escasas ocasiones, los productores consideran los balances de nutrientes previos a la fertilización; y tampoco consideran los efectos de esta práctica sobre las poblaciones microbianas nativas, particularmente las que podrían cumplir roles significativos en el ciclado de nutrientes de importancia agrícola. Entre ellos, las bacterias fijadoras de N, microorganismos solubilizadores de P y hongos micorrícicos arbusculares (HMA) podrían desempeñar un rol importante en la productividad de los cultivos sin atentar contra la sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas (21).

Los suelos agrícolas de la provincia de Buenos Aires tienen una considerable diversidad microbiana general (1, 33) y de HMA, particularmente en agroecosistemas poco degradados (27, 29, 36, 45). Sin embargo, en ocasiones la micorrización nativa puede presentarse en bajo número y ser afectada negativamente por las prácticas agrícolas intensivas, particularmente fertilización intensiva y localizada que resulta en elevados contenidos de P disponible en el suelo (13, 14, 43). Estudios previos han puesto en evidencia la presencia de HMA nativos en un monocultivo de trigo

y su relación negativa con la fertilización fosfatada (11, 14). Estudios en cultivos de maíz (2), indican que la fertilización con micronutrientes no afecta la dinámica de la colonización micorrícica. Sin embargo, aún se desconoce si la fertilización con micronutrientes afecta la micorrización en el cultivo de trigo.

Por otra parte, algunos reportes indican que la labranza puede afectar negativamente la formación de la red de hifas de HMA y consecuentemente su capacidad de colonización (8, 24). Se menciona que la ausencia de labranza (siembra directa, SD) para el cultivo de trigo en el noreste de la Provincia de Buenos Aires no promueve una mayor riqueza de especies o familias de HMA (*Glomeromycotina*) (37). Se desconoce si la SD, aplicada en el sudeste bonaerense ocasiona cambios en la dinámica de la colonización por HMA.

El conocimiento sobre las comunidades de HMA asociadas con los diferentes cultivos tiene suma importancia para el manejo de las mismas mediante la inoculación (22, 44), para propender a un uso más eficiente de la fertilidad del suelo. Por otra parte, considerando el rol de los HMA en la estabilidad de los agregados del suelo (por la producción de glomalinas) (32), una abundante colonización con HMA podría garantizar una adecuada estructura del suelo. Por otra parte, se desconoce si el manejo agrícola (particularmente la labranza y fertilización), puede afectar la abundancia de microorganismos solubilizadores de P (partir de fuentes de P no disponibles) asociados con el cultivo de trigo.

Considerando los efectos de los manejos agrícolas que buscan una alta productividad y desde la perspectiva de una producción sustentable, es necesario el entendimiento de la dinámica de la actividad de estos grupos de microorganismos, a efectos de definir

estrategias de manejo que no afecten sus poblaciones nativas (24).

Objetivo

Evaluar a campo el efecto de la labranza y la fertilización con macro y micronutrientes, sobre la colonización de raíces por HMA y la abundancia de microorganismos solubilizadores de P en la rizósfera del cultivo de trigo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio y descripción del experimento

El sitio experimental se estableció en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) INTA Balcarce (37°45' S; 58°18' W) en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. El suelo del sitio es un complejo Argiudol Típico y Paleudol Petrocálcico de textura franca, con más de 30 años de historia agrícola con labranza convencional (LC). El experimento se desarrolló en el marco de un ensayo de rotaciones iniciado en 2001, el que contempla la realización de cuatro cultivos en tres años (maíz, soja, trigo/soja de segunda). El estudio se realizó en el cultivo de trigo (cultivar Buck SY 300; sembrado en el mes de julio a una densidad de 280 plantas m⁻²) durante las campañas 2010 y 2013.

El diseño experimental fue en tres bloques completamente aleatorizados con arreglo de tratamientos en parcelas divididas. La parcela principal correspondió a los tratamientos de labranza: SD y LC y las subparcelas a los siguientes tratamientos: Sin Fertilizar (Testigo); Fertilizado con N, P y S (NPS); y Fertilizado con N, P, S; y los micronutrientes Cu y Zn (NPS+Mi). El tamaño de las parcelas fue 25m x 35m y el de las subparcelas 5m x 25m.

En los tratamientos con N, P y S la fertilización se realizó al voleo a principios del mes de septiembre en estadio de macollaje (100 kg ha⁻¹ N como urea 46-0-0; 60 kg ha⁻¹ de P como superfosfato 0-46-0; y 40 kg ha⁻¹ de S como sulfato de Ca). Los micronutrientes Cu y Zn se aplicaron al follaje en forma líquida a razón de 0,5 kg ha⁻¹ a principios del mes de noviembre cuando el cultivo se encontraba en estadio de antesis. A partir de los registros de precipitaciones de la EEA INTA, Balcarce se realizó el balance hídrico decádico (15).

Muestreos y procesamiento de las muestras

En las dos campañas evaluadas (2010 y 2013) se realizaron muestreos de suelo y material vegetal aéreo y radical en los estadios de macollaje (Z65) (48), antesis (Z92) y madurez fisiológica del cultivo (en los meses de septiembre, noviembre y enero; a los 60, 120 y 160 días después de siembra respectivamente). En cada muestreo se colectaron 18 muestras correspondientes a 6 tratamientos (2 Labranza x 3 Fertilización) y 3 bloques. Cada muestra tanto de material aéreo como de suelo+raíces estuvo compuesta por 6 submuestras.

En cada muestreo, el material vegetal aéreo se colectó en una superficie de 6 m² (realizando 6 cortes de 1 m al azar dentro de cada parcela, donde se cortó el material vegetal aéreo 1 cm por encima del suelo). Las muestras fueron almacenadas en bolsas plásticas con orificios que permitieran la circulación de aire, colocadas en estufa a 60°C durante 72 h, luego de lo cual se cuantificó la materia seca aérea (MSA) por gravimetría. En madurez fisiológica se colectó material vegetal de 10 m² (10 cortes de 1 m), se determinó la MSA y se extrajeron los granos mediante trilladora. Se cuantificó el contenido de humedad y el peso de los granos al 14% de humedad.

Cuando el cultivo se encontraba en estadio de hoja bandera (Z39) se midió el índice de verdor (IV) registrando las lecturas del haz de luz que atravesaron de manera no destructiva hojas totalmente expandidas, utilizando el equipo SPAD Minolta 502; Konika Minolta, Japan. En cada parcela se realizaron 2 lecturas por planta, en 18 plantas individuales.

Las muestras de suelo con las raíces de trigo fueron colectadas en los mismos sectores que el material aéreo. Para ello se tomaron 6 submuestras con muestreador de 5 cm de diámetro y 20 cm de profundidad, las cuales fueron homogeneizadas.

Posteriormente se separó el material radical del suelo por tamizado (2 mm) el que fue inmediatamente procesado para la determinación de la colonización micorrícica, la que fue cuantificada como intensidad de micorrización (MA%) y contenido de arbusculos (Ar%) (7). Para ello, las raíces fueron teñidas con solución de azul tripán (0,05%) conteniendo ácido láctico-glicerol-agua destilada (1:1:1), de acuerdo con una modificación de la metodología original (30), en la que se ha omitido la utilización de fenol en los reactivos.

Parte del suelo fue utilizado para el análisis de contenido de materia orgánica (46), pH (relación suelo: agua de 1:2,5), disponibilidad de P, por el método de Bray (6), y de Zn y Cu (26). Para ello, el suelo fue secado en estufa a 30°C durante 72 h en oscuridad, molido y tamizado a 2 mm procediéndose luego a cada análisis específico.

En el muestreo de anátesis de la campaña 2013, parte del suelo del sector rizosférico fue utilizado para el conteo de bacterias totales y solubilizadoras de P. Para ello,

el suelo fue conservado en oscuridad en heladera hasta su procesamiento 24 h más tarde. Se realizaron diluciones seriales al décimo, a partir de 10 g de suelo en 90 mL de solución fisiológica estéril, sembrando alícuotas (0,1 mL) de las diluciones 10^{-4} a 10^{-6} en Placas Petri conteniendo agar nutritivo para bacterias mesófilas totales y de las diluciones 10^{-3} a 10^{-5} en medio NBRIP (Nacional Botanical Research Institute Phosphate Growth Medium) para las solubilizadoras de P visualizadas a través de la formación de un halo alrededor de las colonias (18). Los halos de solubilización fueron medidos y las colonias que formaron mayor halo de solubilización fueron aisladas y conservadas en medio NBRIP con glicerol (20%) a -20°C para futuros estudios. Se determinó el contenido de humedad del suelo y los valores de abundancia de bacterias fueron expresados en $\log g^{-1}$ de suelo seco.

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) para todas las variables evaluadas (excepto las características químicas del suelo) y las diferencias entre medias fueron determinadas por el test de Diferencias Mínimas Significativas ($p < 0,05$). Las comparaciones fueron realizadas entre tratamientos de fertilización para cada fecha de muestreo y cada campaña (particionado por efecto labranza) y sus interacciones. Previamente se testeó el efecto labranza utilizando el procedimiento Proc Mixed. Para todos los análisis estadísticos se utilizó el programa SAS (34).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros climáticos y edáficos

Durante la campaña agrícola 2010 no se registró déficit hídrico en los estadios previos a los muestreos, pero posteriormente hubo mayor evapotranspiración potencial que precipitaciones (figura 1), lo que indica cierto grado de estrés hídrico, más severo en los períodos próximos a la madurez.

En la campaña 2013 no se registró déficit hídrico durante el ciclo del cultivo. En ambas campañas la temperatura media y humedad relativa durante la estación de crecimiento se mantuvieron próximas a las medias históricas para la zona (datos no mostrados).

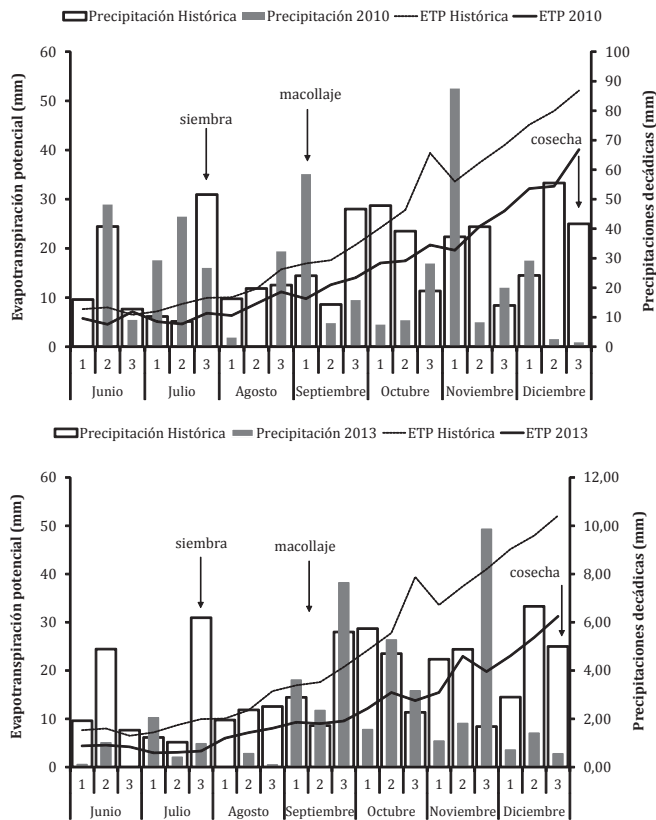


Figura 1. Evolución de las precipitaciones decádicas, y evapotranspiración potencial (ETP) durante el cultivo de trigo. Balcarce 2010 y 2013.

Figure 1. Evolution of decadal rainfall, and potential evapotranspiration (ETP), during wheat crop. Balcarce 2010 and 2013.

Como era de esperar, la fertilización fosfatada incrementó (duplicando y hasta triplicando) el contenido de P disponible en el suelo (tabla 1). En general, el pH y el contenido de MO se mantuvieron dentro de un rango similar entre sistemas de labranza y tratamientos de fertilización, siendo los contenidos registrados normales para la zona en estudio.

Los resultados muestran que, a pesar de la prolongada historia agrícola del sitio experimental (más de 50 años), la disponibilidad de Zn y Cu en el suelo estuvo por encima de los umbrales de deficiencia (0,12-0,25 y 0,80-1,0 mg kg⁻¹, para Cu y Zn, respectivamente) mencionados en la literatura para el normal desarrollo y crecimiento de cultivo de trigo (42).

Tabla 1. Contenidos de P disponible, materia orgánica (MO), Zn y Cu; y pH, en el suelo (campañas de trigo 2010 y 2013), en función de la fertilización y la labranza (LC= labranza convencional; SD= siembra directa).

Table 1. Soil pH, available P, organic matter (MO), Zn and Cu contents, (2010 and 2013 wheat growth seasons) in relation to fertilization and tillage (LC= conventional tillage; SD= no tillage).

Estadio	Labranza	Fertilización	pH	MO (g kg ⁻¹)	P	Zn	Cu
					----- (mg kg ⁻¹) -----		
Macollaje	LC	Testigo	6,21 (± 0,0)	47,4 (± 0,0)	15,28 (± 2,1)	1,41 (± 0,3)	1,43 (± 0,1)
		NPS	5,89 (± 0,0)	44,0 (± 0,0)	37,32 (± 4,9)	2,10 (± 1,4)	2,09 (± 0,1)
		NPS+Mi	6,16 (± 0,1)	46,7 (± 0,1)	35,77 (± 2,1)	1,32 (± 0,0)	1,67 (± 0,1)
	SD	Testigo	6,20 (± 0,1)	49,4 (± 0,2)	14,29 (± 1,7)	1,15 (± 0,2)	1,60 (± 0,0)
		NPS	5,85 (± 0,0)	46,5 (± 0,1)	38,91 (± 4,2)	1,60 (± 0,2)	1,69 (± 0,1)
		NPS+Mi	5,73 (± 0,1)	49,5 (± 0,2)	43,97 (± 3,8)	0,99 (± 0,1)	1,29 (± 0,3)
Floración	LC	Testigo	6,21 (± 0,1)	46,7 (± 0,4)	12,79 (± 0,5)	n.d.	n.d.
		NPS	6,02 (± 0,4)	47,3 (± 0,0)	33,83 (± 6,8)	n.d.	n.d.
		NPS+Mi	5,91 (± 0,3)	42,5 (± 0,7)	24,83 (± 2,4)	n.d.	n.d.
	SD	Testigo	6,20 (± 0,0)	43,1 (± 0,6)	12,61 (± 0,9)	n.d.	n.d.
		NPS	6,00 (± 0,3)	45,3 (± 0,1)	32,62 (± 6,4)	n.d.	n.d.
		NPS+Mi	5,91 (± 0,0)	47,0 (± 0,1)	33,71 (± 6,6)	n.d.	n.d.
Madurez	LC	Testigo	6,30 (± 0,1)	47,1 (± 0,7)	15,92 (± 1,0)	n.d.	n.d.
		NPS	6,01 (± 0,2)	48,3 (± 0,3)	42,10 (± 9,4)	n.d.	n.d.
		NPS+Mi	6,01 (± 0,1)	44,2 (± 0,4)	30,65 (± 2,0)	n.d.	n.d.
	SD	Testigo	6,39 (± 0,4)	49,3 (± 0,5)	15,68 (± 2,1)	n.d.	n.d.
		NPS	6,02 (± 0,3)	49,1 (± 0,5)	41,90 (± 6,1)	n.d.	n.d.
		NPS+Mi	5,95 (± 0,2)	51,0 (± 0,2)	39,91 (± 5,0)	n.d.	n.d.

Los valores son promedios entre las dos campañas. Valores entre paréntesis corresponden al desvío estándar. n.d. = no determinado.

Values are the averages between the two growing seasons. Values in parentheses correspond to standard deviation. n.d.= no determined.

Producción de material vegetal e índice de verdor

En general, la producción de materia seca aérea (MSA) y el rendimiento (RTO) fueron mayores en la campaña 2013 para todos los períodos y tratamientos, principalmente en los estadios iniciales de crecimiento del cultivo. En este sentido, la producción de MSA del 2013 superó en más del 150% y 50% a las registradas durante macollaje y anthesis del 2010, respectivamente; mientras que el rendimiento en grano del 2013 superó en un 17% al registrado en el 2010.

Los valores fueron similares a otros reportados para la zona durante las mismas campañas (31) y las diferencias entre campañas podrían asociarse a la mejor disponibilidad hídrica del cultivo en la campaña 2013.

En general, la labranza afectó la producción de MSA solo en macollaje, obteniéndose bajo SD una merma de aproximadamente del 80% en relación con la LC, tanto para 2010 como 2013. En los estadios más avanzados del cultivo los valores de MSA fueron similares para ambas labranzas en ambas campañas.

La fertilización incrementó la producción de MSA en relación con el testigo en las dos campañas y no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos (figura 2, pág. 227). Como era de esperar, los menores rendimientos (aproximadamente 5900 kg ha^{-1}) se obtuvieron en el testigo mientras que no se determinaron diferencias significativas por la aplicación de micronutrientes (figura 2, pág. 227).

Si bien la labranza no afectó significativamente el rendimiento, bajo LC durante la campaña 2013, se obtuvieron 366 kg ha^{-1} más que en SD lo que representó un 5,64% de incremento de rendimiento (figura 2, pág. 227). De manera similar, otros

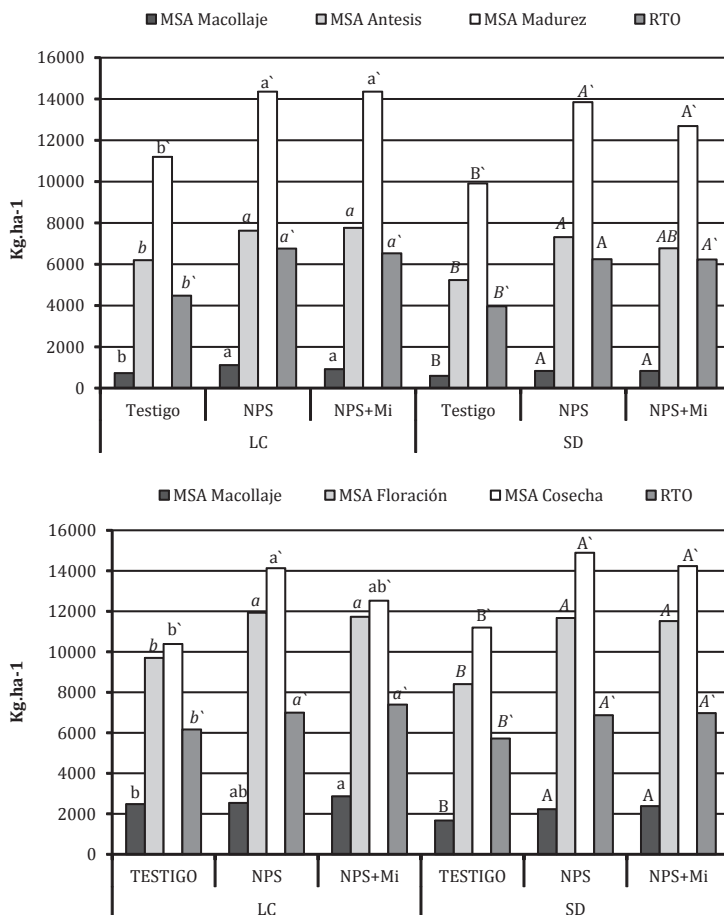
reportes mencionan cierto incremento de rendimiento del cultivo de trigo bajo LC en relación con SD, aunque las diferencias tampoco fueron significativas (4).

Los valores de Índice de Verdor (IV) durante la campaña 2013 fueron similares a los mencionados para cultivos de trigo en la zona (16). Los IV más bajos se obtuvieron en el testigo (IV 39,95 promedio entre fechas, labranzas y campañas) los que se diferenciaron de los tratamientos fertilizados. Sin embargo, no se evidenciaron diferencias entre los tratamientos fertilizados (IV 44,23 y 44,28 para NPS y NPS+Mi, respectivamente) ni por la labranza (IV 43,4 y 42,2 promedio particionado por labranza, bajo SD y LC, respectivamente).

Colonización micorrícica y abundancia bacteriana

La colonización micorrícica (registrada como intensidad de colonización-MA%- y contenido de arbusculos -Ar%- de HMA en las raíces de trigo) fue siempre mayor durante la segunda campaña que durante la primera (tabla 2, pág. 228). Es probable que la menor disponibilidad de agua durante la primera campaña haya afectado negativamente la colonización micorrícica.

Varios reportes mencionan disminución en la colonización en situaciones de deficiencia hídrica a campo y una respuesta de rápido crecimiento oportunista del micelio cuando se restablece la humedad normal en el suelo (3). Sin embargo, otros autores mencionan que el estrés hídrico prolongado puede promover la colonización (5, 25). En este caso, debido a que se evaluó el mismo ensayo, que fue manejado en las mismas condiciones durante las dos campañas y cuya principal diferencia fue la disponibilidad hídrica, se podría atribuir la menor colonización micorrícica a la menor disponibilidad de agua en la primera campaña.



Para cada campaña y sistema de labranza, letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos de fertilización (Test Diferencias Mínimas Significativas, $p < 0,05$). Detalle de fuentes tipográficas utilizadas: minúscula para labranza convencional (LC), mayúscula para siembra directa (SD); para cada labranza, fuente normal en macollaje, cursiva en floración, con apóstrofe en cosecha, en cursiva y con apóstrofe utilizada para rendimiento en grano. NPS: fertilizado con macronutrientes, NPSMi: fertilizado con macro y micronutrientes.

For each season and tillage system, different letters indicate significant differences among fertilization treatments (Least Significant Differences Test, $p < 0.05$). Details of typographic used fonts: lowercase for conventional tillage (LC), capital for non-tillage (SD); at each management condition, regular fonts used in tillering, italics in flowering, with apostrophe at physiological maturity, italics plus apostrophe fonts were used for grain yield. NPS: fertilized with macronutrients, NPSMi: fertilized with macronutrients plus micronutrients.

Figura 2. Producción de materia seca aérea (MSA) y rendimiento (RTO) en grano en el cultivo de trigo durante el estadio de macollaje, floración y madurez, en función de la labranza y fertilización durante las campañas de trigo 2010 y 2013 en Balcarce.

Figure 2. Shoot dry matter (MSA) and grain yield (RTO) of the wheat crop during tillering, flowering and maturity, during wheat growing seasons 2010 and 2013 in Balcarce.

Tabla 2. Intensidad de micorrización (MA) y contenido de arbusculos (Ar) en tres estadios fenológicos del cultivo de trigo durante dos campañas.**Table 2.** Mycorrhizal intensity (MA) and arbuscules content (Ar) at three phenological stages of the wheat crop during two growing seasons.

Estadio		Campaña	
		2010	2013
Macollaje	MA (%)	37.97 b	56.24 a
	Ar (%)	19.45 b	40.55 a
Antesis	MA (%)	20.93 b	83.71a
	Ar (%)	6.81 b	54.84 a
Madurez	MA (%)	34.62 b	84.43 a
	Ar (%)	8.85 b	66.21 a

Campaña		Estadio		
		Macollaje	Antesis	Madurez
2010	MA (%)	37.97 a	20.93 c	34.62 b
	Ar (%)	19.45 a	6.81 c	8.85 b
2013	MA (%)	56.24 b	83.71 a	84.43 a
	Ar (%)	40.55 c	54.84 b	66.21 a

En cada fila, valores con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre campañas para diferentes estadios fenológicos (parte superior de la tabla), o entre estadios fenológicos para cada campaña (parte inferior de la tabla).

In each row, values with different letters indicate significant differences ($p < 0.05$) between growing seasons for different growing state (top of the table), or between growing states for each growing season (bottom of the table).

Durante la campaña 2010, la colonización micorrícica disminuyó desde macollaje a antesis para luego recuperar parcialmente los niveles iniciales durante la madurez (tabla 2, figura 3, pág. 229).

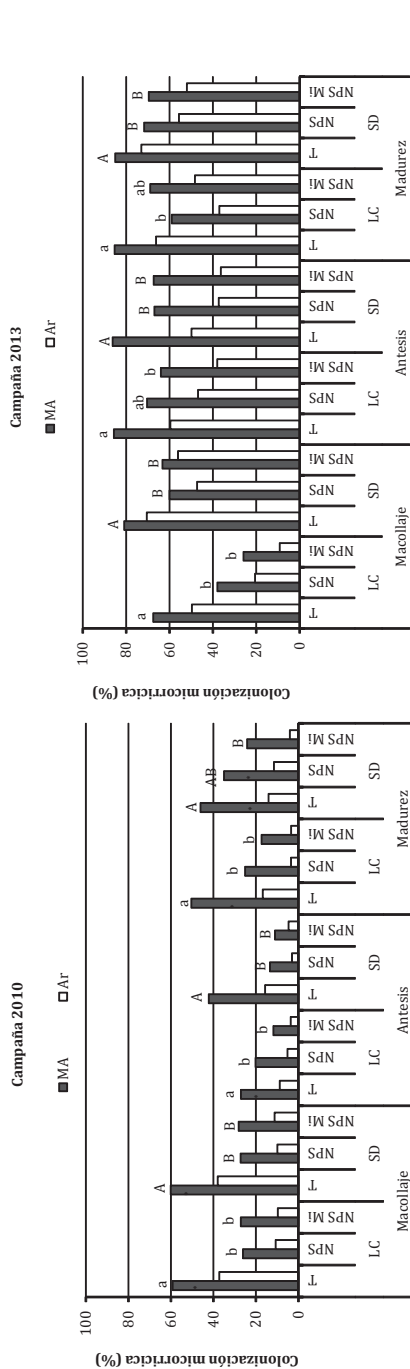
Contrariamente, en el 2013, la colonización aumentó desde macollaje hasta antesis y esos niveles se mantuvieron en madurez fisiológica (tabla 2, figura 3, pág. 229).

La disminución de la colonización micorrícica en madurez ocurrida durante la primera campaña sería coincidente con algunos reportes (11, 28, 46) donde mencionan que, para los cultivos de grano en general, y para el trigo en particular, el pico máximo de colonización se detecta

en antesis y disminuye hacia madurez fisiológica, debido al cambio de destino de los fotosintatos de raíz hacia los granos.

En la segunda campaña este comportamiento no se registró y, aunque se desconocen las causas del comportamiento diferencial durante las dos campañas, es probable que la mayor disponibilidad hídrica durante el año 2013 haya favorecido el mayor desarrollo de la colonización micorrícica en todos los estadios, incluido madurez fisiológica, en relación con la campaña anterior.

En general, la labranza no afectó significativamente la colonización micorrícica.



Letras diferentes indican diferencias significativas (Test Diferencias Mínimas Significativas (Test Diferencias Mínimas Significativas, $p < 0,05$). T= Testigo; NPS= fertilizado con NPyS; NPSMi= fertilizado con NPS y Micronutrientes. Detalle de fuentes tipográficas utilizadas: primera fuente: minúsculas indican diferencias entre tratamientos de fertilización para labranza convencional (LC), mayúscula para siembra directa (SD); segunda fuente: fuente normal indica diferencias entre labranzas para tratamientos de fertilización con NPS, con apóstrofe indica diferencias entre labranzas para fertilización con NPSMi, en cursiva y con apóstrofe indica diferencias entre labranzas parcelas Testigo.

Different letters indicate significant differences (Minimum Significant Differences Test, $p < 0,05$). T= Control; NPS= fertilized with NP and S; NPSMi= fertilized with NPS and Micronutrientes. Detail of used fonts: first letter: lower case indicate differences among fertilization treatments for conventional tillage (LC), a capital letter for non-tillage (SD); second letter: normal source indicates differences between tillage to fertilization treatments with NPS, with apostrophe indicates differences between tillage to fertilization treatments with NPSMi, in italics and apostrophe indicates differences between tillage in control plots.

Figura 3. Evolución de la colonización micorrícica (colonización total MA% y contenido de arbusculos Ar%) espontánea en raíces de un cultivo de trigo a campo en Balcarce durante las campañas 2010 y 2013, asociados con la fertilización y la labranza. Para cada campaña y sistema de labranza, letras diferentes indican diferencias significativas para MA y Ar entre tratamientos de fertilización (Test Diferencias Mínimas Significativas, $p < 0,05$). Detalle de fuentes tipográficas utilizadas: minúscula para labranza convencional (LC), mayúscula para siembra directa (SD). T= Testigo; NPS= fertilizado con NPyS; NPSMi= fertilizado con NPS y Micronutrientes.

Figure 3. Indigenous root mycorrhizal colonization (total colonization MA% and arbuscules Ar%) of a wheat crop in Balcarce during 2010 and 2013 growing seasons, associated with fertilization and tillage. For each season and tillage system, different letters indicate significant differences for MA and Ar among fertilization treatments (Least Significant Differences Test, $p < 0,05$). Details of typographic fonts used: lowercase for conventional tillage (LC), capital for non-tillage (SD). T= Control; NPS= fertilized with NP and S; NPSMi= fertilized with NPS and Micronutrientes.

Solo se evidenciaron leves incrementos no significativos ($p > 0,05$) de la micorrización bajo SD en macollaje durante la segunda campaña, efecto que se minimizó en los estadios más avanzados (figura 3, pág. 229). Estos resultados no permiten confirmar reportes de otras investigaciones que mencionan el efecto depresor de la LC sobre los propágulos de HMA y, como resultado de esto, sobre la micorrización (20, 23, 24, 36, 43). Aun así, estos resultados fueron consistentes durante las dos campañas evaluadas.

La falta de efecto de la labranza sobre la colonización micorrícica fue también observada en un cultivo de maíz en el mismo ensayo durante otra campaña (2).

Es probable que el suelo bajo LC en las condiciones evaluadas no se encuentre en un grado de deterioro que pueda haber afectado la colonización micorrícica. Esto podría evidenciarse, en parte, por el similar contenido de MO de las parcelas bajo SD y LC durante las dos campañas (tabla 1, pág. 225).

Los mayores valores de colonización micorrícica se obtuvieron en los tratamientos no fertilizados, mientras que entre los tratamientos fertilizados, en general no se detectaron diferencias significativas (figura 3, pág. 229).

La menor micorrización por la aplicación de fertilizantes, particularmente P ha sido bien documentada para cultivos en general así como para trigo (12, 13, 40, 43). En este sentido, se ha sugerido que la disminución en la colonización por el aumento del P disponible en el suelo podría ser debido a una reducción en el crecimiento del hongo, así como a un aumento en el crecimiento de las raíces (9, 43); sin embargo, estas variables son de difícil cuantificación en condiciones de campo.

La fertilización con micronutrientes, juntamente con el agregado de N, P y S,

no afectó significativamente la colonización micorrícica.

Algunos reportes mencionan efectos depresivos de la fertilización con micronutrientes en condiciones controladas (2, 38) mientras que para otros, no hay efectos evidentes (39).

Es probable que en este trabajo, la falta de efecto de la aplicación de micronutrientes esté asociada a que su aplicación no ocasionó incrementos en los contenidos de los mismos en el suelo (tabla 1, pág. 225).

En coincidencia, se ha reportado ausencia de efecto depresivo de la fertilización con micronutrientes sobre la colonización micorrícica en un cultivo de maíz en otra campaña en el mismo ensayo (2), lo que fue justificado porque los contenidos de Zn no variaron por la fertilización.

Los valores de bacterias totales (cuantificadas solo en la campaña 2013) variaron en un rango de 5,2 a 6,0 $\log_{10} g^{-1}$ (tabla 3, pág. 231) y no fueron afectados por la fertilización bajo LC, aunque sí bajo SD.

Si bien la ausencia de reportes en la misma zona impide comparar la magnitud de estos valores, estos resultados fueron menores a los registrados en suelos de la zona semiárida bonaerense (oeste de la provincia), donde se obtuvo un rango de 6,80-6,96 $\log_{10} g^{-1}$, para diferentes sistemas de labranza (19).

Los mayores recuentos de bacterias aeróbicas mesófilas totales (BAMT) se registraron en las parcelas testigo, manejadas bajo SD y los menores en las parcelas testigo bajo LC (tabla 3, pág. 231).

En un ensayo de largo plazo en la localidad de Teodelina, Provincia de Santa Fe, las bacterias totales en un cultivo de maíz, se incrementaron en los tratamientos fertilizados con P (10), en valores similares a los obtenidos bajo LC en este estudio.

Tabla 3. Abundancia de bacterias mesófilas aeróbicas totales (BAMT) y de solubilizadoras de P asociadas a la rizósfera de un cultivo de trigo durante la campaña 2013.

Table 3. Total aerobic mesophilic bacteria (BAMT) and P solubilizers associated to the rhizosphere of a wheat crop during the 2013 growing season.

Labranza	Fertilización	BAMT	Solubilizadores de P
		-----($\log_{10} \text{ g}^{-1}$)-----	
LC	Testigo	5,20bb`	5,19 aa`
LC	NPS	5,92aa	5,30 aa
LC	NPS Mi	5,78aa`	4,38 ba`
SD	Testigo	6,03Aa`	5,40 Aa`
SD	NPS	5,76Ba	5,01 ABa
SD	NPS Mi	5,78Ba`	4,42 Ba`

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Minúsculas: diferencias entre tratamientos dentro de cada sistema de labranza; mayúsculas: diferencias entre sistemas de labranza dentro de cada tratamiento. LC: labranza convencional, SD: siembra directa, NPS: fertilizado con macronutrientes, NPSMi: fertilizado con macro y micronutrientes.

Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$). Lower: cases differences among fertilization treatments within each tillage system; capital letters: differences between tillage systems within each treatment. SD: non tillage; LC: conventional tillage; NPS: fertilized with macronutrients, NPSMi: fertilized with macronutrients plus micronutrients.

El halo de solubilización de las colonias que fueron consideradas como solubilizadoras de P varió entre 2 a 10 mm (desde el borde hasta el centro de la colonia).

La abundancia de solubilizadores de P se mantuvo en un rango de 4,38-5,40 \log_{10} . Los menores valores se registraron en los tratamientos con fertilización con macro y micronutrientes, tanto bajo SD como LC (tabla 3). Aun así, en el tratamiento fertilizado con NPSMi bajo SD se observaron las colonias con mayor halo de solubilización (10 mm). No se detectaron diferencias en abundancia de solubilizadores entre los tratamientos testigo y los fertilizados solo con macronutrientes. De manera coincidente Saucedo Castillo *et al.* (2015), determinaron ausencia de efecto de la fertilización fosfatada en la actividad fosfatasa y deshidrogenasa de bacterias nativas de suelos de Brasil.

No se dispone de reportes similares, por lo que estos resultados constituirían los primeros datos en cultivo de trigo en el sudeste bonaerense bajo diferentes sistemas de labranza y prácticas de fertilización.

CONCLUSIONES

Este estudio pone en evidencia que en sistemas agrícolas del sudeste bonaerense, la labranza no afecta la micorrización en el cultivo de trigo.

La fertilización con macro nutrientes, deprimió, en general, la colonización micorrícica lo que confirma algunos reportes previos.

La ausencia de fertilización favoreció la abundancia de bacterias aeróbicas mesófilas totales de la rizósfera del cultivo de trigo solo en SD.

Independientemente de la condición de labranza, la fertilización con micronutrientes deprimió la abundancia de bacterias solubilizadoras de P.

Futuros estudios deberían tender a evaluar el posible sinergismo entre hongos micorrícicos y bacterias solubilizadoras de P sobre el crecimiento de cultivos de importancia agrícola.

Recomendaciones de fertilización que cubran la reposición de nutrientes extraída por los cultivos sin ocasionar aplicaciones excesivas o innecesarias son requeridas para el mantenimiento de la microbiota nativa asociada con el cultivo de trigo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aon, M. A.; Cabello, N. M.; Sarena, D. E.; Colaneri, A. C.; Franco, M. G.; Burgos, J. L.; Cortassa, S. 2001. Spatio-temporal patterns of soil microbial and enzymatic activities in an agricultural soil. *Applied Soil Ecology*. 18: 239-254.
2. Astiz Imaz, P.; Barbieri, P. A.; Echeverría, H. E.; Sainz Rosas, H. R.; Covacevich, F. 2014. Indigenous mycorrhizal fungi from Argentina increase Zn nutrition of maize modulated by Zn fertilization. *Soil and Environment*. 31(1): 23-32.
3. Auge, R. M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*. 11: 3-42.
4. Barbieri, P. A.; Sainz Rosas, H. R.; Covacevich, F.; Echeverría, H. E. 2014. Phosphorus placement effects on phosphorus recovery efficiency and grain yield of wheat under no-tillage in the humid pampas of Argentina. *International Journal of Agronomy*, ID 507105, 12 pages Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/507105>
5. Bolgiano, N. C.; Safir, G. R.; Wamacke, D. D. 1983. Mycorrhizal infection and growth of onion in the field in relation to phosphorus and water availability. *J Am Soc Horti Sci*. 108: 819-825.
6. Bray, R. H.; Kurtz, L.T. 1945. Determination of total organic and available form of phosphorus in soil. *Soil Science*. 59: 360-361.
7. Brundrett, M. 2008 [en línea] <<http://mycorrhizas.info/method.html>> [consulta: 15 de febrero 2016].
8. Bucking, H.; Liepold, E.; Ambilwade, P. 2012. The role of the mycorrhizal symbiosis in nutrient uptake of plants and the regulatory mechanisms underlying these transport processes. *Plant Science*. Capítulo 4. p. 107-138.
9. Cavagnaro, T. R. 2008. The role of arbuscular mycorrhizas in improving plant zinc nutrition under low soil zinc concentrations: a review. *Plant and Soil*. 304: 315-325.
10. Conforto, E. C.; Figoni, G.; Rovea, A.; Boxler, M.; Oddino, C.; García, J.; March, G.; Meriles, J.; Vargas Gil, S. 2010. Evaluación del efecto de la fertilización sobre las comunidades microbianas edáficas. *International Plant Nutrition Institute (IPNI). Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. 3 p.
11. Covacevich, F.; Echeverría, H. E.; Andreoli, Y. E. 1995. Micorrización vesículo arbuscular espontánea en trigo en función de la disponibilidad de fósforo. *Ciencia del suelo*. 13: 47-5111.
12. Covacevich, F.; Marino, M. A.; Echeverría, H. E. 2006. The phosphorus source determines the arbuscular mycorrhizal potential and the native mycorrhizal colonization of tall fescue and wheatgrass in a moderately acidic Argentinean soil. *European Journal of Soil Biology*. 42: 127-38.
13. Covacevich, F.; Echeverría, H. E.; Aguirrezabal, L. A. N. 2007. Soil available phosphorus status determines indigenous mycorrhizal colonization into field and glasshouse-grown spring wheat in Argentina. *Applied Soil Ecology*. 35: 1-9.
14. Covacevich, F.; Eyherabide, M.; Sainz Rosas, H. R.; Echeverría, H. E. 2012. Capacidad micotrófica arbuscular y características químicas de suelos agrícolas y prístinos de Buenos Aires (Argentina). *Ciencia del Suelo*. 30(2): 119-128.

15. Della Maggiora, A. L.; Irigoyen, A.; Gardiol, J. M.; Caviglia, O.; Echarte, L. 2003. Evaluación de un modelo de balance de agua en el suelo para el cultivo de maíz. *Revista Argentina de Agrometeorología*. 2(2): 167-176.
16. Echeverría, H. E. 2005. Módulo de Investigación del Proyecto Fertilizar-INTA. Ensayos de Calidad en Trigo en Balcarce y Mar del Plata. 16 p.
17. FAO [en línea]. Disponible en: www.fao.org [consulta: 04 de febrero de 2016].
18. FAO Soils Bulletin 1967. A Practical Manual of Soil Microbiology Laboratory Methods. 68 p.
19. Gomez, M.; Kruger, H.; Sagardoy, M. 1996. Actividad biológica en un suelo de la zona semiárida bonaerense cultivado con la secuencia soja-trigo bajo tres prácticas agrícolas. *Ciencia del Suelo*. 14: 37-41.
20. Goss, M. J.; de Varennes, A. 2002. Soil disturbance reduces the efficacy of mycorrhizal associations for early soybean growth and N₂ fixation. *Soil Biology and Biochemistry*. 34: 1167-1173.
21. Guerra Sierra, B.E. 2008. Micorriza arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible. *Tecnología en Marcha*. 21(1):191-201.
22. Jin, H.; Germida, J. J.; Walley, F. L. 2012. Impact of arbuscular mycorrhizal fungal inoculants on subsequent arbuscular mycorrhizal fungi colonization in pot-cultured field pea (*Pisum sativum* L.). *Mycorrhiza* [en línea] <<http://www.springerlink.com/content/91121q3r87n7601w/fulltext.pdf>> [consulta: 20 de febrero 2016]
23. Kabir, Z. 2005. Tillage or no-tillage: Impact on mycorrhizae. *Canadian Journal of Plant Science*. 85: 23-29.
24. Kabir, Z.; O' Halloran, I. P.; Fyles, J. W.; Hamel, C. 1997. Seasonal changes of arbuscular mycorrhizal fungi as affected by tillage practices and fertilization: Hyphal density and mycorrhizal root colonization. *Plant and Soil*. 192: 285-293.
25. Kuhn, D. K.; Weber, H. C.; Dehne, H. W.; Gworgwor, N. A. 1991. Distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on a fallow agriculture site. I. Dry habitat. *Angew Bot*. 65: 169-185.
26. Lindsay, W. L.; W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society American Journal* 42:421-428.
27. Lugo, M.; Cabello, M. 2002. Native arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) from mountain grassland (Córdoba, Argentina) I. Seasonal variation of fungal spore diversity. *Mycología*. 94: 579-86.
28. MC Gonigle, T. P.; Miller, M. H. 1993. Mycorrhizal development and phosphorus absorption in maize under conventional and reduced tillage. *Soil Science Society of America Journal*. 57: 1002-1006.
29. Menendez, A. B.; Scervino, J. M.; Godeas, A. M. 2001. Arbuscular mycorrhizal populations associated with natural and cultivated vegetation on a site of Buenos Aires province, Argentina. *Biology and Fertility of Soils*. 33: 373-381.
30. Phillips, J.; Hayman, D. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*. 55: 158-161.
31. Reussi Calvo, N. I.; Sainz Rozas, H.; H. E. Echeverría, H. E.; Diovisalvi, N. 2015. Using canopy indices to quantify the economic optimum nitrogen rate in spring wheat. *Agronomy Journal*. 107(2): 459-465.
32. Rillig, M. C.; Mummey, D. L. 2006. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytol*. 171: 41-53.
33. Romaniuk, R.; Giuffré, L.; Costantini, A.; P. Nannipieri, P. 2011. Assessment of soil microbial diversity measurements as indicators of soil functioning in organic and conventional horticulture systems. *Ecological Indicators*. 11: 345-1353.
34. SAS Institute. 1985. SAS user's guide. Statistics. Version 5. SAS Institute, Inc., Cary, NC.
35. Saucedo Castillo, O.; de Mello Prado, R.; Castellanos González, L.; Ely, N.; Silva Campos, C. N.; Pereira Da Silva, G.; Assis, L. C. 2015. Efecto de la fertilización fosfatada con cachaza sobre la actividad microbiana del suelo y la absorción de fósforo en caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 47(1): 33-42.

36. Schalamuk, S.; Velazquez, S.; Chidichimo, H.; Cabello, M. 2006. Fungal spore diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with spring wheat: effects of tillage. *Mycologia*. 98(1): 16-22.
37. Schalamuk, S.; Chidichimo, H.; Cabello, M. 2007. Variaciones en la composición de especies de Glomeromycota (Fungi) en un cultivo de trigo bajo distintos sistemas de labranza. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 42(1-2): 45-53.
38. Shirmohammadi, E. N.; Aliasgharzad, S. H.; Oustan, N.; Najafi, B. 2010. Effects of micronutrients deficiency and inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi on chelator exudation by tomato root. *ejgcst* 2010. 1(3): 63-70. Disponible en http://ejgcst.iut.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-230-2&slc_lang=en&sid=1
39. Shirmohammadi, E. N.; Aliasgharzad, S. H. 2013. Influence of *Glomus etunicatum* and *Glomus intraradices* fungi inoculums and micronutrients deficiency on root colonization and dry weights of tomato and sorghum in perlite bed culture. *African Journal of Biotechnology*. Vol. 12(25), p. 3957-3962.
40. Siddiqui, Z. A.; Akhtar, M. S.; Futai, K. 2008. Mycorrhizae: sustainable agriculture and forestry. Dordrecht, The Netherlands, Springer. p. 362.
41. SIIA (Sistema Integrado de Información Agropecuaria) [en línea]. Disponible en: www.sii.gov.ar [consulta: 04 de febrero de 2016]
42. Sims, J. T.; Johnson, G. V. 1991. Micronutrient soil tests. En: *Micronutrients in agriculture*. Mortvedt, J. J.; Cox F. R.; Shuman L. M.; M.R. Welch (Eds.) Ed. SSSA Madison, Wiscconsin, USA. Book series. 4: 427-476.
43. Smith, S. E.; Read, D. J. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*, 3° ed. Academic Press, New York. 800 p.
44. Thougnon Islas, A. J.; Eyherabide, M.; Echeverría, H. E.; Sainz Rosas, H. R.; Covacevich, F. 2014. Capacidad micotrófica y eficiencia de consorcios con hongos micorrízicos nativos de suelos de la Provincia de Buenos Aires con manejo contrastante. *Revista Argentina de Microbiología*. 46(2): 133-143.
45. Thougnon Islas, A. J.; Hernandez Guijarro, K.; Eyherabide, M.; Sainz Rosas, H. R.; Echeverría, H. E.; Covacevich, F. 2016. Can soil properties and agricultural land use affect arbuscular mycorrhizal fungal communities indigenous from the Argentinean Pampas soils? *Applied Soil Ecology*. 101: 47-56.
46. Tinker, P. B. H. 1975. Effects of vesicular mycorrhizae on higher plants. *Phil Trans Royal Society of London B*. 273: 445-461.
47. Walkley, A.; Black, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37: 29-37.
48. Zadoks, J. C.; Chang, T. T.; Konzak, C. F. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Research*. 14: 415-421.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento otorgado por proyectos de INTA (PNsuelo 1134043/1134024), CONICET (PIP), ANPCyT-PICT y la FCA UNMdP.

Rainfall in Azul and its relationship with the phenomenon el Niño Southern Oscillation (ENSO)

Precipitaciones en Azul y su relación con el fenómeno el Niño Oscilación Sur (ENOS)

Carlos Alberto Vilatte, Adriana Elisabet Confalone, Laura María Aguas

Originales: *Recepción*: 17/10/2016 - *Aceptación*: 29/03/2017

ABSTRACT

The aim of this paper was to verify whether there is a correlation between rainfall conditions that occurred in Azul, Buenos Aires (Lat 36°45' S; 59°57' W and Long altitude 137 m), between 1950 - 2015, and thermal anomalies generated in ENSO episodes in its warm phases - El Niño (EN) and cold - La Niña (LN), using a monthly series and annual rainfall. The annual rainfall showed a slight positive trend in the case of EN and below the central tendency for LN; however, these differences were not significant at 5% probability. In the monthly scale very low values were found in the Pearson Index, where only for the process LN, and June (IP 0.5692), the linear relationship and t-Student analysis were slightly significant, 5%. Therefore, the existence of a change in the local rainfall regime in the years in which this process was present cannot be confirmed.

Keywords

rainfall • ENSO • interaction

Facultad de Agronomía. Universidad del Centro de la provincia de Buenos Aires (UNCPBA). Av. República de Italia 780 (7300). Azul, Buenos Aires. Argentina.
cvilatte@faa.unicen.edu.ar

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue verificar la existencia de una correlación entre las condiciones pluviométricas que se presentaron en Azul, Pcia. de Buenos Aires (36°45' Lat. S; 59°57' Long. W y altitud: 137 m s. n. m.), entre los años 1950-2015, y las anomalías térmicas generadas en episodios del fenómeno ENOS, en sus fases cálida - El Niño (EN) y fría - La Niña (LN), empleándose una serie mensual y anual de precipitaciones. Las precipitaciones anuales mostraron que se manifiesta una leve tendencia positiva para el caso de EN e inferiores a la tendencia central para LN, no obstante dichas diferencias no resultaron significativas al 5% de probabilidad. En la escala mensual se encontraron valores muy bajos en el Índice de Pearson, donde solo para el proceso de LN, y para el mes de junio (IP de 0,5692), la relación lineal y el análisis de t-Student resultaron levemente significativas al 5%. Por lo observado no se puede afirmar la existencia de una modificación en el régimen pluviométrico local en los años en que se presentó dicho proceso.

Palabras clave

precipitaciones • fenómeno ENOS • interacción

INTRODUCTION

Since 1980 there has been a marked variation in the behavior of some meteorological phenomena in the centre-south of the province of Buenos Aires, as well as in other areas of the country (10), which translated in the rise of intensity and frequency of rainfall, droughts and storms, etc. These changes are not only observed locally but are modifying progressively the spatial pattern that characterized those phenomena covering all the continents, which makes it a global phenomenon.

Among those changes, one of the most important events of ocean-atmosphere interaction that takes place at an inter annual scale is known in the scientific field as El Niño- southern oscillation (ENSO), commonly called El Niño, is a natural and periodic climatic variation that consists in the oscillation between a warm phase (El Niño) and a cold phase (La Niña). These phases can be perceived by means of an abnormal warming or cooling of superficial temperature of the sea in the

equatorial central and oriental Pacific Ocean. These marine thermal variations reach the north and south coasts of America and bring significant variations in the climatic patterns.

The forced deviation of the south east trade winds not only favours the entrance of warm and wet masses of wind from the Atlantic but it interacts in special situations with the "jet in low layers" which mobilizes air currents from the Pacific under the protection of strong convective effects generated by an unusual rise in the temperature of its water. This has caused to attribute it to the abnormalities in the circulation of the atmosphere that are recorded during the different ENSO cycles (9).

The positive anomalies in the surface temperatures generated in the Pacific are associated with the thermocline sinking and the reduction of the coastal emergence, whereas, the negative anomalies are associated to the thermocline rise and the strengthening of such emergence (8).

El Niño climatic episodes are known since long ago; however, in the last decades they have increased significantly; therefore, their impact has warned the world scientific community. Scientific analyses not only show a growing trend in the frequency, but also in the intensity of the extreme meteorological events in the last fifty years and it is likely that high temperatures, heat waves and heavy rainfalls will continue being more frequent in future which will be disastrous for mankind (5). Since the 1950 decade, lots of the changes observed have no precedents in the last decade to millennium.

The ocean and the atmosphere have warmed, the volumes of snow and ice have decreased, the sea level has risen and the concentrations of gases from global warming have increased (6).

The ENSO cycle is one of the main causes of regional climate variability. Its opposite phases, warm and cold, are associated with precipitation anomalies in many areas of the world, with different degrees of probability of occurrence according to region and time of year (11).

ENSO is a phenomenon of coupling between the ocean and the atmosphere manifested by variations throughout the climate system, affecting crop productivity in the Argentinean Pampean Region (14).

Although previous work on ENSO, precipitation and maize yields has been carried out, the results in the district of Azul are unclear. Fernandez Long *et al.* (2011) found a strong impact of the ENSO index on maize yield in the north and center of the Pampas region, while in the central-southeast of the province of Buenos Aires the impact was weak, showing a different behavior from that in the rest of the region, with negative correlation values. Previous work had also shown that the ENSO signal on the precipitation of the Pampean region weakened towards the south (1).

Although their causes have different origins El Niño Phenomenon (FEN) and the Phenomenon of Climatic Change (FCC) seem to be related at present.

The former shows an apparently cyclical chronology (3 and 7 years), whereas the FCC shows a continuous process. Nevertheless, it is possible to think that the FCC may generate a synergism exacerbating the FEN impacts. According to the World Meteorology Organization-OMM (16), the world meteorological patterns have been altered due to the climatic change that tends to warm the oceans and melt glaciers and warned. The atmospheric processes are affected by complex mechanisms of ocean-atmosphere interaction, where sea and atmosphere indices are used to detect and forecast ENSO. One of the most commonly used sea parameters to identify and quantify in a certain way the energy changes in that system are the superficial sea temperature anomalies (ATSM). With this aim, the role that the different ocean areas with special characteristics play in those interaction mechanisms has been studied. Among these areas are those used for monitoring ENOS events known as El Niño 1+2 (0-10 S, 90-80 W), Niño 3 (5N-5S, 150-90W), Niño 4 (5N-5S, 160E-150W) and Niño 3, 4 (5N-5S), (170-120W).

The National Oceanic and Atmospheric Administration of the USA-NOAA (3), defined the El Niño Ocean Index (ONI) to identify the warming (El Niño) and cooling (La Niña) phenomena in the tropical Pacific.

The ONI is the mobile mean of three consecutive months of the ocean surface temperature anomaly in the sector 3, 4 that is situated between the parallels 5°N and 5° S and the meridians 120° W and 170° W. Currently, the world scientific community has agreed to adopt the

"operational definition" given by NOAA in order to decide the presence of a Niño from the index Oni (2). This index is one of the greatest data bases that measures ENSO phenomenon. When that index is higher than +0.5°C throughout five consecutive months it is characterized as El Niño event and when it is lower than -0.5°C it is La Niña event.

The anomaly has a basis the period 1971-2000. The anomaly thresholds separate into weak (0.5 to 0.9°C), moderate (1.0 to 1.4°C), strong (1.5 to 1.9°C) and very strong ($\geq 2.0^\circ\text{C}$). Therefore, in this paper the aim is to verify whether there is a correlation between the rainfalls in Azul between 1950-2015 and the thermal anomalies generated in the episodes of the ENSO phenomenon in its warm (El Niño) and cold (La Niña) phases.

MATERIALS AND METHODS

1)- Information considered to analyze the proposed objectives.

a)- The analysis of monthly rainfalls has been carried out in concordance with the latest modification (July 2015) of the classification proposed by the Climate Forecast Centre (CPC) of NOAA (3), correlating the mobile mean (MM) of three consecutive months the ocean surface temperature anomaly in the sector 3, 4 with the MM of three consecutive months of rainfall anomalies (AP) for each of the ENOS events (ec.1)

$$AP_i(\%) = \left(\frac{Pi - Mi}{Pi} \right) * 100 \quad (1)$$

where:

P_i = expresses the rainfall behavior of a given month

M_i = the median for that month

(series 1950-2015). This indicator that relates the MM of three months of the monthly rainfall series of each year, with the MM of the monthly rainfall medians for that series allows the obtention of a non-dimensional magnitude that avoids the distorting factor that seasonal variations in the intensity of this element generate.

The mentioned rainfall series corresponding to Azul was generated by the National Weather Service (1950-1990) and the Regional Agro-meteorology Centre (1991-2015) of Facultad de Agronomía -Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

b)- Study zone: The district of Azul (36°13' to 37°26' Lat S and between 59°09' and 60°13' Long W) mainly corresponds to the Depressed Pampas physiography with a flat topography with little gradient placing it among the world regions with minimum morphogenetic potential (15). It has a humid mild climate without dry season with oceanic influence type Cfb (7) characteristic of the centre-east region of the province of Buenos Aires. The annual mean temperature for the centre zone of the district is 14.3°C, being 21°C the average record for the warmest month and 7.6°C for the coldest month.

The region has a regular rainfall patterns with a historic average for that town of 858.2 mm annually and a standard deviation of 189 mm with extreme values that show a minimum annual record of 487.8mm and a maximum of 1470.2 mm.

c)- Chronology of ENSO events in the period 1950-2015 according to the National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA).

2)- In the analysis of correlation between the rainfall conditions given in Azul between 1950-2015, and the thermal anomalies generated on occasions when ENSO phenomenon episodes in their

warm (El Niño) and cold (La Niña) phases were recorded, two types of variables were used:

2.1)- The independent formed by the element that defines the ENOS phenomenon

-The Anomalies of the Sea Surface Temperature (ATSM) in the equatorial Pacific, and

2.2)- A dependent variable formed by rainfall records:

-Monthly totals in relation with the median for the district in the period 1950/2015.

In the ENSO events, in their warm phase with values of ONI > +0.5°C as well as in the cold <0.5°C, a correlation analysis was applied. For that analysis, the Pearson correlation coefficient, which is obtained dividing the covariance of two variables by the product of their standard deviations, was used. Each model was statistically evaluated at significance level of 5% using the programme Statitix 8 (12).

In order to observe the number of years with values that escape the central trend for excess or for defect in the ENSO process, the difference was calculated separately for EN and LN events between each annual value with respect to the mean ± a standard deviation. For the warm phase, the data out of the range ±205.9mm were counted, and for the cold phase those that exceeded

±145.1mm. The statistic significance of the mean difference between annual rainfall totals corresponding to El Niño (EN) and La Niña (LN) processes was analyzed by means of the statistic *t*-Student with different variances (13).

RESULTS AND DISCUSSION

For the case of EN there is a slight positive trend showing 19.2% of years with annual rainfall values higher than the central range (years: 1963, 1980, 1987, 1992 and 2002), whereas in two cases (7.7% , years: 1979 and 2005) there was a lower value to that central trend (figure 1, page 240).

A similar situation was verified for the LN process (figure 2, page 240), where for the years when that cold event was present in the series analyzed, 29.2% of years with rainfall values lower than the central trend (years: 1950, 1974, 1995, 2007, 2008, 2010 and 2011) and a value above (4.2%) of that number (year 1996) were found.

The annual rainfall means recorded during the processes of El Niño (EN) and La Niña (LN) are slightly above (36.5mm; 4.1%) and below (-49.1mm; -6.1%), respectively for those events (table 2, page 240) in relation to the mean (1950-2015).

In order to compare if those differences in the central trend of the EN and LN processes are significant *t*-Student ($\alpha=0.05$) was applied, where the *t* observed (1.68) was lower than the critical *t* value (2.011) indicating the lack of significance and that those means are statistically the same to the 5% probability.

In order to understand the influence of the ENSO-EN and LN- process (between 1950-2015) at a monthly scale, a correlation analysis was used (table 3).

Table 1. Pearson correlation coefficient (9).

Tabla 1. Coeficiente de correlación de Pearson (9).

Coefficient value	Meaning of the correlation (±)
Between ±0.90 y ±1	Very high
Between ±0.70 y ±0.89	High
Between ±0.50 y ±0.69	Moderate
Between ±0.30 y ±0.49	Low
Between 0 y ±0.29	Very low or no correlation

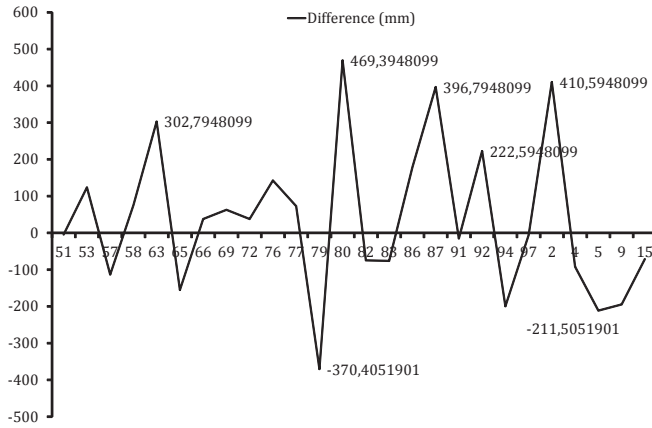


Figure 1. Difference of annual accumulated rainfall (mm) from the mean \pm a standard deviation for the 26 years of EN in Azul for the period 1950-2015.

Figura 1. Diferencia de precipitación acumulada anual (mm), respecto de la media \pm un desvío estándar para los 26 de años de EN en Azul, para el período 1950-2015.

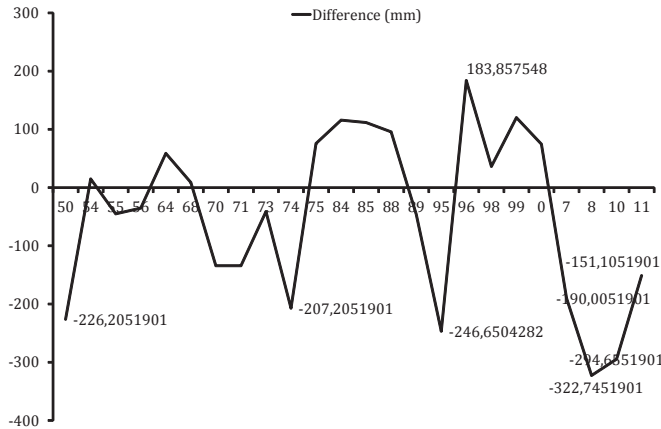


Figure 2. Difference of accumulated annual rainfall (mm) from the mean \pm a standard deviation for the 24 years of LN in Azul for the period 1950-2015.

Figura 2. Diferencia de precipitación acumulada anual (mm) respecto de la media \pm un desvío estándar para los 24 de años de LN en Azul, para el período 1950-2015.

Table 2. Annual rainfall means (PP) and their standard deviation (DE) during the processes of El Niño and La Niña with respect to the mean (1950-2015) for Azul.

Tabla 2. Promedios anuales de las precipitaciones (PP) y su desvío estándar (DE), durante los procesos de El Niño y La Niña, respecto de la media (1950-2015) para Azul.

Event	PP (mm)	Difference (mm)	DE (mm)
El Niño	894.8	36.5	205.9
La Niña	809.1	-49.1	145.9
Mean	858.2	-	189.0

The latter showed very low values (between 0 and ± 0.29) in the Pearson Index (IP) (table 1, page 239) for the chronology of La Niña events in the months of January, February, April, July, August, September, October, November and December; whereas, in the spring-summer months (November, December and January), although they were of the same tenor, a negative correlation was observed, therefore the rainfalls showed an opposing behavior to that expected for being above the median.

The greater indices appeared for the coldest period of the year where March and May show an IP of 0.3878 and 0.3780, respectively, and were not significant at 5% probability. Only in June, (IP of 0.5692) the lineal relation was statistically significant at 5% with a *P-value* slightly below the 5% probability (table 3), where the analysis *t*-Student also was slightly significant according to the difference between the *t* observed (2.20) and the critical *t* (2.29).

A similar situation was reflected for the events of El Niño, where IP showed

very low values for ten months of the year (January, February, March, May, June, August, September, October, November and December), with the highest values in April and July (0.4777 and 0.3080, respectively), but the results of the *p-value* and the verification with the *t*- Student analysis denote lack of correlation.

According to observation, an incidence of episodes of ENSO phenomenon on rainfalls for the district of Azul cannot be affirmed since no statistic evidence was found on the warm phase (EN), and where in the cold phase (LN) only in one month the Pearson Index was significant at 5% probability.

This is in line with the weakening observed by Barros and Silvestri (Number) in the influence of ENSO on precipitation towards the south of the Pampean region, and the low impact of the ENSO index on maize yield in the central-southeast of the province of Buenos Aires found by Fernandez Long *et al.* (2011).

Table 3. Pearson and P-value (Pv) Correlation Coefficients for rain and ONI for Azul.
Tabla 3. Coeficientes de Correlación de Pearson y P-value (Pv) para las lluvias y el ONI para Azul.

Month	EN	Pv	LN	Pv
January	0.2006	0.3474	-0.1342	0.5727
February	0.2119	0.3985	0.2919	0.2398
March	0.2693	0.3736	0.3878	0.0911
April	0.4777	0.1163	0.1867	0.5413
May	-0.0199	0.9536	0.3780	0.1827
June	0.1421	0.6280	0.5692¹	0.0423
July	0.3080	0.2459	0.2262	0.4368
August	-0.1144	0.6849	0.1755	0.5156
September	-0.0607	0.8051	0.2067	0.4424
October	0.0261	0.9082	0.1037	0.6822
November	-0.0137	0.9506	-0.2192	0.3821
December	-0.0407	0.9000	-0.1966	0.4199

¹ Bold shows the only month in which the linear relationship was statistically significant at 5% for the ENSO processes present in the series analyzed (1950-2015).

¹ En negrita se indica el único mes cuando la relación lineal resultó estadísticamente significativa al 5%, para los procesos ENOS presentados en la serie analizada (1950-2015).

CONCLUSIONS

For the studied zone, very low to non-existent incidence of the ENSO phenomenon on the rainfalls for annual and monthly time scales was observed; therefore, in the light of statistic evidence

and the long series analyzed, the existence of a modification in the local rainfall regime in the years in which that process was present in its warm phase as well as its cold phase, cannot be confirmed, therefore, an alteration in crop yields could not be expected either.

REFERENCES

1. Barros, V.; Silvestri, G. 2002. The relation between sea surface temperature at the subtropical South- Central Pacific and precipitation in Southeastern South America. *Journal of climate* 15:251-267.
2. Brenes, C. 2014. Fenómeno de El Niño, estado actual y sus posibles impactos sobre algunos sectores productivos de América Latina. Proyecto IICA-EUROCLIMA. 26 p. Disponible en: <http://legacy.iica.int/euroclima/Documents/Anexo%2017%20Nota%20 tecnica%20Fenomeno%20ENOS.pdf> (fecha de consulta: 5/05/2016).
3. Climate Prediction Center (CPC). 2016. Cold and warm episodes by Season. Disponible en: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml. (fecha de consulta: 10/04/2016).
4. Fernández Long, M.; Spescha, L.; Hurtado, R.; Murphy, G. 2011. Impacto del ENOS sobre los rendimientos de maíz en la región pampeana argentina. *Agriscientia*. 28(1): 31-38. (Consultado el 6 de febrero de 2017) http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-298X2011000100004&lng=es&tlng=es.
5. IPCC. 2013. Fifth Assessment Report. WG1 AR5. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> (fecha de consulta: 15/05/2016).
6. IPCC. 2014. Synthesis Report 2014. Disponible en: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_SPMcorr1.pdf (fecha de consulta: 15/03/2016).
7. Köppen, W. 1931. *Grundriss der Klimakunde*. Berlin und Leipzig. Ed. Walter de Gruyter Co. 388 p.
8. Maturana, J.; Bello, M.; Manley, M. 2004. Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación Sur. En: Avaria, S.; Carrasco, J.; Rutllant, J. y Yañez, E. (eds.). *El Niño-La Niña 1997-2000: Sus efectos en Chile*. Valparaíso, Chile. Comité Oceanográfico Nacional (CONA). 13-28.
9. Moral, E. M. 2009. Disponible en: <http://www.usal.edu.ar/archivos/geousal/otros/precipitaciones.pdf> (fecha de consulta: 10/03/2016).
10. Mussetta, P.; Barrientos, M. J. 2015. Vulnerabilidad de productores rurales de Mendoza ante el Cambio Ambiental Global: clima, agua, economía y sociedad. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(2): 145-170.
11. Serio, L. 2011. Variabilidad y cambio climático. En: *Agrometeorología*. G. M. Murphy y R. H. Hurtado (eds.). Editorial Facultad de Agronomía-UBA cap. 9, pág. 149-164.
12. Statistix 8.0 for Windows. 2003. *Analytical Software*. Ed. Vol 8, Tallahassee. Florida, USA.
13. Pimentel Gomes, F. 1978. *Iniciación a la Estadística Experimental*. Ed. Hemisferio Sur S. A., Buenos Aires, Argentina. 323 p.
14. Travasso, M.; Magrin, G.; Grondona, M.; Rodríguez, G. 2009. The use of SST and SOI anomalies as indicators of crop yield variability. *Int. J. Climatol*. 29: 23-29.
15. Tricart, J. L. F. 1973. *Geomorfología de la Pampa Deprimida*. Ed. Colección Científica del INTA. Buenos Aires. 202 p.
16. ONU. 2015. La OMM alerta sobre la intensificación de El Niño a fin de año, Disponible en: <http://www.un.org/climatechange/es/blog/2015/11/la-omm-alerta-de-la-intensificacion-de-el-nino-fin-de-ano/> (fecha de consulta: 12/04/2016).

"Country of origin" effect and ethnocentrism in food purchase in Southern Chile

Efecto "país de origen" y etnocentrismo en la compra de alimentos en el sur de Chile

Berta Schnettler ^{1,6*}, Mercedes Sánchez ², Horacio Miranda ¹, Ligia Orellana ³, José Sepúlveda ³, Marcos Mora ⁴, Germán Lobos ⁵, Clementina Hueche ⁶

Originales: *Recepción*: 20/04/2017 - *Aceptación*: 11/09/2017

ABSTRACT

This study sought to determine the relative importance of the country of origin in the selection of four foodstuffs (rice, sugar, chicken meat and oil); to identify consumer segments; and to evaluate which sociodemographic variables affect ethnocentrism in food consumption, through a survey responded by 800 habitual supermarket shoppers in southern Chile. It was determined that the country of origin was the most important attribute in the selection of the four foods. Three consumer segments were distinguished which assigned a different degree of importance to the country of origin, although in two segments the country of origin was highly important in the purchase choice. The consumers of the three segments preferred Chilean foods and expressed a lower preference for food imported from countries that were farther away and more culturally different from Chile. The segments differed significantly in the frequency of purchase of imported foods, reasons for preferring to buy imported foods, and ethnocentrism. It was found that if the respondent was a woman, of older age, belonged to the medium or high socioeconomic level, and had a conservative lifestyle, the probability of being ethnocentric in food consumption increased.

Keywords

food consumption • market segments • origin • ethnocentrism • Chile

-
- 1 Departamento de Producción Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Universidad de La Frontera. Casilla 54-D, Temuco, Chile. E-mail: berta.schnettler@ufrontera.cl
 - 2 Departamento de Gestión de Empresas, Universidad Pública de Navarra, Campus Arrosadía 31006, Pamplona, España.
 - 3 Department of Psychology, University of Sheffield, United Kingdom.
 - 4 Departamento de Economía Agraria, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
 - 5 Universidad de Talca, Escuela de Ingeniería Comercial, Talca, Chile.
 - 6 Centro de Excelencia en Psicología Económica y del Consumo, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

RESUMEN

Este estudio buscó determinar la importancia relativa del país de origen en la elección de cuatro alimentos (arroz, azúcar, carne de pollo y aceite); identificar segmentos de consumidores, y evaluar qué variables sociodemográficas afectan el etnocentrismo en el consumo de alimentos, a través de una encuesta respondida por 800 compradores habituales de supermercados en el sur de Chile. Se obtuvo que el país de origen fue el atributo de mayor importancia en la elección de los cuatro alimentos. Se distinguieron tres segmentos de consumidores que asignaron diferente importancia al país de origen, aun cuando en dos de ellos el país de origen tuvo elevada relevancia en la elección. Los consumidores de los tres segmentos prefirieron los alimentos chilenos y expresaron una menor preferencia hacia los alimentos importados desde países más lejanos y diferentes culturalmente de Chile. Los segmentos difirieron significativamente según la frecuencia de compra de alimentos importados, razones para preferir comprar alimentos importados y etnocentrismo. Se obtuvo que si la persona es mujer, si es de mayor edad, pertenece al nivel socioeconómico medio o alto y posee un estilo de vida conservador, aumenta la probabilidad de que sea etnocéntrico en el consumo de alimentos.

Palabras clave

consumo de alimentos • segmentos de mercado • origen • etnocentrismo • Chile

INTRODUCTION

The increase in world trade associated with globalisation has made the purchase decision process more complex for consumers (5, 52), who must decide between domestic products and imported alternatives (13). This situation is not unknown to developing countries. In Chile, a developing country in South America, an increase of 378% has been recorded in imports of agrifood products between 2000 and 2014 (33). Among the principal products imported in recent years are rice, sugar, and blended oil, all of which increased in imports by more than 50% between 2008 and 2014. Another notable product is chicken meat, imports of which began only in 2003 and increased by more than 250% between 2008 and 2014 (33).

International literature provides ample evidence that consumers evaluate products based on the country in which they were produced, and that ethno-

centric consumers give priority to domestically produced alternatives (49). To understand this patriotic consumption behaviour, at least two lines of research offer theoretical bases: studies referring to ethnocentrism in consumption, and work focusing on the "country of origin effect" (COO) (49). This combination of the two seeks to study the influence of psychographic variables, such as ethnocentrism, with the attribute of the product, such as country of origin (26, 48). Therefore, because the studies focused on the COO effect and those undertaken to explain ethnocentric behaviour have investigated a similar phenomenon -patriotic consumption behaviour-, the contribution of the present study consists in analysing the acceptance of different foods with a different country of origin, including both concepts in the investigation in a developing country.

Studies conducted on ethnocentrism and COO conclude that consumers prefer domestic products or those from countries with a similar culture or level of development. However, no studies have been carried out that demonstrate this behaviour in a basic product category, such as food, in a developing country. Thus, the objectives of this study were:

1) To determine the relative importance of the country of origin as compared to other important attributes of the product in the selection of different foods, imports of which have increased to an important extent in Chile in recent years.

2) To identify and characterise consumer segments based on their preferences for domestic or imported foods, their demographic characteristics, level of ethnocentrism, and their purchasing behaviour of imported foods.

3) To evaluate which sociodemographic variables affect ethnocentrism in food consumption, and if this variable is affected by the consumer's self-declared lifestyle, independently of their sociodemographic background.

Literature review

The country of origin effect illustrates that consumers carry out different assessments towards products from various countries (12). This effect implies that consumers use the origin as an attribute related to the quality of the product (12, 37, 53), on its own, or in combination with other attributes.

The quality association derived from indicators of origin determines an effect on the value perceived by the consumer and consequently on their confidence, thus reducing the risk associated with the purchase (25).

Numerous studies show the importance of the country of origin in the

food purchase choice (3, 10, 37, 43, 45, 54). However, other investigations have determined that the origin of the food is only considered by a small proportion of consumers when it comes to purchase decisions (19), it does not present a significant effect in consumer preferences, or is an attribute of lesser importance in the choice (12, 54).

Nevertheless, the relative importance of this attribute might be associated with the product itself (42, 53) and with the attributes with which the country of origin is compared (1, 42, 54). It should be emphasized, however, that most of these studies have focused on measuring the importance of the country of origin in the decision to purchase a single food, and therefore the literature has yet to account for how the consumer reacts when confronted with choosing several foods with different countries of origin simultaneously, comparing the relative importance with different attributes. There is also evidence of rejection of domestic products and preference for imports when domestic foods are of poor quality (25, 49).

In other words, the country of origin effect is only detected in certain products and with unequal intensity, and therefore it is impossible to generalise for any product or country (53).

In this regard, this study endeavours to confirm that the importance of origin in the decision to purchase differs according to the product, and the importance of this attribute is evaluated in relation to other attributes relevant to the decision to purchase. Accordingly, we suggest the following hypothesis:

H1

The importance of the attribute origin in the purchase decision will be different depending on a) the food evaluated, b) on the attributes to which it is compared.

In parallel, some investigations have detected different consumer segments based on acceptance of foods from different countries of origin (36, 43). Therefore, it is also impossible to generalize that origin is an attribute that decisively affects or not the decision to purchase made by all consumers and their preferences towards certain countries of origin. However, these studies have detected consumer segments based on preferences for a single product. The present investigation seeks to distinguish consumer segments according to the preferences for several foods at the same time. Therefore, we propose the following hypothesis:

H2

Different consumer segments will be identified according to the importance assigned to the attribute origin in the purchase choice of different foods.

One aspect for which there is no consensus in the literature refers to the connection between the importance consumers assign to the attribute country of origin and their demographic characteristics. There is evidence that the perception of foods of different origins depends on the consumer's age (3, 51, 54), gender (3, 12), educational level (54), residential area (3) and ethnocentrism (10).

However, Scarpa *et al.* (2005) indicate that the consumers' demographic characteristics have a limited explanatory power on the country of origin effect. At the same time, some studies conducted with different foods also relate the importance of the attribute origin to the frequency with which the food is consumed (9, 43) and the frequency with which imported foods are purchased (13).

On this basis, this investigation endeavours to confirm that the importance assigned to this attribute is related to

consumption habits. This background therefore leads us to propose the following hypothesis:

H3

The consumer segments will differ in their a) sociodemographic profile, b) level of ethnocentrism, c) their consumption habits.

It has also been reported that consumers prefer foodstuffs produced in their home country (3, 9, 10, 39, 43) or imported from countries nearby or with a similar culture (3, 37, 39). This behavior is indicative of ethnocentric tendencies (37).

In this respect, the level of economic development of the country of origin has been found to have an impact on consumer evaluations of imported foods: products originating from developed countries tend to receive higher overall evaluation than those from less developed countries (3), but consumer acceptance in developing nations of foods imported from developed countries has been less studied. On this basis, we propose the following hypothesis:

H4

Consumers will prefer a) foods of domestic origin, b) foods imported from countries nearby with a similar culture.

Consumer ethnocentrism is defined as the beliefs held by consumers about the appropriateness and morality of purchasing home-made products and the rejection of foreign-made products (49).

The concept of ethnocentrism incorporates the emotional dimension of buying imported goods and the implications of such a choice as a threat to domestic industry or even national security (4).

It is therefore expected that the consumer's level of ethnocentrism may be related to some of their psychographic characteristics, such as lifestyle.

Shimp and Sharma (1987) developed a scale of 17 items to evaluate ethnocentric tendencies in consumers called the CETSCALE (Consumer Ethnocentric Tendencies Scale).

The purpose of the CETSCALE is to measure the degree to which consumers feel that buying imported products is unpatriotic and immoral because it damages the economy of their own country (49).

Ethnocentrism is an important factor in predicting the attitudes and perceptions of consumers towards foreign or imported products (36), influencing the purchasing habits of the consumer by generating loyalty to his own country and rejection of others (4, 10, 11, 12).

Various investigations have demonstrated that ethnocentrism is a global phenomenon, but differences exist in the degree of ethnocentrism expressed by consumers depending on the country studied (23, 51).

People in developed countries tend to be less ethnocentric than their counterparts in emerging countries (27).

However, findings from food studies indicate the opposite: consumers from developed countries prefer their own food (4, 9, 10, 39, 56) or imported from countries with a similar level of development (3, 4, 37, 39).

One possible explanation for this phenomenon is that consumers in developed countries are more likely to identify their own domestic products as being of higher quality than imported products (3).

In the case of developing countries, it has also been reported that consumers prefer domestic foods (43) over imports, but some studies conclude that in these countries the level of ethnocentrism is lower and that buying imported products

increases the consumer's status (6, 26). Sharma (2011) studied the influence of ethnocentrism and country of origin effect in developed and emerging countries. They detected the relevance of other aspects like cultural values and economic situation to this relation.

Li *et al.* (2012) found less ethnocentrism for developing countries because consumers considered the foreign product as being of higher quality or representing a higher status level. Batra *et al.* (2000) suggested that in developing countries a brand's country of origin not only serves as a "quality halo" or summary of product quality, but also possesses a dimension of 'non-localness' that, among some consumers and for some product categories, contributes to attitudinal liking for status-enhancing reasons. However, these studies were conducted with product categories where buying the imported alternative may bring about this effect, but no studies have been carried out that demonstrate this behaviour in a basic product category, such as food. In Southern Chile, Schnettler *et al.* (2011) distinguished five typologies of consumer with different degrees of ethnocentrism based on the values of the factors in the CETSCALE. These authors concluded that different levels of ethnocentrism exist in the consumption of foods, related with some socio-demographic characteristics of consumers and their attitudes to imported foodstuffs.

However, Schnettler *et al.* (2011) did not look at the relation between the consumers' level of ethnocentrism and their preferences for domestic and imported foods, which the present research intends to approach while adding the COO.

Some studies have determined stronger ethnocentric tendencies in women and older people (23, 51, 54),

while education and income tend to relate negatively to ethnocentrism (23, 51, 54). However, all these studies were conducted in developed countries. Therefore, in the present investigation it is expected to find that ethnocentrism is associated with the sociodemographic characteristics of consumers in a developing country. Based on the results of the studies discussed here, we suggest the following hypothesis:

H5

In terms of sociodemographics and ethnocentric tendencies a) women have more ethnocentric tendencies than men, b) elderly have more ethnocentric tendencies than young people, c) people from lower sociodemographic status have more ethnocentric tendencies than people from higher sociodemographic status.

Nevertheless, there is evidence to suggest that sociodemographic variables are not sufficient to explain the phenomenon of ethnocentrism in consumption (7). Indeed, the rationale provided for the aforementioned relationships is that females, older and less-educated people are more conservative than other people (4, 23, 49, 54).

MATERIALS AND METHODS

Sample

Accidental non-probability sampling was used to recruit a sample of 800 habitual supermarket shoppers in two Chilean cities in Southern Chile, aged over eighteen, who were responsible for buying the food for their homes. 400 persons were surveyed in Los Angeles (Biobío Region), and 400 in Temuco (Araucanía Region), Chile.

The survey was conducted in person by two trained surveyors, at the exit of two supermarkets in Temuco and Los Angeles.

The surveyors approached people as they were exiting the supermarkets, explained to them the objectives of the survey and the strictly confidential treatment of the information obtained, and then asked if they were willing to answer the questionnaire (mall intercept type).

The response rate was 60%. Prior to conducting this survey, a pilot test of the questionnaire was conducted with 10% of the survey sample.

The preliminary test was done in the two supermarkets selected in Temuco, using the same method of addressing the participants as in the definitive survey. As the behaviour of the instrument was satisfactory, no changes were required in either the questionnaire or the interview procedure.

Data collection instrument

The survey was composed by 11 closed questions, the CETSCALE (Consumer Ethnocentric Tendencies Scale), and four conjoint designs with eight combinations of attributes for each food, which the survey respondents had to arrange according to their preferences.

Closed questions in the questionnaire were used to inquire into knowledge on the origin of foodstuffs and purchasing frequency of imported foods. Respondents with a high purchasing frequency (always or almost always) were asked the reasons for their preference, and, in the opposite case (low purchasing frequency: almost never or never), their reasons for rejection. Classification questions were included to establish gender, age, zone of residence, self-declared lifestyle, level of education of the head of the household, and ownership of ten domestic goods.

The combination of these two latter variables in a matrix allows the socio-economic level to be determined, classified as high and upper middle, middle-middle, lower middle, low and very low (2).

The CETSCALE, developed by Shimp and Sharma (1987), was applied. The CETSCALE was recently validated in Chile by Schnettler *et al.* (2011) (Cronbach's α coefficient = 0.928).

The CETSCALE consists of 17 statements to which respondents must indicate their level of agreement using a five-point Likert scale (5: completely agree, 1: completely disagree). Considering that individuals scoring high on the CETSCALE were expected to be more ethnocentric (48), the average of each subject was calculated for the scale and a division was then generated at the mean point, to assign each subject to a category of ethnocentric and non-ethnocentric. Thus, participants classified as ethnocentric were those whose score on the scale was higher than the sample average, and as non-ethnocentric those whose score was lower than the average. Other authors have also used this classification (*e.g.* 14, 17, 23, 49).

To determine the relative importance of the country of origin attribute, and to evaluate preferences for rice, sugar, chicken meat, and oil of different origins, a conjoint analysis (CA) was employed (19). CA allows estimating the relative importance of the attributes of a product and the part worth utility values for each level of an attribute.

The estimated part worth utility values indicate how influential each level of an attribute is in the formation of consumer preferences for a combination, *i.e.*, the degree of preference for each level of an attribute (19).

Table 1 (page 250), shows the attributes and levels defined for each food. Among the alternatives of countries of origin, the most important have been chosen in the last few years, but countries of origin similar to Chile's culture and development

were included (Argentina and Uruguay), as well as others with greater cultural differences (Colombia), and belonging to the group of developed countries (United States). In the case of rice, Uruguay is one of the principal exporters of rice to Chile but the volumes of rice imported from the United States are not large. Nevertheless, the United States was included as an alternative to evaluate acceptance of a product imported from a country with marked cultural differences to Chile. These countries were chosen following the cultural dimensions of the Hofstede framework. Hofstede and Bond (1987) found pronounced differences between Chilean and United States citizens for power distance, individualism, masculinity, and in the uncertainty avoidance dimension. These authors also reported differences between Chilean and Colombian citizens in the same dimensions.

Conversely, Hofstede and Bond (1987), reported similarities between Chilean and Argentinean citizens in individualism, masculinity and uncertainty avoidance, while they found similarities in the four dimensions between Chilean and Uruguayan citizens (21). Although there is scarce literature available that includes Chile in cultural distance measurements, more recently Merkin (2006), confirmed the pronounced differences between Chilean and United States citizens for the uncertainty avoidance dimension, whereas Farías (2007) confirmed the differences between Chilean and United States citizens in the four dimensions.

It should be noted that "vegetable oil" in Chile corresponds to a blend of oils, preferably containing soybean oil. It should also be noted that when the survey was conducted, over 95% of all imported sunflower oil and "vegetable oil" was of Argentinean origin.

Table 1. Design of the conjoint experiments.
Tabla 1. Diseño de los experimentos de análisis conjunto.

Food	Attributes	Levels
Rice	Origin	Chile Uruguay US
	Quality	Grade 1 Grade 2
	Price	US \$1.1/kg US \$1.3/kg US \$1.6/kg
Sugar	Origin	Chile Argentina Colombia
	Packaging	1 kilogram 5 kilograms
	Price	US \$0.51/kg US \$0.63/kg US \$0.76/kg
Chicken meat	Origin	Chile Argentina
	Form of presentation	Whole In pieces
	Price	US \$2.1/kg US \$2.4/kg US \$2.8/kg
Oil	Origin	Chile Argentina
	Variety of oil	Sunflower Vegetable (mix with soybean)
	Price	US \$1.7/L US \$2.1/L US \$2.5/L

Moreover, all the imported chicken meat came from Argentina. Based on this information, only Chile and Argentina were defined as levels in the attribute "origin" for both foods.

In the four foods, the relative importance of the country of origin with

respect to price was evaluated, because consumers use this attribute as a quality indicator that helps reduce uncertainty and risk when purchasing food.

The price levels were established based on the average retail sale price at the time of the survey in the cities where the study was conducted.

When there are many attributes, conjoint analysis experiments include problems of information overload that affect their validity. Since the respondents were asked to order alternatives of four different foods according to their preference, the choice was made to define a third attribute that had to be different for each food and relevant to the decision to purchase.

The third attribute evaluated for each food was: quality for rice, packaging for sugar, presentation for chicken meat, and variety for oil (table 1, page 250).

From these attributes and levels, 18 combinations (3x2x3) were obtained for rice and sugar, and 12 combinations for chicken meat and oil (2x2x3).

However, to facilitate the response of respondents it was decided to use a fractional factorial design obtained using the orthoplan option of SPSS (20). This allowed the number of stimuli to be reduced to eight with one specification for each attribute in each food.

The stimuli were presented to respondents in cards with verbal information. Participants were asked to order the cards from most to least preferred, on a scale of 1 to 8 (where 1=most preferred; 8=least preferred). This procedure was conducted for each food separately.

Statistical analysis

Conjoint analysis was carried out by means of the TRANSREG procedure of SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

The relative importance that consumers gave to the different attributes and the utility values obtained for each level of the selected factors were determined.

A hierarchical cluster analysis was chosen to determine consumer segments according to the partial utility scores of the levels of the attributes. Ward's

procedure, which calculates the squared Euclidean distance, was carried out with the CLUSTER procedure of SAS.

The presence of outliers was detected using the Mahalanobis distance (20), which is why the database used for the statistical analyses comprised 792 cases.

The number of clusters was taken based on the R^2 obtained, and from a strong increase produced in the Cubic Criterion of Clustering and Pseudo-F values. To describe the segments, a Chi-square test was applied for the discrete variables and a one-factor analysis of variance for the continuous variables, with a 99% confidence level. Because the Levene's statistic indicated non-homogeneous variances in all the continuous variables analysed, the variables for which the analysis of variance resulted in significant differences ($P < 0.001$) were subjected to Dunnett's T3 multiple comparisons test.

To evaluate sociodemographic variables affecting ethnocentrism in food consumption, a nominal binomial logit model was generated (unordered data) (16).

The definition of sociodemographic characteristics as explanatory variables of the logit model is based on the works of Javalgi *et al.* (2005), Verbeke and Ward (2006), and Unahanandh and Assarut (2013). The dependent variable of the model was the consumer classification according to the results of the CETSCALE, which may take two values (dichotomous variable): Non ethnocentric = 0, Ethnocentric = 1. The parameters of the logit model were estimated by the method of maximum likelihood. The goodness-of-fit measurements used for the model in this work were: R^2_{adj} , Nagelkerke's (Pseudo- R^2) and Hosmer-Lemeshow's test.

The condition index was used for the diagnosis of collinearity of the logit model. This is justified by the variance

matrix playing the same role in the logistic regression than in the linear regression. The literature states that a condition index between five and 10 is associated with a weak collinearity (18). Wald statistics were used to measure the statistical significance of the explanatory variables. The SPSS program version 16.0 for Windows was used.

RESULTS

Of the whole sample (table 2), the largest proportion were women, aged less than 35, resident in urban areas, with a conservative lifestyle, in high and upper middle and middle-middle socioeconomic groups. Most of the consumers said that they knew the origin of the foods they buy. The frequency of consumption of imported foods was occasional in most cases.

The main reason for rejecting imported foods in those individuals who never or hardly ever buy them (27.7%; $n = 222$), was a preference for Chilean products.

The principal motives for preferring imported foods in those individuals who buy them with more than occasional frequency (72.3%; $n = 578$) were the good price-quality ratio and that they were cheaper than Chilean products (table 2).

In the present study, the average sum of the CETSCALE was 52.9 with a typical deviation of 13.1 (minimum = 20, maximum = 85). The Cronbach's α coefficient obtained (0.938) allowed to conclude that the CETSCALE was reliable. Consistent with the study by Schnettler *et al.* (2011), three dimensions were obtained by factor analysis, which represent 61.6% of the accumulated variance (table 3, page 253). It was found that 53.2% of the total sample was qualified as ethnocentric individuals and 46.8% as non-ethnocentric.

Table 2. Characteristics (%) of the sample.
Tabla 2. Características (%) de la muestra.

Sample	Total
Female	59.0
Male	41.0
< 35 years	45.0
35-54 years	40.1
55 years or older	14.9
High and upper middle	30.2
Middle-middle	33.1
Lower middle	19.8
Low	14.5
Very low	2.4
Conservative	42.4
Liberal	24.5
Ecological	10.6
Athletic	10.9
Innovator	10.8
Other	0.8
Always buys AI*	6.2
Generally	26.0
Occasionally	40.1
Almost never	22.8
Never	4.9
Prefers AI* for better quality	20.9
Cheaper	29.5
Good price-quality ratio	36.4
No domestic substitutes	9.7
Other	3.5
Rejects AI* for lower quality	1.2
For being more expensive	26.7
Prefers Chilean products	58.8
Other motive	1.8

* AI: Imported foods.

* AI: alimentos importados.

Importance of country of origin in food purchase

The results of the conjoint analysis for the whole sample indicated that, for these four foods, the country of origin was the attribute that dominated consumer preferences, while the price was in third place (table 4 , page 254 and 5, page 255).

Table 3. Results of the CETSCALE factorial analysis.
Tabla 3. Resultados del análisis factorial de la CETSCALE.

Item on the ethnocentrism scale	Component		
	1	2	3
A real Chilean and should always buy Chilean-made foods.	0.789	0.300	0.119
Purchasing foreign-made foods is un-Chilean.	0.780	0.305	-0.005
Curbs should be placed on food imports.	0.731	0.095	0.335
Chilean consumers who purchase foods made in other countries are responsible for putting their fellow Chileans out of work.	0.728	0.160	0.300
Foreigners should not be allowed to put their foods on our markets.	0.635	0.045	0.421
It is not right to purchase foreign foods, because it puts Chilean out of jobs.	0.629	0.354	0.251
We should purchase foods manufactured in Chile instead of letting other countries get rich off us.	0.600	0.340	0.355
Chileans should not buy foreign foods, because this hurts Chilean business and causes unemployment.	0.558	0.222	0.331
It may cost me in the long-run but I prefer to support Chilean foods.	0.519	0.355	0.105
Foreign foods should be taxed heavily to reduce their entry into the Chile.	0.508	0.079	0.145
Chilean foods, first, last, and foremost.	0.318	0.786	0.040
Chilean people should always buy Chilean-made foods instead of imports.	0.280	0.728	0.125
Buy Chilean-made foods. Keep Chile working.	0.046	0.688	0.224
It is always best to purchase Chilean foods.	0.212	0.571	0.275
We should buy from foreign countries only those foods that we cannot obtain within our own country.	0.155	0.215	0.783
There should be very little trading or purchasing of foods from other countries unless out of necessity.	0.116	0.222	0.713
Only those foods that are unavailable in Chile should be imported.	0.101	0.246	0.571
Variance by factor (%).	47.97	8.19	6.58
Accumulated variance (%).	47.97	55.06	61.64

Kaiser-Meyer-Olkin measure of sampling adequacy = 0.946. Bartlett's test of sphericity: Approximate Chi2 = 7.149.389; gl = 136; Sig. = 0.000. Method of extraction: Principal axes. Method of rotation: Varimax normalization with Kaiser. The rotation has converged in ten iterations.

Kaiser-Meyer-Olkin medida de adecuación de muestreo = 0,946. Prueba de esfericidad de Bartlett: Chi2 aproximado = 7.149.389; Gl = 136; Sig. = 0,000. Método de extracción: Ejes principales. Método de rotación: normalización Varimax con Kaiser. La rotación ha convergido en diez iteraciones.

Table 4. Importance (%) of the origin, presentation and price in the purchase of rice and sugar, and utilities of the levels of each attribute in the cities of Los Angeles and Temuco, Chile, and in the groups obtained via cluster analysis.

Tabla 4. Importancia (%) del origen, presentación y precio en la compra de arroz y azúcar, y utilidades de los niveles de cada atributo en las ciudades de Los Angeles y Temuco, Chile, y en los grupos obtenidos a través de análisis de conglomerados.

Total sample (n = 792)	Group 1 (n = 364)	Group 2 (n = 157)	Group 3 (n = 271)	F	P value
RICE (RMSE = 0.22)					
Importance of the attributes (%)					
Origin	55.4	53.6 b	68.9 a	159.681	0.000 **
Quality	22.7	28.4 a	16.7 b	40.382	0.000 **
Price	21.9	18.0 b	14.4 c	214.722	0.000 **
Partial utility of each attribute level					
Chile	2.483	1.886 b	3.736 a	119.804	0.000 **
Uruguay	-0.711	-0.549 a	-0.316 a	20.836	0.000 **
United States	-1.772	-1.337 a	-1.383 a	46.937	0.000 **
Grade 1	0.464	0.342 b	0.399 b	4.785	0.009 **
Grade 2	-0.464	-0.342 a	-0.399 a	4.785	0.009 **
US \$1.1/kg	1.096	0.869 b	2.232 a	100.606	0.000 **
US \$1.3/kg	-0.109	-0.087 a	-0.223 b	49.606	0.000 **
US \$1.6/kg	-0.987	-0.782 a	-0.676 a	105.606	0.000 **
SUGAR (RMSE = 0.23)					
Importance of the attributes (%)					
Origin	56.0	55.7 b	73.5 a	255.451	0.000 **
Package capacity	24.1	26.8 a	16.1 b	48.694	0.000 **
Price	19.9	17.5 c	10.4 b	160.146	0.000 **
Partial utility of each attribute level					
Chile	2.609	2.319 b	3.742 a	177.455	0.000 **
Argentina	-0.529	-0.510 b	-0.781 b	12.203	0.000 **
Colombia	-2.080	-1.809 b	-2.961 c	72.960	0.000 **
Bag 1 kg	-0.231	0.058 a	0.050 a	59.549	0.000 **
Bag 5 kg	0.231	-0.058 b	-0.050 b	59.549	0.000 **
US \$0.51/kg	1.128	0.916 b	2.174 a	101.659	0.000 **
US \$0.63/kg	-0.282	-0.250 a	-0.174 a	25.659	0.000 **
US \$0.76/kg	-0.846	-0.666 a	-0.405 a	99.659	0.000 **

Utility numbers in the different levels from an attribute with a negative sign indicate utility loss for the consumer. Higher negative numbers indicate higher utility loss. * Significance (0.001). Different letters in a row indicate statistical difference according to Dunnett T3 multiple comparison test ($P \leq 0.001$).

Los números de utilidad en los diferentes niveles de un atributo con un signo negativo indican pérdida de utilidad para el consumidor. Los números negativos más altos indican una mayor pérdida de utilidad.

* Significancia (0,001). Diferentes letras en una fila indican diferencia estadística según la prueba de comparación múltiple de Dunnett T3 ($P \leq 0,001$).

Table 5. Importance (%) of the origin, presentation and price in the purchase of chicken and oil, and utilities of the levels of each attribute in the cities of Los Angeles and Temuco, Chile, and in the groups obtained via cluster analysis.

Tabla 5. Importancia (%) del origen, presentación y precio en la compra de pollo y aceite, y utilidades de los niveles de cada atributo en las ciudades de Los Ángeles y Temuco, Chile, y en los grupos obtenidos mediante análisis de conglomerados.

Total sample (n = 792)	Group 1 (n = 364)	Group 2 (n = 157)	Group 3 (n = 271)	F	P-value
CHICKEN MEAT (RMSE = 0.21)					
Importance of the attributes (%)					
Origin	44.9	39.2 b	29.9 c	60.2 a	147.598 0.000 **
Presentation	30.2	37.0 a	24.8 b	23.0 b	59.660 0.000 **
Price	24.9	23.8 b	45.3 a	16.8 c	135.055 0.000 **
Partial utility of each attribute level					
Chile	1.254	0.870 b	0.951 b	1.944 a	140.316 0.000 **
Argentina	-1.254	-0.870 a	-0.951 a	-1.944 b	140.316 0.000 **
Whole	0.016	0.007	0.129	-0.018	0.739 0.478 **
In pieces	-0.016	-0.007	-0.129	0.018	0.739 0.478 **
US \$2.1/kg	0.866	0.819 b	2.094 a	0.576 b	111.307 0.000 **
US \$2.4/kg	-0.394	-0.341 a	-0.698 b	-0.115 a	25.307 0.000 **
US \$2.8/kg	-0.472	-0.478 a	-1.396 b	-0.461 a	98.307 0.000 **
VEGETABLE OIL (RMSE = 0.20)					
Importance of the attributes (%)					
Origin	41.5	38.9 b	26.9 c	53.7 a	179.639 0.000 **
Variety	30.2	38.8 a	20.4 b	24.3 b	94.678 0.000 **
Price	28.3	22.3 b	52.7 a	22.0 b	80.618 0.000 **
Partial utility of each attribute level					
Chile	0.945	0.218 b	0.723 b	1.722 a	138.287 0.000 **
Argentina	-0.945	-0.218 a	-0.723 a	-1.722 b	138.287 0.000 **
Sunflower	0.172	-0.089 b	0.297 a	0.446 a	18.838 0.000 **
Vegetable (mix with soybean)	-0.172	0.089 a	-0.297 b	-0.446 b	18.838 0.000 **
US \$1.7/L	1.114	0.858 b	2.049 a	0.915 b	116.838 0.000 **
US \$2.1/L	-0.464	-0.357 a	-0.854 b	-0.381 a	18.838 0.000 **
US \$2.5/L	-0.650	-0.501 a	-1.195 b	-0.534 a	78.838 0.000 **

Utility numbers in the different levels from an attribute with a negative sign indicate utility loss for the consumer. Higher negative numbers indicate higher utility loss. * Significance (0.001). Different letters in a row indicate statistical difference according to Dunnett T3 multiple comparison test (P ≤ 0.001).

Los números de utilidad en los diferentes niveles de un atributo con un signo negativo indican pérdida de utilidad para el consumidor. Los números negativos más altos indican una mayor pérdida de utilidad.

* Significancia (0,001). Diferentes letras en una fila indican diferencia estadística según la prueba de comparación múltiple de Dunnett T3 (P ≤ 0,001).

Consumers preferred Chilean grade 1 rice, Chilean sugar in 5 kg bags (table 4, page 254), Chilean whole chicken, and Chilean sunflower seed oil (table 5, page 255).

In all four products consumers preferred to pay the low price. Consumers expressed a lower preference for rice from United States than rice imported from Uruguay. Likewise, there was less rejection of Argentinean sugar than Colombian product (table 4, page 254).

Consumer segments

Three consumer segments were distinguished by cluster analysis with

significant differences in partial utility scores for the levels of the attributes in most cases ($P \leq 0.001$ or $P \leq 0.05$), except in the preference for whole chicken or chicken pieces ($P > 0.1$) (table 4, page 254 and 5, page 255).

The clusters presented significant differences in ethnocentrism, frequency of purchase of imported food, and reasons for preferring imported foods ($P \leq 0.001$) (table 6). These groups did not present any statistical differences in the rest of the variables included in this study, including city of residence ($P > 0.1$).

Table 6. Characteristics with significant differences in the groups of supermarket buyers identified by cluster analysis in Los Ángeles and Temuco cities. Chile.

Tabla 6. Características con diferencias significativas en los grupos de compradores de supermercados identificados con análisis de conglomerados en las ciudades de Los Ángeles y Temuco. Chile.

Characteristic	Group 1 (n = 364)	Group 2 (n = 157)	Group 3 (n = 271)
Ethnocentrism	P = 0.000		
Ethnocentric	44.7	40.3	64.9
Non-ethnocentric	55.3	59.7	35.1
Frequency of imported food purchase	P = 0.000		
Always	8.2	3.8	4.8
Generally	31.3	34.4	14.4
Occasionally	41.8	49.0	33.2
Almost never	15.9	10.2	38.7
Never	2.7	2.5	8.9
Reasons for preferring imported food	P = 0.000		
Greater quality	30.2	3.2	17.3
Cheaper	21.7	40.8	38.0
Price/quality ratio	38.7	40.8	26.6
Lack of domestic substitute	8.0	8.3	15.1
Other	1.4	6.4	3.0

P value corresponds to the (bilateral) asymptotic significance obtained in Pearson's Chi squared Test. El valor de P corresponde a la significancia asintótica (bilateral) obtenida en el test de Chi cuadrado de Pearson.

Group 1 "Consumers sensitive to the origin depending on the product" (46.0% of the sample)

Assigned great importance to the country of origin in the case of rice and sugar (table 4, page 254), significantly higher than Group 2 but lower than Group 3 ($P \leq 0.001$).

The results for the relative importance assigned to the country of origin for chicken meat and oil (table 5, page 255) were statistically similar to the above foods, but in the case of chicken meat the importance assigned to the presentation was slightly less than that for origin, while for oil the same occurred with the relative importance of origin and variety.

The preference of this group for Chilean foods was significantly lower than Group 3 ($P \leq 0.001$), similar to Group 2 in rice (table 4, page 254), chicken meat and oil (table 5, page 255), but higher than Group 2 in sugar (table 4, page 254) ($P \leq 0.001$).

The negative utility figures for sugar imported from Argentina and Colombia were significantly lower than those of Group 2 ($P \leq 0.001$). With respect to the whole sample, this segment presented a higher proportion of non-ethnocentric persons (55.3%), and those who always or generally buy imported foods (39.5%), because they consider them to be of better quality than Chilean foods (30.2%) (table 6, page 256).

Group 2. "Consumers sensitive to price" (19.8%)

The consumers of this group assigned greater importance to the price of the four foods ($P \leq 0.001$).

The importance assigned to country of origin was significantly below Groups 1 and 3 for all four foods ($P \leq 0.001$) (table 4, page 254 and table 5, page 255).

In the preference expressed for Chilean products and lesser preference for imported food this Group did not differ statistically from Group 1 for rice (table 4, page 254), chicken meat, and oil (table 5, page 255); this group presented the least preference for Chilean sugar, and least rejection of sugar imported from Argentina and Colombia (table 4, page 254), statistically different from Groups 1 and 3 ($P \leq 0.001$). This type of consumer contained a higher presence of non-ethnocentric people (59.7%), who generally or occasionally purchase imported foods (83.4% altogether), because they are cheaper than domestic products (40.8%) (table 6, page 256).

Group 3 "Consumers sensitive to origin" (34.2%)

Assigned the greatest importance to country of origin in the four foods, significantly higher than Groups 1 and 2 ($P \leq 0.001$) (table 4, page 254 and table 5, page 255). This group presented the highest figures for preference of products of Chilean origin for all four foods ($P \leq 0.001$). At the same time, it presented the most negative figures in preference for imported foods ($P \leq 0.001$), except in the case of sugar imported from Argentina, in which it did not differ statistically from Group 1 (table 4, page 254). This segment presented the highest proportion ethnocentric persons (64.9%) and those who never or almost ever buy imported foodstuffs (47.6% altogether) (table 6, page 256).

In all four foods, consumers preferred the low price and the utility was negative with higher prices, particularly in Group 2 "Consumers sensitive to price" which presented values significantly lower than those of Groups 1 and 3.

The partial utility values for Group 2 towards the lowest price were significantly higher than the other groups.

Demographic variables influencing ethnocentrism in food consumption

The results of the logit model generated for "ethnocentrism" (Ethnocent) are presented in table 7.

The binomial logistic regression model proved significant overall ($P \leq 0.01$). This means that the model is a good predictor according to the likelihood function test, Nagelkerke's coefficient and Hosmer-Lemeshow's test.

The highest condition index was 5.68; therefore, the generated model shows no collinearity problems, or, at the most, there may be weak collinearity.

The variables "Age" and "Socioeconomic level" (SEL) proved to be significant in the model ($P < 0.01$), as did "Gender"

and "Lifestyle" ($P < 0.05$). In view of the signs of the coefficients and categories of comparison of the logit model, it is concluded that:

If the person is a man, a lower probability can be expected that he will be ethnocentric ($\beta = -0.345$).

The older a person is, the higher the probability that he or she will be ethnocentric ($\beta = 0.461$).

If a person belongs to a medium socioeconomic level, the probability increases that he or she will be ethnocentric as compared to person of low socioeconomic level ($\beta = 0.862$), the latter being the category of comparison.

The same conclusion is found for persons belonging to a high socioeconomic stratum ($\beta = 0.407$) against the same category of comparison.

Table 7. Results of the logit model generated using the likelihood method.

Tabla 7. Resultados del modelo logit generado utilizando el método de verosimilitud.

Regressors	β Estimator	Wald ^a	Sig.
Constant	1.489	1.701	0.191
Gender	-0.345**	5.088	0.025
Age	0.461***	16.538	0.000
Sel		12.245	0.002
Sel(1)	0.862***	11.672	0.001
Sel(2)	0.407**	5.465	0.018
Style		8.200	0.147
Style(1)	-1.859*	2.803	0.094
Style(2)	-2.234**	4.009	0.044
Style(3)	-1.890*	2.809	0.093
Style(4)	-2.167*	3.696	0.054
Style(5)	-2.175*	3.734	0.053
R ² Nagelkerke	0.246		
Hosmer-Lemeshow (HL)	6.138		
	Prob(HL): 0.633		

^aSignificant variables at * $P < 0.1$; ** $P < 0.05$; *** $P < 0.01$ based on Wald statistics.

^aVariables significativas a * $P < 0,1$; ** $P < 0,05$ *** $P < 0,01$ basado en el estadístico de Wald.

If the respondent describes his or her lifestyle as liberal, ecological, sporting, innovative or other, the probability of this respondent being ethnocentric is lower than persons who describe themselves as conservative ($\beta = -1.859, -2.234, -1.890, -2.167, -2.175$, respectively), the latter being the category of comparison.

DISCUSSION

This study focuses on country of origin effect and ethnocentrism in food purchase in Southern Chile. Conjoint analysis of the whole sample allowed us to confirm the importance of the country of origin attribute in the formation of consumer preferences for the four foods under study, consistent with previous studies (3, 10, 26, 37, 43, 51, 55). This result by itself would lead to a rejection of hypothesis 1a. Nevertheless, it was possible, using cluster analysis, to distinguish three segments of consumers for whom the importance of this attribute differed, in line with the findings of Van Ittersum *et al.* (2003) and Scarpa *et al.* (2005) that the country of origin effect is detected with unequal intensity. Thus, although an important part of the sample Group 3 (34.2%) presented a similar behaviour to the total sample, for the Group 1 the country of origin was the most important attribute only in the choice of rice and sugar, presenting similar importance to the variety in the case of oil and the presentation (whole or pieces) for chicken meat. The latter contradicts the results obtained by Pouta *et al.* (2010) in Finland, and Vukasovic (2010) in countries of Central and Eastern Europe, who found that country of origin had high importance as a choice cue in chicken meat. This result may be attributed to contextual factors or confounding variables.

However, the preferences of Group 1 are consistent with studies that have detected a secondary importance of origin in the purchase decision, both in global samples (12, 54) and in different market segments (36, 43).

Oliver *et al.* (2006) detected different segments among European consumers in terms of their acceptance of beef of different origins, with some groups who do not discriminate among products for their origin. In Group 2, the attribute that dominated consumer choice in the four foods was price, while country of origin occupied second place, in agreement with research which indicates that it is an attribute of lesser importance in choice (12, 54). Thus, to the findings of Van Ittersum *et al.* (2003) it must be added that the country of origin effect is found with unequal intensity among consumers of the same country.

The results are sufficient to accept hypotheses 1a, 1b and 2, and highlight the importance of studying the market in segmented form rather than drawing conclusions based on the entire sample.

Regarding the profile of the market segments identified, it should be noted that they are mainly differentiated by behaviour and not by sociodemographic characteristics, contrary to the findings reported in various studies (3, 10, 51, 54), but in line with Scarpa *et al.* (2005).

Group 2, which assigned the greatest importance to price in product choice, purchases imported foods because they are cheaper than national products. Group 3, which assigned the greatest importance to the country of origin and showed the greatest preference for foods produced in Chile, was remarkable due to the lowest frequency of purchase of imported foodstuffs. Although Group 1 assigned greater importance to country of

origin in the choice of rice and sugar, this behaviour was not observed in chicken meat and oil.

At the same time, although the results of the conjoint analysis indicate that these consumers prefer domestic foods, Group 1 was differentiated by greater frequency in the purchase of imported products, indicating that these consumers are not unconditional in their attitude to Chilean foods, preferring imported alternatives if they are of better quality. These results confirm previous studies regarding a relation between the importance assigned to the attribute origin and the frequency of purchasing imported foods (13).

A key aspect in the differences between the segments was the proportion of ethnocentric persons in each, according to the classification obtained from the scores of the CETSCALE. Thus, Group 3 presented a significantly higher proportion of ethnocentric individuals, corroborating the association between the preference for domestic products and a high degree of ethnocentrism in consumption detected in United Kingdom (10), the western Balkans (13) and in countries in America, Europe, and Asia (11). These results lead to reject hypothesis 3a, as consumer segments do not differ in their sociodemographic profile.

However, hypotheses 3b and 3c can be accepted, given that the consumer segments do differ in their level of ethnocentrism and purchasing behaviour. This result is interesting because it suggests that when studying the country-of-origin effect, a greater number of consumer-associated variables should be considered, such as consumption habits and psychographic characteristics, and not limited solely to sociodemographic characteristics.

In the whole sample, and in the three consumer segments, independent of the importance of the country of origin,

consumers preferred the four foods produced nationally, in agreement with results from previous studies (3, 9, 10, 39, 43, 56). Although, based on the results of this investigation, it is not possible to assert that Chilean consumers prefer domestic foods due to their higher quality, it may be suggested that this behaviour is related to the confidence associated with indicators of origin, thus reducing the risk associated with purchase (25). Similar findings have been also reported in studies that evaluate the effect of the region of origin, protected designations of origin, and protected geographical indications (28, 40, 50, 46).

One possible explanation for this result is that people in developing countries tend to be more ethnocentric than their counterparts in developed countries (27, 45, 38).

When the preferences for rice and sugar are analysed, it can also be confirmed that in the case of foreign products, consumers prefer those imported from countries nearby or with a similar culture (3, 37, 39). This preference was expressed in the lesser preference for sugar imported from Colombia as compared to Argentinean product, and the lesser preference for rice imported from United States as compared to product from Uruguay. Therefore, from these results, it is possible to accept hypothesis 4a and 4b. This contradicts the findings reported by Alfnes (2004), that products originating from developed countries tend to receive higher overall evaluation than those from less developed countries. It should be noted that the studies of these authors were carried out in developed countries, where there will be greater confidence in products coming from countries with a similar level of development. By contrast, this research conducted in a developing country found that consumers showed

less preference for products from more distant and culturally different countries, independent of their level of development as a country, which may be indicative of ethnocentric tendencies not only in favour of the country of residence, but also of the countries which make up the geographical area of immediate influence. Also, this contradicts the results of Batra *et al.* (2006) and Li *et al.* (2012) in developing countries, where a country of origin not only serves as a "quality halo", but also contributes to attitudinal liking for status-enhancing reasons. This is likely related to the products evaluated in this study, all of which are for habitual consumption, and which independently of their origin, do not improve the consumer's status. Despite the importance of this finding for the export strategies of neighbouring countries, this result must be confirmed with other products and other countries of origin in future research. This notwithstanding, another explanation for the lower acceptance of products imported from the United States and Colombia is that country-of-origin effect is associated with diverse marketing factors that affect consumer behaviour, including familiarity (16).

Familiarity can be an important factor in explaining the propensity for using country-of-origin information and its effects on other variables (30). Grebitus *et al.* (2011) studied the use of origin information on the purchase of pork in Germany. They found that the use of origin information decreases when pork is the consumer's most purchased type of meat, thus suggesting that intrinsic quality cues might be used instead of extrinsic quality cues, such as origin information, by shoppers who are more experienced or familiar with the food.

Although the price was the most important attribute only for the minority segment (Group 2, 19.8%), in the whole sample and in all three segments the consumers preferred the low price, and the utilities were negative for the highest prices. This indicates that consumers choose the foods which have the attributes desired but at the low price.

Although the preference for domestic foods was the general tendency, which would enable Chilean industry to use the country of origin attribute to differentiate itself from imported competition in the internal market, the choice of lower priced foods imposes a demand on the industry of being able to produce efficiently and develop competitive cost advantages to maintain or increase sales in the domestic market.

However, it is possible to suggest the need to produce a differentiated marketing strategy, including a commercial mixture that emphasises the Chilean origin of the food aimed at Groups 1 and 3, and another that incorporates lower prices or sales promotions aimed at Group 1.

The results of the logit model to assess the influence of sociodemographic variables on ethnocentrism in food consumption obtained from the results of the CETSCALE, provided confirmation of the effect of gender, producing a more ethnocentric attitude among women (23, 49, 51); greater ethnocentrism associated with increasing age (18, 49, 51, 54); and greater ethnocentrism associated with education and income level, represented in this case by the socioeconomic level of the consumer. Nevertheless, in the latter case the results obtained contradict the reports in the literature which indicate that education and income tend to present a negative relation to ethnocentrism (23, 51, 54), since the probability that a person will be ethnocentric in our study

was higher in medium and higher socio-economic levels (higher levels of income and education).

This result is in contrast with the lack of significant differences in the sociodemographic profile of the segments identified, which differed significantly in the presence of ethnocentric and non-ethnocentric consumers. It can be hypothesized that variables such as gender, age, and socio-economical level may have influenced the preferences of the consumer segments through associated ethnocentrism, although further research is needed to corroborate and validate this potential finding. Nonetheless, it is possible to accept hypotheses 5a and 5b, but reject hypothesis 5c.

This is probably due to the character of food as a basic need, in agreement with the findings reported by Javalgi *et al.* (2005), which is more difficult to satisfy in conditions of low income; it may therefore be expected that ethnocentric attitudes will make less sense in this context, and therefore with respect to foodstuffs.

Nevertheless, the results of this investigation are in line with studies conducted with beef in Spain, where the people with the highest education and income preferred meat produced in Spain over meat imported from the US, once the origin the meat was known (8, 41). This could be associated with these consumers' feeling protective of their culture. In this regard, Javalgi *et al.* (2005) conclude that the differences in the level of ethnocentrism found in studies that consider more than one country are generally associated with culture, confirming the importance of the consumer's culture as an internal factor in the consumer decision-making process (11).

Additionally, this result may be related to what is reported by Gretibus *et al.* (2011)

in Germany, in the sense that a higher income increases the likelihood of using origin information for purchase decisions.

The literature explains the relation between ethnocentrism and gender, age and education level on the basis that women, older and less-educated people are more conservative than other individuals (4, 23, 49, 54).

However, in the present investigation it was found that a relation existed between ethnocentrism and the self-declared lifestyle of the consumers. Thus, an increase was obtained in the probability that a consumer will be ethnocentric if he describes himself as conservative, but in this case independent of his gender, age, income level or education. This result makes it appropriate to incorporate the consumer's psychographic characteristics in research into ethnocentrism in consumption.

One of the limitations of the study is that the sample is not representative of the country's population distribution in terms of socioeconomic status and gender. However, the consumer distribution in this survey was similar to the sample obtained by Schnettler *et al.* (2009, 2016) in supermarket consumer studies. Therefore, although the results and conclusions in this study may not be applicable to the whole population, they might be valid for those consumers that who normally purchase foods in supermarkets, the commercial formats in which imported foodstuffs are principally sold. In addition, all data were self-reported, thus, responses may be affected by social desirability, which partially would explain the preferences toward the domestic foods and the higher proportion of participants who answered that occasionally, almost never or never buy imported foods, despite the increase in agrifood products imports between 2000

and 2014 (33). These imports have been relatively constant in 2015 and 2016 (34), although an increase of 14.1% has been registered in rice imports, 23.7% in sugar imports, 35.9% in oil imports and 56.3% in chicken meat, in the period 2014-2016 (35). Another possible explanation may be the fact that participants do not know the COO of the food products they purchase, since this information, while it is included, it is not presented in a consumer-friendly manner in the packages for rice, sugar, oil, and many imported products sold under the store brand.

The exception is imported chicken meat, which is sold with labels that highlight the origin, and it is usually sold frozen unlike its Chilean counterpart. These results are in contrast with the fact that in Chile, 41% of rice is supplied by national production, and the remaining percentage comes mainly from Argentina (31). In the case of sugar, 45% is national production and the rest is imported from several Latin American countries (22), 97.2% of oil for national consumption is imported and 14% of total Chilean chicken meat consumption belongs to imports (33).

Conducting the survey in Temuco and Los Angeles can be considered a limitation, given that for both cities farming activities are paramount, thus these cities are not representative of other Chilean cities where these activities are less relevant, such as Santiago, Concepcion, and other Northern cities. Therefore, the noticeable preference towards Chilean products, and the low frequency of purchase of imported foods may have been affected by the participants' closeness to a farming environment.

New research is required in other cities across the country, and with methodologies that consider the consumers' behaviors and not only their

stated preferences. In addition, although various previous studies have categorized consumers as ethnocentric and non-ethnocentric (14, 17, 23, 49), future research should consider different levels of ethnocentrism (24).

Another limitation lies in the study design. Evaluating the relative importance of the attribute origin in four foods at the same time imposed several limitations.

The first was the need to define only three attributes for each food to facilitate participants' responses. Despite this precaution, and although fractional factorial designs were used, asking participants to order eight combinations of stimuli of four different foods according to their preferences could have caused a potential respondent fatigue from evaluating many trade-offs.

An additional limitation of this investigation is the lack of control over variables such as economic development of the country of origin, and the level of familiarity with the evaluated product, which will have to be considered in future studies.

CONCLUSIONS

For supermarket consumers in the cities of Los Angeles and Temuco, in southern Chile, the country of origin was more important than the quality, packaging, presentation, variety and price in four foods, imports of which have increased in recent years in Chile.

Three consumer segments were identified, for whom the country of origin varied in importance, with significant differences in the frequency of purchase of imported foods, reasons for preferring these foods over domestic alternatives, and in their degree of ethnocentrism.

Independent of the importance of the country of origin, a preference for Chilean food was found in all three segments.

With respect to the imported alternatives, the least preferred were those imported from geographically remote countries, and countries with greater cultural differences, independent of the level of development of the country, as occurred with products imported from Colombia and United States. Ethnocentrism in food consumption, considering the categories ethnocentric and non ethnocentric, was affected by the gender, age, socioeconomic level and self-declared lifestyle of the consumer, some of which had been described in the literature dealing with ethnocentrism in general or as an attitude towards durable goods.

From a managerial point of view, the overall results of the study indicate that the Chilean food industry may use country of origin as an attribute to differentiate itself from imported competition in the internal market.

However, at the same time, the Chilean industry must be able to produce efficiently and develop competitive cost

advantages to maintain or increase sales in the domestic market.

The results of cluster analysis indicate that it is possible to cover a larger market share through the implementation of a differentiated marketing strategy.

A marketing mix that emphasises the Chilean origin of the food must be developed for consumers who prefer domestic production because they are more ethnocentric, and consistently show a low frequency of purchase of imported food.

In parallel, a marketing mix with lower prices or sales must be developed for consumers who give minor importance to origin and more relevance to the price of food. This market segment is comprised of less ethnocentric consumers and reports a high frequency of purchase of imported foods due to lower prices. It is also possible to implement a marketing mix that advertises the quality of Chilean food, focused towards consumers that, although are not ethnocentric, may consider that the origin of food is important, but have a high frequency of purchase of imported food, because it is considered of better quality than domestic food.

REFERENCES

1. Adasme-Berríos, C.; Sánchez, M.; Jara-Rojas, R.; Engler, A.; Rodríguez, M.; Mora, M. 2015. Who are the potential consumers of organic fruits and vegetables in Central Chile? A CHAID approach. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 47(1): 193-208.
2. Adimark. 2004. Socioeconomic map of Chile. Adimark. Market and Public Opinion Study. Santiago, Chile. Available online at www.adimark.cl (Accessed: 20 April 2015).
3. Alfnes, F. 2004. Stated preferences for imported and hormone-treated beef: application of a mixed logit model. *European Review of Agricultural Economics.* 31:19-37.
4. Balabinia, G.; Diamantopoulos, A. 2004. Domestic country bias, country-of-origin effects and consumer ethnocentrism: a multidimensional unfolding approach. *Journal of the Academy of Marketing Science.* 32(1):80-95.
5. Barrena, R.; García, T.; López-Mosquera, N. 2016. Socio-economic and emotional determinants in the consumption of new food. A pilot study. *ITEA (Información Técnica Económica Agraria).* 112(1): 88-103.

6. Batra, R.; Ramaswamy, V.; Alden, D. J.; Steenkamp, J. B. E. M.; Ramachander, S. 2000. Effects of brand local and nonlocal origin on consumer attitudes in developing countries. *Journal of Consumer Psychology*. 9:83-95.
7. Bawa, A. 2004. Consumer Ethnocentrism: CETSCALE Validation and Measurement of Extent. *Vikalpa*. 3:43-57.
8. Beriain, M. J.; Sánchez, M.; Carr, T. R. 2009. A comparison of consumer sensory acceptance, purchase intention, and willingness to pay for high quality United States and Spanish beef under different information. *Open Journal of Animal Sciences*. 87: 3392-3402.
9. Bernabéu, R.; Prieto, A.; Díaz, M. 2012. Preference patterns for wine consumption in Spain depending on the degree of consumer ethnocentrism. *Food Quality and Preference*. 28: 77-84.
10. Chambers, S.; Loob, A.; Butler, L.; Harvey, K.; Traill, W. B. 2007. Local, national and imported foods: a qualitative study. *Appetite*. 49: 208-213.
11. Cleveland, M.; Laroche, M.; Papadopoulos, N. 2009. Cosmopolitanism, consumer ethnocentrism, and materialism: an eight-country study of antecedents and outcomes. *Journal of International Marketing*. 17: 116-146.
12. Dekhili, S.; D'Hauteville, F. 2009. Effect of the region of origin on the perceived quality of olive oil: An experimental approach using a control group. *Food Quality and Preference*. 20: 525-532.
13. Dmitrovic, T.; Vida, I.; Reardon, J. 2009. Purchase behavior in favor of domestic products in the West Balkans. *International Business Review*. 18: 523-535.
14. Erdogan, B.; Uzokurt, C. 2010. Effects of ethnocentric tendency on consumers' perception of product attitudes for foreign and domestic products. *Cross Cultural Management: An International Journal*. 17: 393-406.
15. Farías, P. 2007. Cambios en las distancias culturales entre países: Un análisis a las dimensiones culturales de Hofstede. *Opción*. 23(52).
16. Gázquez-Abad, J. C.; Jiménez-Castillo, D.; Marín-Carrillo, G. M. 2012. Synergies between product attributes and familiarity with product origin. Effects on perceived image. *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*. 15: 73-83.
17. Grappi, S.; Romani, S.; Bagozzi, R. P. 2015. Consumer stakeholder responses to reshoring strategies. *Journal of the Academy of Marketing Science*. 43: 453-471.
18. Greene, W. H. 1999. *Econometric Analysis*. 7th ed. Prentice-Hall: Madrid, Spain.
19. Gretibus, C.; Menapace, L.; Bruhn, M. 2011. Consumers' use of seals of approval and origin information: evidence from the German pork market. *Agribusiness*. 27: 478-492.
20. Hair, J.; Anderson, R.; Black, W.; Babin, B. 2010. *Multivariate data analysis*. 7th ed. Pearson.
21. Hofstede G.; Bond M. H. 1988. The Confucius connection: From cultural roots to economic growth. *Organizational Dynamics*. 16:4.
22. IANSA (National Sugar Industry). 2012. Sweet news. Available online at <http://www.iansa.cl/wp/wp-content/uploads/2015/03/Sweetnews-enero-2012.pdf> (Accessed: 8 August 2017).
23. Javalgi, R.; Khare, V.; Gross, A.; Schere, R. 2005. An application of the consumer ethnocentrism model to French consumer. *International Business Review*. 14: 325-344.
24. Jiménez-Guerrero, J. F.; Gázquez-Abad, J. C.; del Carmen Linares-Agüera, E. 2014. Using standard CETSCALE and other adapted versions of the scale for measuring consumers' ethnocentric tendencies: An analysis of dimensionality. *BRQ Business Research Quarterly*. 17(3): 174-190.
25. Kim, R. 2008. Japanese consumers' use of extrinsic and intrinsic cues to mitigate risky food choices. *International Journal of Consumer Studies*. 32:49-58.
26. Li, X.; Yang, J.; Wang, X.; Lei, D. 2012. The impact of country-of-origin image, consumer ethnocentrism and animosity on purchase intention. *Journal of Software*. 7: 2263-2268.
27. Lindquist, J.; Vida, I.; Plank, R.; Fairhurst, A. 2001. The modified CETSCALE: validity tests in Czech Republic, Hungary, and Poland. *International Business Review*. 10: 505-516.

28. Menapace, L.; Colson, G.; Getribus, C.; Facendola, M. 2012. Consumers' preferences for geographical origin labels: evidence from the Canadian olive oil market. *European Review of Agricultural Economics*. 38: 193-212.
29. Merkin, R. S. 2006. Uncertainty avoidance and facework: A test of the Hofstede model. *International Journal of Intercultural Relations*. 30: 213-228.
30. Moorman, C.; Diehl, K.; Brinberg, D.; Kidwell, B. 2004. Subjective knowledge, search locations, and consumer choice. *Journal of Consumer Research*. 31: 673-680.
31. ODEPA (Agricultural Research and Policies Office). 2008. Consumer Bulletin: Characteristics of Chilean Rice. Available online at <http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/publicaciones/doc/2306.pdf> (Accessed: 8 August, 2017).
32. ODEPA (Agricultural Research and Policies Office). 2012. Olive oil. Available online at <http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/publicaciones/doc/4878.pdf> (Accessed: 8 August 2017).
33. ODEPA (Agricultural Research and Policies Office). 2015. Monthly balance of trade of forestry and agricultural products. Available online at <http://www.odepa.cl/boletin/balanza-comercial-silvoagropecuaria-mensual-2> (Accessed: 16 February 2015).
34. ODEPA (Agricultural Research and Policies Office). 2017a. Balance of trade of forestry and agricultural products. Available online at <http://www.odepa.gob.cl/balanza-comercial-de-productos-silvoagropecuarios/> (Accessed: 9 August 2017).
35. ODEPA (Agricultural Research and Policies Office). 2017b. Exports-Imports Advance. Available online at <http://www.odepa.cl/avance-por-producto-de-exportacionesimportaciones/> (Accessed: 8 August 2017).
36. Oliver, M.; Nute, G.; Font, I.; Furnols, M.; San Julián, R.; Campo, M.; Sanudo, C.; Caneque, V.; Guerrero, L.; Alvarez, I.; Diaz, M. T.; Branscheid, W.; Wicke, M.; Montossi, F. 2006. Eating quality for beef, from different production system, assessed by German, Spanish and British consumers. *Meat Science*. 74: 435-442.
37. Orth, U.; Firbasová, Z. 2003. The role of consumer ethnocentrism in food product evaluation. *Agribusiness*. 19: 137-153.
38. Pisani, E.; Masiero, M.; Scrocco, S. 2015. Reintroduction of native cotton (*Gossypium Barbadian*) on the North coast of Peru: Analysis of economic feasibility for small producers. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 47(1): 209-232.
39. Pouta, E.; Heikkilä, J.; Forsman-Hugg, S.; Isoniemi, M.; Mäkelä, J. 2010. Consumer choice of broiler meat: the effects of country of origin and production methods. *Food Quality and Preference*. 21: 539-546.
40. Profeta, A.; Balling, R.; Roosen, J. 2012. The relevance of origin information at the point of sale. *Food Quality and Preference*. 26: 1-11.
41. Sánchez, M.; Beriain, M. J.; Carr, T. R. 2012. Socio-economic factors affecting consumer behaviour for United States and Spanish beef under different information scenarios. *Food Quality and Preference*. 24: 30-39.
42. Scarpa, R.; Philippidis, G.; Spalatro, F. 2005. Product-country images and preference heterogeneity for Mediterranean food products: A discrete choice framework. *Agribusiness*. 21: 329-349.
43. Schnettler, B.; Vidal, R.; Silva, R.; Vallejos Gretibus, L.; Sepúlveda, N. 2009. Consumer willingness to pay for beef meat in a developing country: The effect of information regarding country of origin, price and animal handling prior to slaughter. *Food Quality and Preference*. 20: 156-165.
44. Schnettler, B.; Miranda, H.; Lobos, G.; Sepúlveda, J.; Denegri, M. 2011. A study of the relationship between degree of ethnocentrism and typologies of food purchase in supermarkets in central-southern Chile. *Appetite*. 56: 704-712.
45. Schnettler, B.; Sepúlveda, N.; Sepúlveda, J.; Orellana, L.; Miranda, H.; Lobos, G.; Mora, M. 2014. Consumer preferences towards beef cattle in Chile: Importance of country of origin, cut, packaging, brand and Price. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 46(1): 143-160.

46. Schnettler, B.; Pihán, R.; Valdevenito, A.; Miranda, H.; Lobos, G.; Grunert, K. G. 2015. Acceptance of a vegetable with designation of origin in two cities in southern Chile. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 47(1): 173-191.
47. Schnettler, B.; Velásquez, C.; Lobos, G.; Orellana, L.; Sepúlveda, J.; Salinas-Oñate, N.; Adasme-Berríos, C.; Grunert, K. G. 2016. Acceptance of beef obtained through genetic modification and cloning in university students and working adults in southern Chile. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 48(2): 141-159.
48. Sharma, P. 2011. Country of origin effects in developed and emerging markets: exploring the contrasting roles of materialism and value consciousness. *Journal of International Business Studies.* 42: 285-306.
49. Shimp, T.; Sharma, S. 1987. Consumer ethnocentrism: construction and validation of the CETSCALE. *Journal of Marketing Research.* 24: 280-289.
50. Teuber, R. 2011. Consumers' and producers' expectations towards geographical indications. Empirical evidence for a German case study. *British Food Journal.* 113: 900-918.
51. Unahanandh, S.; Assarut, N. 2013. Dairy products market segmentation: The effects of country of origin on price premium and purchase intention. *Journal of International Food & Agribusiness Marketing.* 25: 122-133.
52. Valdes, R.; Diaz Osorio, J. 2015. The Brazilian beef meat sector into a domestic and international context: a Supply Chain Management (SCM) approach. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 47(1): 233-239.
53. Van Ittersum, K.; Candel, M.; Meulenberg, M. 2003. The influence of the image of a product's region of origin on product evaluation. *Journal of Business Review.* 56: 215-226.
54. Verbeke, W.; Ward, R. W. 2006. Consumer interest in information cues denoting quality, traceability and origin: An application of ordered probit models to beef labels. *Food Quality and Preference.* 17: 6453-6467.
55. Vukasovic, T. 2010. Buying decision-making process for poultry meat. *British Food Journal.* 112: 125-139.
56. Zheng, Y.; Li, X.; Peterson, H. 2013. In pursuit of safe foods: Chinese preferences for soybean attributes in soymilk. *Agribusiness.* 29(3): 377-391.

ACKNOWLEDGMENT

The results presented correspond to Fondecyt Projects 1080146 and 1100611. The authors also acknowledge the financial support from Project AGL2012-39793-C03-01 (Spanish Ministry of Economy and Competitiveness); co-financed by FEDER.

Importancia de los objetivos sociales, ambientales y económicos de los agricultores en la adopción de maíz mejorado en Chiapas, México

The importance of farmers' social, environmental and economic objectives in improved corn seeds adoption in Chiapas, México

Blanca Isabel Sánchez-Toledano ^{1,2*}, Zein Kallas ¹, José María Gil ¹

Originales: *Recepción*: 24/08/2016 - *Aceptación*: 17/10/2016

RESUMEN

Mientras que las semillas mejoradas pueden aumentar el rendimiento y la productividad de maíz en México, su adopción sigue siendo baja. Si se pretende entender el comportamiento de adopción de innovaciones tecnológicas, es necesario, entender la heterogeneidad de los agricultores teniendo en cuenta no solo sus características socioeconómicas y las de sus explotaciones, sino también sus opiniones, actitudes, preferencias y objetivos. Por ello, en esta investigación se buscó en primer lugar, analizar los objetivos que los agricultores tienen en cuenta a la hora de cultivar maíz en Chiapas a través del proceso analítico jerárquico. En segundo lugar, segmentar a base de sus opiniones, actitudes y aversión al riesgo, utilizando el análisis de conglomerado y observar la heterogeneidad mediante el análisis Tobit. Los datos se recopilaron a través de una muestra de 200 agricultores de maíz en Chiapas, México. Se identificaron tres segmentos de agricultores: en "transición" - no aprecian en su totalidad el potencial de las semillas mejoradas (52,5%); "conservadores" - con una percepción negativa de las semillas mejoradas (18,5%); e "innovadores" - con una percepción positiva (29%). Se observó que los objetivos de los agricultores son diferentes para cada segmento.

Palabras clave

Zea mays L • adopción • objetivos de los agricultores • proceso analítico jerárquico • Tobit

1 Centro de Investigación en Economía y Desarrollo Agroalimentario (CREDA), UPC-IRTA. Parc Mediterrani de la Tecnologia Edifici ESAB. C/ Esteve Terrades, 8 E-08860. Barcelona, España.

2 Campo Experimental Zacatecas-INIFAP. Apartado Postal Núm. 18, Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, México. E-98500. sugammx@hotmail.com

ABSTRACT

While improved seeds can increase performance and productivity of corn in Mexico, its adoption remains low. In order to understand the behavior of adoption of technological innovations, it is necessary to understand the heterogeneity of farmers taking into account not only their socio-economic characteristics and the nature of their holdings, but also their opinions, attitudes, preferences and objectives. Therefore, in this investigation our aim was firstly to analyze the objectives that farmers have to take into account when they cultivate corn in Chiapas and we have used the analytic hierarchy process. Secondly, to segment the farmers based on their opinions, attitudes and risk aversion using the cluster analysis and observing the heterogeneity by the Tobit analysis. Data were collected through a sample of 200 maize farmers in Chiapas, Mexico. Three segments of farmers were identified: In "transition" - not fully appreciating the potential of improved seeds (52.5%); "conservative" - with a negative perception of improved seeds (18.5%); and "innovative" - with a positive perception (29%). It was observed that the objectives of farmers are different for each segment.

Keywords

Zea mays L • adoption • objectives of farmers • analytic hierarchy process • Tobit

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Chiapas es el estado con la mayor producción de maíz en México (696 mil t). No obstante, también cuenta con los menores rendimientos (1,6 tha⁻¹) (65).

La baja productividad se debe a varios factores pero uno de ellos es el uso de semillas criollas que, a pesar de estar adaptadas a condiciones ambientales desfavorables, tienen un bajo potencial productivo y son más sensibles a padecer enfermedades reduciendo la calidad del cultivo y la productividad. En este sentido, la utilización de semillas mejoradas de maíz representa una oportunidad de mejora tecnológica que repercutiría en aumentar el rendimiento y rentabilidad de las explotaciones.

No obstante, la adopción de este tipo de semillas es aún limitada (30%) (35) debido principalmente al tamaño de las explotaciones, los precios de las semillas mejoradas y a que la promoción de su

uso se ha centrado en agricultores con grandes extensiones de tierra y de buena calidad edafológica (25).

Si se quiere incrementar la utilización de semillas mejoradas es necesario tener en cuenta la gran heterogeneidad de agricultores existentes con circunstancias diferenciadoras específicas, que por otro lado, condicionan las decisiones de producción de los agricultores. Entre estas circunstancias se destaca el entorno, factores naturales y económicos, los objetivos empresariales, las preferencias de los agricultores y las limitaciones en la disponibilidad de recursos.

Si las tecnologías se adecuan a las circunstancias específicas de los agricultores, estos las adoptarán rápidamente (16, 21).

Por consiguiente, si se pretende entender el comportamiento de adopción de tecnologías en este sector, es necesario, entender la heterogeneidad de los

agricultores teniendo en cuenta no solo sus características socioeconómicas y las de sus explotaciones, sino también sus actitudes y preferencias del riesgo percibido hacia las semillas mejoradas. Asimismo, es de importancia incluir en este análisis los objetivos que posee cada agricultor en su decisión de administrar la explotación. Por tanto, este trabajo pretende proporcionar información técnica, socioeconómica y tipológica de los agricultores de maíz en el estado de Chiapas, para impulsar estrategias diferenciadas de adopción para este cultivo tan importante en el Estado.

Para capturar y simplificar las actitudes y preferencias se utilizó el Análisis de Componentes Principales (ACP), los resultados se utilizaron como variables de segmentación de los agricultores mediante un Análisis de Conglomerados (AC).

Por otra parte, para analizar los objetivos se utilizó el Proceso Analítico Jerárquico (AHP). La metodología AHP es una técnica que se clasifica dentro de las técnicas de decisión multicriterio discretas. Así, los conceptos básicos del AHP se sustentan sobre la base teórica y la terminología común de la Teoría de la Decisión Multicriterio (TDMC) (7).

La toma de decisiones multicriterio se caracteriza por la existencia de más de un criterio para determinar el cumplimiento de un objetivo predeterminado. Asimismo, el modelo econométrico Tobit permitió analizar la heterogeneidad de los objetivos de los agricultores respecto de las variables sociodemográficas de los mismos.

METODOLOGÍA

Área de estudio

Chiapas se localiza al sureste de México; colinda al norte con el estado de Tabasco, al oeste con Veracruz y Oaxaca, al sur con el Océano Pacífico y al este con la República de Guatemala. Tiene una superficie territorial de 74,415 km² (figura 1).

La agricultura representa el 8% del producto interno bruto de Chiapas y genera empleo para el 40% de la población económicamente activa (38). Esta región produce grandes excedentes de maíz que se destinan a otras partes de México, pero sigue dominado por los agricultores de pequeña escala que producen para el mercado y autoconsumo.

Actualmente se siembran 696 mil hectáreas de maíz de las cuales solo 240,629 hectáreas se siembran con semilla mejorada (65).

El rendimiento promedio es de 1,6 tha⁻¹ y este cultivo constituye por tradición la dieta de los habitantes. Su siembra está vinculada con una serie de fenómenos culturales, socio-políticos y económicos, toda vez que implica seguridad alimentaria y empleo de 3 de cada 5 agricultores del campo (23).



Figura 1. Localización del estado de Chiapas.
Figure 1. State of Chiapas location.

Definición del tamaño de muestra

La información analizada proviene de una encuesta personal y cara a cara, realizada entre enero y marzo de 2015, a una muestra de 200 agricultores estratificados por tamaño de la explotación y variedad de semilla utilizada.

Las encuestas se llevaron a cabo en la zona potencial de producción de maíz en el estado de Chiapas: Villaflores, Chiapas de Corzo, Villacorzo y La Concordia.

Para calcular el tamaño de la muestra se tomó como base a los agricultores registrados

en el Programa de Apoyos Directos al Campo (PROCAMPO) en los municipios mencionados. Los agricultores registrados en el programa representan el 98% del total de agricultores según (62).

El tamaño de muestra se calculó en base a la fórmula de poblaciones finitas con un nivel de significación (α) de 5% ($Z=1,96$) y un nivel máximo de error de 6,87% (58). El enfoque metodológico seguido en este trabajo se puede consultar en la figura 2.

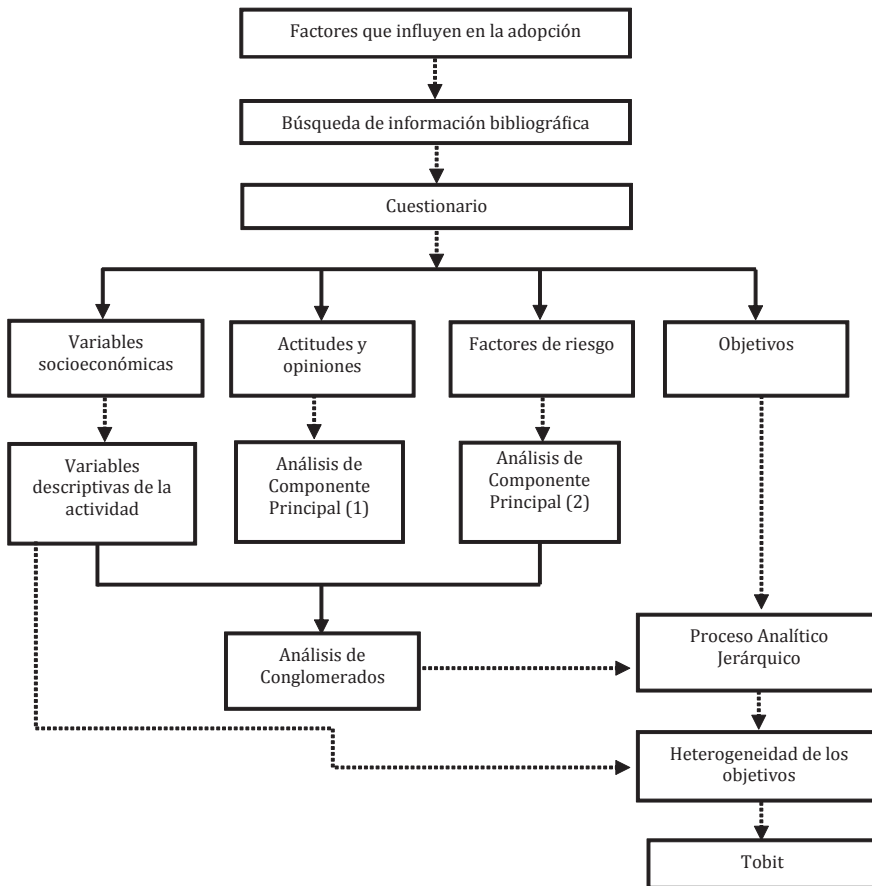


Figura 2. Esquema metodológico de la investigación.

Figure 2. Methodological research scheme.

La encuesta permitió delimitar, recolectar y sistematizar la mayor parte de los datos analizados en la investigación. Con este fin, se aplicó a cada agricultor un cuestionario con 54 preguntas de tipo cerrado, el cual se probó antes de su aplicación definitiva.

Las variables analizadas en el cuestionario se dividieron en los siguientes apartados siguiendo la clasificación presentada por Kallas *et al.* (2010) y Knowler y Bradshaw (2007): características del agricultor, estructura de la explotación, datos de la gestión agraria del cultivo de maíz, factores exógenos, actitudes y opiniones del agricultor hacia la adopción de nuevas tecnologías en la explotación (especialmente las semillas mejoradas), las percepciones del riesgo de dicha adopción y finalmente los objetivos económicos, socio-culturales y ambientales de cada agricultor.

Las actitudes, opiniones y percepciones de riesgo que juegan un papel importante como factores determinantes de la adopción de semillas mejoradas (10, 12, 13, 36, 52) se presentaron en diferentes constructos que incluían diversos ítems, medidos en una escala de likert entre 0 y 10, donde el 0 indicaba que el agricultor no estaba nada de acuerdo con las afirmaciones presentadas y el 10 que estaba totalmente de acuerdo.

Las afirmaciones identificadas fueron comentadas y analizadas en un grupo de discusión formado por los diferentes investigadores implicados en el estudio.

La información contenida en los constructos se validó y se redujo a través del Análisis de Componentes Principales confirmatorio (ACP) siguiendo a Hair *et al.* (1998). En la tabla 1 (pág. 274), se muestran el constructo de las variables utilizadas para el análisis.

Como tercer elemento clave en el proceso de adopción, se han considerado de importancia los objetivos que suele tener cada agricultor en el momento de planificar su actividad agraria (40). Dichos objetivos se clasificaron en objetivos económicos, socioculturales y ambientales (54). Dentro de cada objetivo primario, los agricultores contaban con diferentes objetivos secundarios. Los objetivos económicos secundarios fueron: maximizar las ventas de maíz, maximizar los beneficios totales de la familia y maximizar los beneficios del cultivo de maíz. Los objetivos secundarios socioculturales incluyeron: generar empleos en la zona, impedir el despoblamiento del medio rural y conservar los valores socioculturales existentes.

Los objetivos medioambientales secundarios fueron: favorecer prácticas agrarias que respeten el medioambiente, mantener la fertilidad del suelo y mantener razas criollas de maíz. Todos los objetivos comentados se definieron de acuerdo con un panel de consultores agrícolas en la zona de Chiapas y debatidas en un grupo de discusión, formado por los investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Para la determinación de la importancia relativa de cada objetivo se utilizó la metodología del Proceso Analítico Jerárquico (AHP), técnica con escala del 1 al 9 que permite, a través del uso de las comparaciones pareadas entre dos elementos, la identificación de la priorización de cada agricultor hacia cada objetivo analizado (61).

Los factores que representan a las opiniones, actitudes y percepciones del riesgo identificadas con el ACP se utilizaron como variables de segmentación de los agricultores mediante un Análisis de Conglomerados (AC).

Tabla 1. Variables sobre actitudes, opiniones y preferencias del riesgo utilizadas en el estudio.**Table 1.** Variables on attitudes, opinions and risk preferences used in the study.

Variables sobre actitudes	Nombre de la variable	Literatura
Los precios de venta del maíz mejorado permiten cubrir los mayores costes de producción	(a ₁)	(70)
La siembra con semillas mejoradas de maíz puede asegurar el futuro de las explotaciones	(a ₂)	(70)
La siembra con semillas mejoradas de maíz contribuye a dar una imagen positiva para la explotación	(a ₃)	(70)
La siembra con semillas mejoradas incrementa los ingresos del hogar	(a ₄)	(32)
Las semillas mejoradas de maíz tienen mejor aceptación en el mercado	(a ₅)	(32)
La relación masa-tortilla es mayor con las semillas mejoradas	(a ₆)	(63)
Variables de riesgo		
El riesgo procedente con la sequía es menor con las semillas mejoradas	(b ₁)	(4, 7, 42, 72)
El riesgo procedente de la fluctuación de los rendimientos es menor con las semillas mejoradas	(b ₂)	(42, 48, 66, 72)
El riesgo de pérdidas por heladas es menor con semillas mejoradas	(b ₃)	(4, 72)
Los riesgos procedentes de la proliferación de plagas y enfermedades son menores con semillas mejoradas	(b ₄)	(7, 35, 48, 67, 72)
El riesgo procedente de la comercialización es menor con las semillas mejoradas	(b ₅)	(9, 46)
Existe menor riesgo para la concesión de créditos a los agricultores con semillas mejoradas	(b ₆)	(6, 37, 48, 67)

Por tanto, con los segmentos y la importancia relativa de los objetivos estimados con el AHP se pudo caracterizar e identificar los diferentes perfiles existentes respecto de la adopción de las semillas mejoradas.

Los análisis se llevaron a cabo a través del programa SPSS Statistics 21.

Asumir una homogeneidad de los agricultores respecto de sus objetivos económicos, socioculturales y ambientales es poco realista debido a la naturaleza

heterogénea del decisor agrario (30). Por ello, en este estudio se ha considerado igualmente relevante analizar la heterogeneidad de los objetivos de los agricultores, teniendo en cuenta las variables socio-económicas recogidas (tabla 2, pág. 275).

El modelo Tobit ha sido el utilizado debido al carácter de la variable dependiente (importancia relativa censurada entre 0% y 100%) utilizando el programa STATA 12.

Tabla 2. Variables utilizadas en el modelo Tobit.**Table 2.** Variables used in the Tobit model.

Variables	Acrónimo	Codificación
Miembros en el hogar	V1	Número de miembros que habitan en el hogar (continua)
Sin escolaridad	V2	Sin estudios (0: No, 1: Sí)
Escolaridad baja	V3	Primaria no finalizada (0: No, 1: Sí)
Escolaridad media	V4	Secundaria finalizada (0: No, 1: Sí)
Miembros universitarios	V5	Algún miembro del hogar con estudios universitarios (0: No, 1: Sí)
Generaciones en la agricultura	V6	Número de generaciones dedicadas a la agricultura (continua)
Fuente de información	V7	Información procedente de los empleados (0: No, 1: Sí)
Falta de organización por el sistema producto maíz	V8	Organización por parte del Sistema Producto Maíz (0: No, 1: Sí)
Titular de la explotación	V9	Si el agricultor entrevistado es el titular de la parcela (0: No, 1: Sí)
Tenencia	V10	Si la parcela es pequeña propiedad (0: No, 1: Sí)
Superficie sembrada	V11	Número de hectáreas sembradas (continua)
Rendimiento total	V12	Toneladas por hectárea (continua)
Ventas totales	V13	Ingreso por la venta de maíz (pesos mexicanos/ha) (continua)
Potencial de aceptación de semillas mejoradas	V14	Resultado del ACP
Poca aversión al riesgo	V15	Resultado del ACP

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

Según De Cock (2005), en el proceso de adopción de tecnología, los individuos no optimizan sus decisiones en base a un solo criterio sino que, por el contrario, pretenden buscar un equilibrio o compromiso entre un conjunto de criterios u objetivos. Por tanto, cuando se pretende obtener las prioridades que un individuo asigna a un conjunto de

elementos a partir de las valoraciones asignadas a los mismos según sus juicios y preferencias, es necesario establecer un conjunto de procedimientos que permitan utilizar el poder de la mente para conectar las experiencias e intuiciones con los objetivos fijados (51).

El AHP es una técnica flexible y con un alto nivel teórico que permite la resolución de problemas con múltiples criterios,

objetivos y la inclusión del riesgo e incertidumbre; aunado a que se puede adaptar a cualquier tipo de entorno económico y territorial (34).

El método AHP ha sido utilizado con notable éxito en una amplia gama de aplicaciones en campos muy diversos, entre ellos, la protección a espacios naturales y valoración ambiental (11).

En la agricultura, se ha utilizado con éxito para evaluar formas de cultivo alternativas a la agricultura convencional (55, 73), en análisis de adopción (40), preferencias de alimentación (42), valoración de la multifuncionalidad agraria (39), selección de sistemas de riego y tecnología agrícola (26, 43), en la evaluación de diferentes sistemas agrícolas para la producción de olivares (53), para determinar la aptitud de tierras agrícolas (13), en aspectos relacionados con la PAC (Política Agrícola Común) (29), para analizar factores de riesgo de los agricultores (71), en la evaluaciones de crédito (73), en la evaluación de políticas públicas (27), en el desarrollo de nuevos productos (14) y en la evaluación y selección de sistemas de gestión áreas productivas (53), entre otras aplicaciones.

Conceptos básicos y fases operativas del AHP

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) es una técnica multiatributos para la toma de decisiones. El propósito de esta técnica es descomponer un problema complejo en jerarquías, donde cada nivel es desagregado en elementos específicos (61).

En la metodología AHP, en primer lugar, debe ser fijado el objetivo principal o meta que se pretende alcanzar. Sin embargo, para alcanzar el objetivo principal se puede requerir el cumplimiento de una serie de objetivos más específicos (secundarios) en los cuales, el objetivo principal puede descomponerse. Una vez

construido el árbol jerárquico con sus diferentes objetivos, las alternativas han de ser evaluadas con respecto a cada uno de los nodos de los que dependen directamente, y estos con respecto de los nodos del nivel inmediatamente superior en la jerarquía, y así sucesivamente hasta llegar al objetivo principal o meta.

Por ende, lo que en principio se debe realizar, es una estimación de las prioridades, ponderaciones o pesos locales (w) de los subnodos respecto de su nodo padre. Este procedimiento consiste en la realización de comparaciones por pares de los diferentes subnodos, estableciendo de esta manera los cocientes correspondientes a la importancia relativa de los subnodos considerados en cada comparación.

De esta forma se puede generar en cada caso una matriz llamada "matriz de Saaty" o matriz de valoración para cada individuo k , que presenta la siguiente estructura:

$$A_k = \begin{bmatrix} a_{11k} & a_{12k} & \dots & a_{1nk} \\ a_{21k} & a_{22k} & \dots & a_{2nk} \\ \dots & \dots & a_{1nk} & \dots \\ a_{n1k} & a_{n2k} & \dots & a_{nnk} \end{bmatrix}$$

donde:

a_{ijk} = valor de comparación (razón) entre el subnodo i y el subnodo j ; es decir, el número de veces que el subnodo i satisface mejor que el subnodo j el objetivo indicado por el nodo padre.

Posteriormente, se aplicó el método RGMM o de la media geométrica para estimar el vector de los pesos (\hat{w}_{ik}) (60). Lo anterior, consiste en que a partir de la matriz de Saaty (\hat{A}_k) se calculan los pesos de cada subnodo empleando la media geométrica de sus correspondientes

juicios (\hat{a}_{ijk}). Así, de forma algebraica cada prioridad se calcula de la siguiente forma:

$$\hat{w}_{ik} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^{i=n} \hat{a}_{ijk}} \quad \forall \quad i, j \in n$$

donde:

\hat{w}_{ik} = peso o prioridad del subnodo i para el decisor k , \hat{a}_{ijk} : Juicios o valores de comparación expresados para el subnodo i respecto al subnodo j

n = número total de subnodos a comparar

Después de haber realizado la comparación por pares entre los diferentes objetivos y ya que se cuenta con sus correspondientes pesos locales, estos se relacionan con el objetivo principal de la jerarquía. Para ello, los pesos locales calculados se transformen en pesos globales.

Para agregar las ponderaciones \hat{w}_{ik} y obtener las del grupo (\hat{w}_j) se ha utilizado la media geométrica, por ser este el método

más recomendado para las decisiones de grupo en el ámbito social (22).

Aczél y Saaty (1983) y Aczél y Alsina (1986) proponen una matriz de Saaty agregada ($\hat{A} = \hat{a}_{ij} = \sqrt[m]{\prod_{k=1}^{k=m} \hat{a}_{ijk}}$), a partir

de la cual se obtiene el vector de los pesos de los diferentes criterios representativos del conjunto del grupo (\hat{w}_j).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Actitudes, opiniones y preferencias de riesgo

Tal y como se ha comentado, el ACP se llevó a cabo para analizar las actitudes, opiniones y percepciones de riesgo de los agricultores hacia las semillas mejoradas, en ambos casos se tuvo un único factor (tabla 3).

Tabla 3. Resultados del ACP sobre las actitudes, opiniones y percepciones de los agricultores.

Table 3. Results from PCA on farmers' attitudes, opinions and perceptions.

Variables	Factor 1: Potencial de aceptación de semillas mejoradas de maíz
a ₁	,849
a ₂	,830
a ₄	,772
a ₃	,822
a ₆	,819
a ₅	,847

Cronbach' Alfa: 0,882/KMO: 0,839/Bartlett Test: 774,32 (0,000)/Varianza explicada: 68%/Método de Rotación: Varimax.

Cronbach' Alfa: 0,882/KMO: 0,839/Bartlett Test: 774,32 (0,000)/Explained variance: 68%/Rotation method: Varimax.

Percepción del riesgo	Factor 2: Poca aversión al riesgo
b ₁	,779
b ₂	,797
b ₃	,207
b ₄	,819
b ₅	,871
b ₆	,815

Cronbach' Alfa: 0,795/KMO: 0,767/Bartlett Test: 613,85 (0,000)/Varianza explicada: 56%/Método de Rotación Varimax.

Cronbach' Alpha: 0,795/KMO: 0,767/Bartlett Test: 613,85 (0,000)/Explained variance: 56%/Rotation method: Varimax.

Segmentación de los agricultores

A partir de los factores confirmatorios extraídos anteriormente se procedió a segmentar a los agricultores.

El resultado de la aplicación del Análisis de Conglomerado (AC) fue la obtención de clústeres.

El primer segmento denominado "agricultores de transición" es el de mayor tamaño con un 52,5% de la muestra. Este grupo no aprecia completamente el potencial de las semillas mejoradas a pesar de que una gran parte de ellos las utiliza (54,7%). Cuentan con un promedio de edad de 58 años, la superficie sembrada es de 4,7 hectáreas con un rendimiento de 3,7 tha^{-1} y dedican el 89,6% de la producción de maíz para la venta.

En general, se trata de agricultores que asumen riesgos en su gestión y que se encuentran en la etapa de análisis de los aspectos técnicos y económicos de la innovación (74). Por tanto, el aprendizaje de la nueva tecnología es importante porque reduce la incertidumbre y mejora la toma de decisiones. Antes de llevar a cabo un juicio, los agricultores tienen ideas preconcebidas sobre los beneficios económicos de la nueva tecnología.

A partir de la información generada, el agricultor revisa sus creencias subjetivas sobre la rentabilidad de la tecnología y decide si continúa o no con la nueva tecnología (28).

El segundo segmento identificado como "conservadores" representa el 18,2% de la muestra. En general, muestran una actitud negativa hacia las semillas mejoradas. Este grupo tiene una edad promedio de 60 años, la superficie sembrada es de 3,4 hectáreas y cuentan con el menor rendimiento 2,9 tha^{-1} . Dedican el 82,5% de su producción para la venta y su ingreso procede principalmente del maíz (92,8%).

Mencionan que existen factores que restringen el uso de las mismas y se caracterizan por la escasez de recursos económicos y muy limitada disponibilidad de maquinaria y asistencia técnica. Estos datos coinciden con lo expuesto por Feder *et al.* (1985) sobre los factores necesarios para una adopción de tecnología eficiente. Son agricultores adversos al riesgo y no aplican de inmediato la tecnología que se le transfiere, sino esperan a que algún otro productor lo haga primero (adoptantes tardíos) (57).

En general, desconfían de las prácticas agrícolas diferentes a las que han aplicado tradicionalmente en el pasado lo que se asemeja a lo encontrado por Rivera y Romero (2003). Estos agricultores prefieren cultivar la variedad criolla para mantenerse en el sistema productivo principalmente por su sabor, reciclado de semillas y maduración temprana. Lo anterior, coincide con lo expuesto por Magorokosho (2006) sobre las variedades locales recolectadas de Malawi, Zambia y Zimbabwe. Aunado, algunas investigaciones (17) señalan que los agricultores ubicados en áreas de producción aisladas y en laderas con suelos pobres, generalmente no tienen acceso a la semilla mejorada, ya sea porque no son sujetos de crédito o porque la industria de semillas no se interesa en esas áreas que generan poca ganancia.

Asimismo, la fuente de información que emplea este segmento de agricultores son los miembros de su familia, por lo que es necesario, diversificar sus fuentes de información y experimentar para apreciar los beneficios de las semillas mejoradas (47).

El desconocimiento explica la diferencia que se observa entre el rendimiento experimental y el obtenido por la mayoría de los agricultores (24).

Los agricultores convencionales siembran la milpa tradicional. La milpa es un agroecosistema caracterizado por el policultivo. Las semillas de maíz, frijol y calabaza que el campesino siembra cada año están rodeadas de hierbas (quelites, entre otros) que se dejan crecer y se cortan en varias ocasiones durante el proceso de crecimiento del maíz y el frijol. Esta forma de cultivar puede ser más productiva debido a que no solo se mide el rendimiento de un cultivo, sino la producción de las diferentes especies que son aprovechadas para una dieta balanceada y como sistema que mantiene la calidad del suelo. Asimismo, las razas nativas tienen beneficios más allá del rendimiento, tales como sus usos pluriculturales y costos más bajos en el uso de insumos (69).

Hellin y Keleman (2013) mencionan que los productores toman la decisión deliberada de no adoptar las variedades mejoradas.

Las variedades criollas pueden enfocarse a mercados especializados de maíz con un nicho de mercado bien definido, los cuales también pueden mejorar ingresos y dar oportunidades a los agricultores mexicanos. Estas cadenas de valor permiten a los agricultores generar mayores ingresos y conservar *in situ* las variedades de maíz criollo.

El tercer segmento denominado como "innovadores" está formado por 29% del total de la muestra. Los miembros de este grupo utilizan semillas mejoradas y tienen una percepción positiva hacia las mismas.

La edad de este grupo de agricultores es de 52 años, cuentan con una mayor superficie sembrada (5,2 ha) y el mejor rendimiento en el cultivo (4,2 tha^{-1}). Sin embargo, estudios realizados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias en Chiapas han demostrado rendimientos de 15 tha^{-1} con híbridos mejorados (18).

El 93,5% de la producción se utiliza para la venta y su porcentaje de ingreso procedente del cultivo es de 86,03%. Son agricultores cautelosos respecto del riesgo y la mayoría de ellos son usuarios de las mismas (34,9%).

De igual manera, cuentan con el mayor ingreso, lo que concuerda con Chirwa (2005) quien menciona que la adopción se asocia positivamente con mayores niveles de educación, mayor tamaño de las parcelas y mayores ingresos.

Los datos indican que los agricultores observan ventajas agronómicas y económicas, lo que muestra que efectivamente están motivados para utilizar semillas mejoradas. Las ventajas más importantes que los agricultores consideran están relacionados con mayores rendimientos y resistencia al acame. Sin embargo, para mejorar la productividad de maíz la adopción tecnológica debe partir de todo un conjunto de tecnologías y no solo de un componente tecnológico. Consecuentemente, si los agricultores adoptan solo el uso de variedades mejoradas en lugar de un paquete que incluye la aplicación de fertilizantes, mejores formas de siembra y prácticas de manejo; los resultados no tendrán un efecto en la mejora de la productividad del cultivo (44).

Objetivos de los agricultores

Una vez identificados los diferentes segmentos, se estimaron los principales objetivos que los agricultores toman como referencia para orientar su explotación mediante la metodología AHP. Estos resultados sugieren que para los agricultores de transición los objetivos económicos son los más importantes con un peso acumulado de 63,50%, seguidos de los objetivos ambientales (22,32%) y socioculturales (14,18%). Esta jerarquía

de objetivos también es aplicable a los grupos conservadores e innovadores. Se aprecia, que los agricultores de transición tienen mayor interés por los objetivos económicos, los conservadores por los socioculturales y los innovadores por los objetivos ambientales (tabla 4).

Los resultados de la ponderación de los objetivos secundarios muestran que los agricultores de transición tienen una mayor orientación por maximizar las ventas, generar empleos en la zona y mantener la fertilidad del suelo.

Los agricultores conservadores conceden mayor prioridad a maximizar los beneficios totales de la familia, impedir el despoblamiento del medio rural y mantener la fertilidad del suelo. A los innovadores les interesa maximizar los beneficios del cultivo de maíz, generar empleos en la zona y favorecer prácticas agrarias que respeten el medio ambiente (tabla 4).

A manera general, el objetivo menos importante para los segmentos es conservar los valores socioculturales existentes y el más importante es maximizar las ventas (figura 3).

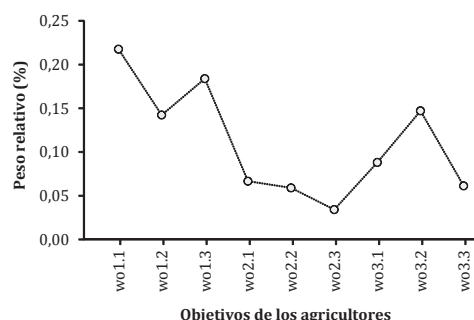


Figura 3. Priorización y ranking de los pesos relativos de los objetivos de los agricultores.

Figure 3. Prioritization and ranking of the relative weights of the farmers' objectives.

Tabla 4. Resultados de la Estructura jerárquica de los objetivos de los agricultores según el grupo.

Table 4. Results of the Hierarchical structure of farmers' objectives according to the group.

Objetivos de los agricultores	C1	C2	C3
Económicos (wo₁)	63,50%^a	51,16%^b	48,46%^b
wo _{1.1} : Maximizar las ventas	49,77% ^a	29,80%	38,02% ^{ab}
wo _{1.2} : Maximizar los beneficios totales de la familia	19,65% ^b	40,08% ^a	20,02% ^b
wo _{1.3} : Maximizar los beneficios del cultivo de maíz	30,58% ^b	30,11% ^b	41,96%
Socioculturales (wo₂)	14,18%^{ab}	21,09%^a	12,67%^b
wo _{2.1} : Generar empleos en la zona	52,96% ^a	29,51% ^b	49,40% ^a
wo _{2.2} : Impedir el despoblamiento del medio rural	27,64% ^b	45,55% ^a	32,93% ^b
wo _{2.3} : Conservar los valores socioculturales existentes	19,40% ^a	24,94% ^a	17,67% ^a
Ambientales (wo₃)	22,32%^b	27,75%^b	38,88%^a
wo _{3.1} : Favorecer prácticas agrarias que respeten el medioambiente	21,30% ^b	22,15% ^b	39,92% ^a
wo _{3.2} : Mantener la fertilidad del suelo	53,87% ^{ab}	57,13% ^a	41,80% ^b
wo _{3.3} : Mantener razas criollas de maíz	24,83% ^a	20,72% ^a	18,27% ^a

C1:De transición; C2:Conservadores; C3:Innovadores. / C1:In transition; C2:Conservative; C3:Innovative.

Heterogeneidad de los objetivos de los agricultores

En el apartado anterior se ha demostrado que existe una gran heterogeneidad entre las diferentes tipologías de agricultores en relación con los objetivos que marcan sus decisiones de producción.

En este apartado se pretende profundizar en los factores que determinan dicha heterogeneidad. Para ello, se ha especificado un modelo en el que la variable dependiente son los objetivos de los agricultores y las explicativas son las variables socioeconómicas, teniendo en cuenta la naturaleza de la variable dependiente.

Se ha estimado un modelo Tobit (68), el cual permite explicar datos que en algunas ocasiones muestran problemas de censura, es decir, cuando no todos los individuos de la muestra se comportan de la misma manera.

Los resultados muestran diferentes variables estadísticamente significativas, con valores estimados de probabilidad menores a 0,05 y al 90% de confianza. La Chi cuadrada de la razón de probabilidades indica que las variables estimadas en su conjunto son diferentes de cero (64).

Si se analiza la relación entre las variables socioeconómicas y los objetivos de los agricultores en los tres segmentos, se observa que la bondad de ajuste es satisfactoria según la función de verosimilitud y la significancia de las variables confirma que los grupos de agricultores difieren en sus objetivos (tabla 5, pág. 282).

A nivel general, tal y como se puede observar en la tabla 5 (pág. 282), el coeficiente de la variable miembros del hogar (V1) es significativa para los tres objetivos pero negativa para el objetivo sociocultural y ambiental. Lo que ratifica que entre mayor sea el número de familiares, mayor será la utilidad necesaria para satisfacer las necesidades del hogar (10).

Otra variable importante es contar con estudios básicos (V3) y/o que algún miembro de la familia tenga estudios universitarios (V5) pues afecta positivamente los objetivos económicos y socioculturales.

El número de generaciones dedicadas a la agricultura (V6) es una variable que afecta a los objetivos económicos. Lo anterior, debido a la continuidad del legado familiar y las tradiciones, aunado a que las inversiones adquiridas por el jefe de familia (maquinaria y tierras) son planeadas para ser utilizadas a largo plazo (8).

Cuando los empleados de la explotación son la fuente principal de información (V7) los objetivos socioculturales y ambientales son afectados positivamente mientras que el objetivo económico es negativamente afectado. Los empleados maiceros juegan un papel central en mantener la biodiversidad para constituir un patrimonio natural, cultural y social para la comunidad (32).

De esta manera, la falta de organización del sistema producto maíz (V8) y el potencial de aceptación de semillas mejoradas de maíz (V14) afecta los objetivos socioculturales y ambientales. Lo anterior, concuerda con Lutz y Herrera (2007) al mencionar que adecuados niveles de organización y capacitación permitirán a los agricultores aprovechar y establecer economías de escala, establecer mecanismo para cuidar el medio ambiente, desarrollar su infraestructura y crear sus propios instrumentos de apoyo económico.

Del mismo modo, los objetivos económicos y socioculturales son afectados positivamente por el número de hectáreas (V11) y rendimiento (V12). Sin embargo, las ventas totales (V13) afectan negativamente los objetivos económicos, lo anterior debido a que la utilidad recibida por la siembra de maíz no repercute en la recuperación de los costos de producción (5).

Tabla 5. Modelo Tobit censurado a la izquierda para la estimación de los objetivos de los agricultores de maíz.
Table 5. Tobit model left-censored for the estimation of the corn farmers' objectives.

Variable	Eco.		Amb.		Soc.		Eco.		Soc.		Amb.	
	TOTAL	Trans.	Cons.	Inno.	TOTAL	Trans.	Cons.	Inno.	TOTAL	Trans.	Cons.	Inno.
Variables sociodemográficas												
V1	0,017***	-0,006 **	-0,010 **	-0,017 **	-0,036	0,039 **	0,006 **	-0,016 *	-0,014 **	0,011**	0,054***	-0,023 **
V2	-0,018	0,023 **	-0,005 *	0,003 *	-0,020	-0,070	-0,020 *	0,028 *	0,214 *	0,016 *	-0,005	-0,129
V3	0,074 **	0,016 **	-0,087	0,088 *	0,029	0,157 **	-0,058	0,119***	0,052 **	-0,044	-0,135	-0,195
V4	0,040 *	-0,003 *	-0,035	0,002	0,331***	0,218 **	0,043 *	-0,007	-0,036	-0,045	-0,321	-0,178
V5	0,071***	0,025 **	-0,089	0,051 **	0,264 **	0,093 **	0,030 **	-0,069	0,025 *	-0,070	-0,182	-0,110
V6	0,048 **	-0,008 *	-0,037 *	0,072 *	0,024 *	0,049 **	0,014 *	0,002 *	-0,012 **	-0,085	-0,028 *	-0,032 *
V7	-0,009 **	0,006***	0,007***	0,004 **	-0,001 **	-0,012 **	0,002***	-0,004 **	-0,001 **	-0,003**	0,008 **	0,011***
V8	-0,024 *	0,077 **	-0,051 *	-0,197 *	0,098	0,005	0,057 **	0,034 *	0,119 **	-0,038 *	-0,146	-0,119
Variables sobre la explotación												
V9	-0,345	0,099	0,229 **	-0,182	0,374	-0,464	0,046	0,097	0,052	0,124	-0,474	0,363***
V10	0,039 *	0,014 **	-0,052	-0,020	0,295 **	0,063	0,013 *	-0,084	0,021 *	0,006 *	-0,225	-0,077
V11	0,048***	0,018***	-0,064	0,083 **	-0,038	0,105 **	0,005 **	0,028 **	0,018 **	-0,081	-0,004 *	-0,120
V12	0,014 **	0,005 **	-0,021 *	0,001 *	-0,065	0,174 *	0,007 **	0,014 **	-0,044	-0,012 *	0,045 **	-0,132
V13	-0,001***	0,002	0,001	-0,001***	0,007	-0,002***	-0,001***	-0,001***	-0,007***	0,001	0,004	0,002
Actitudes y riesgo												
V14	0,036 *	-0,042 *	0,001 **	0,177 *	-0,151	-0,088	-0,087	0,079 **	-0,053	-0,094	0,074 **	0,127 **
V15	-0,078	0,019 **	0,059 **	-0,186	-0,094	-0,202	0,094 **	-0,002 *	0,039 **	0,102**	0,076 **	0,152 **
_cons	0,785	-0,133	0,345***	0,752	-0,302	0,062	-0,090	0,34	-0,008	0,345	1,002	0,969
L/R Chi2	44,28	54,42	53,54	42,29	27,42	45,34	41,63	23,42	38,71	29,14	49,79	46,63
Prob > chi2	0,0101	0,0004	0,0008	0,0120	0,0522	0,0004	0,0100	0,1031	0,0031	0,2150	0,000	0,0002

El nombre de las variables se recoge en la tabla 2 (pág. 273). Nivel de significación: ***p < 0,01; **p < 0,05; *p < 0,10.

The name of the variables is given in table 2 (page 273). Level of significance: ***p < 0,01; **p < 0,05; *p < 0,10.

Los objetivos socioculturales y ambientales están relacionados positivamente con poca aversión al riesgo (V15). Es decir, es normal que los agricultores suelen enfrentar cualquier innovación con incertidumbre y preconcepciones sobre las afectaciones de las mismas (3).

CONCLUSIONES

Existe un desconocimiento en la mayoría de los agricultores hacia las semillas mejoradas que se debe principalmente a la falta de información y difusión de las ventajas de las mismas. Una desventaja importante radica principalmente en la dependencia de la compra de semilla, puesto que a pesar de que el agricultor puede inspeccionar las semillas antes de adquirirlas, los agricultores dependen en gran medida de la calidad de la información ofrecida por el proveedor en cuanto a sus características y adaptabilidad.

Los agricultores de maíz del estado de Chiapas se pueden agrupar en tres segmentos de agricultores con respecto a sus actitudes y percepción hacia las semillas mejoradas. Por ello, el enfoque comercial y de mercadeo de los grupos de agricultores debe ser diferente, aunque el orden de la importancia relativa de los diferentes tipos de objetivos en los agricultores es similar. Los agricultores de transición tienen mayor interés por los objetivos económicos, los conservadores por los socioculturales y los innovadores por los objetivos ambientales.

Los agricultores innovadores son un grupo potencial, el cual puede ayudar a la difusión de las semillas mejoradas compartiendo su experiencia con agricultores vecinos o utilizando sus parcelas como demostración de los beneficios de las mismas. Es importante, seguir apoyándolos y actualizando en innovaciones tecnológicas.

El uso de un paquete tecnológico en conjunto y no solo de una innovación tecnológica (semillas mejoradas) es indispensable para una mejora del cultivo.

Para los agricultores de transición los objetivos económicos son los de mayor importancia. Estos agricultores se encuentran en la etapa de evaluación de la innovación. Por tanto, si se busca su conversión a semillas mejoradas, es necesario desarrollar un servicio de extensión eficiente y oportuno en el que se resalte la mejora en el rendimiento y calidad del grano, y por ende de la utilidad.

Los agricultores conservadores no están siendo atendidos por el servicio de extensión ni por las empresas semilleras, y estos, podrían potencialmente beneficiarse del uso de semillas mejoradas. No obstante, los agricultores que decidan seguir cultivando las variedades criollas pueden enfocarse a un nicho de mercado bien definido. De la misma forma, será necesario mejorar la productividad de las razas nativas de maíz a través de prácticas sostenibles con el fin de conservar el sistema milpa.

La siembra compuesta puede ser más productiva porque no solo mide el rendimiento de un cultivo, sino la producción total de las especies cultivadas.

Si se analiza la relación entre las características de los agricultores, estructura de la explotación, gestión agraria, factores exógenos, actitudes y opiniones, se observa que tienen un papel importante en la determinación de los objetivos económicos, socioculturales y ambientales de los agricultores de maíz en la zona estudiada.

Se demuestra que definir y tomar en cuenta tipología, preferencias y objetivos de los agricultores, es una estrategia para incrementar la adopción de innovaciones tecnológicas y en base a ello crear políticas agrícolas acordes a sus necesidades.

Las políticas agrícolas y rurales eficientes y diferenciadas juegan un rol importante en la distribución de la riqueza, lo cual puede aumentar el nivel de desarrollo económico y de equidad social.

Asimismo, no se puede olvidar que México es centro de origen del maíz e importante centro mundial de su biodiversidad. El reto es aumentar la producción de maíz de forma sostenible sin degradar la base de recursos naturales.

Los bancos de germoplasma representan un instrumento esencial para salvaguardar la diversidad y para la sustentabilidad de la investigación y producción agrícola.

El impacto del aumento de la superficie sembrada con variedades mejoradas sigue siendo un debate. En base a ello, es necesario analizar el porcentaje de tierra que debe ser dedicado a las variedades criollas para no perderlas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aczél, J.; Alsina, C. 1986. Onsynthesis of judgements. *Socio-Economic Planning Science*. 20(6): 333-339.
2. Aczél, J.; Saaty, T. 1983. Procedures for synthesizing ratio judgments. *Journal of Mathematical Psychology*. 27(1): 93-102.
3. Allub, L. 2001. Aversión al riesgo y adopción de innovaciones tecnológicas en pequeños productores rurales de zonas áridas: un enfoque causal. *Estudios Sociológicos*. 9(2): 467-493.
4. Asrat, S.; Yesuf, M.; Carlsson, F.; Wale, E. 2010. Farmers' preferences for crop variety traits: Lessons for on-farm conservation and technology adoption. *Ecological Economics*. 69(12): 2394-2401.
5. Ayala, A.; Schwentesius, R.; O-Olán, M.; Preciado, P.; Almaguer, G.; Rivas, P. 2013. Análisis de rentabilidad de la producción de maíz en la región de Tulancingo, Hidalgo, México. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*. 10(4): 381-395.
6. Bellon, M.; Taylor, J. 1993. "Folk" soil taxonomy and the partial adoption of new seed varieties. *Economic Development and Cultural Change*. 41: 763-786.
7. Bellon, M.; Risopoulos, J. 2001. Small-scale farmers expand the benefits of improved maize germplasm: a case study from Chiapas, Mexico. *World Development*. 29(5): 799-811.
8. Berrone, P.; Cruz, C.; Gomez, L.; Larraza, M. 2010. Socioemotional wealth and corporate responses to institutional pressures: do family-controlled firms pollute less? *Administrative Science Quarterly*. 55: 82-113.
9. Birol, E.; Smale, M.; Yorobe, J. 2012. Bi-modal preferences for Bt maize in the Philippines: A latent class model. *AgBioForum*. 15(12): 175-190.
10. Blanco, M.; Bardomás, S. 2015. Agrario y no agrario: ingresos de hogares rurales argentinos. *Revista Mexicana de Sociología*. 77(1): 95-127.
11. Cabrera, E.; Rodríguez, M.; Arriaza, M. 2014. La influencia del manejo del suelo en la función ambiental del olivar según la opinión de expertos. *Revista Española de Estudios Agro sociales y Pesqueros*. 238: 81-104.
12. Cavallo, E.; Ferrari, E.; Bollani, L.; Coccia, M. 2014. Attitudes and behaviour of adopters of technological innovations in agricultural tractors: A case study in Italian agricultural system. *Agricultural Systems*. 130: 44-54.
13. Ceballos, A.; López, J. 2003. Delineation of suitable areas for crops using a Multi-Criteria Evaluation approach and land use/cover mapping: a case study in Central Mexico. *Agricultural Systems*. 77: 117-136.
14. Chin, K.; Xu, D.; Yang, J.; Ping-Kit, J. 2008. Group-based ER-AHP system for product project screening. *Expert Systems with Applications*. 35: 1909-1929.
15. Chirwa, E. 2005. Adoption of fertiliser and hybrid seeds by smallholder maize farmers in Southern Malawi. *Development Southern Africa*. 22(1): 1-12.

16. CIMMYT, 1993. La adopción de tecnologías agrícolas: guía para el diseño de encuestas. Programa de Economía. México, DF. 88 p.
17. Córdova, H.; Castellanos, S.; Bolaños, J. 2002. Veinticinco años de mejoramiento en los sistemas de maíz en Centroamérica: logros y estrategias hacia el año 2000. *Agronomía Mesoamericana*. 13: 73-84.
18. Coutiño, B.; Betanzos, E.; Ramírez, A.; Espinoza, N. 2004. V-229 y V-231A, nuevas variedades mejoradas de maíz de la raza Comiteco. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 2783: 295-296.
19. De Cock, L. 2005. Determinants of organic farming conversion. Paper presented at the XI International Congress of The European Association of Agricultural Economists, Copenhagen, Denmark. 13 p.
20. Feder, G.; Just, R.; Zilberman, D. 1985. Adoption of agricultural innovations in developing countries: a survey. *Economic Development and Cultural Change*. 33(2): 255-298.
21. Flores-Pérez, L.; López, P. A.; Gil-Muñoz, A.; Santacruz-Varela, A.; Chávez-Servia, J. L. Variación intra-racial de maíces nativos del altiplano de Puebla, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 47(1): 1-17.
22. Forman, E.; Peniwati, K. 1998. Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*. 108(1): 165-169.
23. Fundación Produce Chiapas A. C. 2011. Agenda estatal de innovación. programa de desarrollo de capacidades, innovación tecnológica y extensionismo rural componente: innovación y transferencia de tecnología. Chiapas, México. 124 p.
24. Galindo, G. 2007. El servicio de asistencia técnica a los productores de chile seco en Zacatecas. *Convergencia*. 14(43): 137-165.
25. García, A.; Guzmán, S. 2015. Factores que afectan la demanda de semilla mejorada de maíz en México. *Revista fitotecnia mexicana*. 38(3): 319-327.
26. García, J.; Noriega, S.; Díaz, J.; Riva, J. 2005. Aplicación del proceso de jerarquía analítica en la selección de tecnología agrícola. *Agronomía Costarricense*. 30(1): 107-114.
27. Gerber, J.; Carsjens, J.; Pak-uthai, T.; Robinson, T. 2008. Decision support for spatially targeted livestock policies: Diverse examples from Uganda and Thailand. *Agricultural Systems*. 96: 37-51.
28. Ghadim, A.; Pannell, D.; Burton, M. 2005. Risk, uncertainty, and learning in adoption of a crop innovation. *Agricultural Economics*. 33(1): 1-9.
29. Gómez-Limón, J.; Atance, I. 2004. Identification of public objectives related to agricultural sector support. *Journal of Policy Modeling*. 26(8): 1045-1071.
30. Guillem, E.; Murray, D.; Robinson, T.; Barnes, A.; Rounsevell, M. 2015. Modelling farmer decision-making to anticipate tradeoffs between provisioning ecosystem services and biodiversity. *Agricultural Systems*. 137: 12-23.
31. Hair, J.; Anderson, E.; Tatham, R.; Black, W. 1998. *Multivariate Data Analysis*. Prentice-Hall International, Inc. New Jersey, USA. 730 p.
32. Hellin, J.; Bellon, M. 2007. Manejo de semillas y diversidad del maíz-AgriCultures Network. *LEISA Revista de Agroecología*. 23(2): 9-11.
33. Hellin, J.; Keleman, A. 2013. Las variedades criollas del maíz, los mercados especializados y las estrategias de vida de los productores. *LEISA Revista de Agroecología*. 29(2): 9-14.
34. Hernández, A.; Cardells, F. 1999. Aplicación del método de las jerarquías analíticas a la valoración del uso recreativo de los espacios naturales de Canarias. *Revista de la Consejería de Política Territorial y Medio Ambiente, Gobierno de Canarias*. 13 p.
35. Herrera, E.; Macías, A.; Díaz, R.; Valadez, M.; Delgado, A. 2002. Uso de semilla criolla y caracteres de mazorca para la selección de semilla de maíz en México. *Rev. Fitotecnia Mexicana*. 25(1): 17-23.
36. Howley, P.; Buckley, C.; O Donoghue, C.; Ryan, M. 2015. Explaining the economic "irrationality" of farmers' land use behaviour: The role of productivist attitudes and non-pecuniary benefits. *Ecological Economics*. 109: 186-193.
37. Immink, M.; Alarcon, J. 1993. Household income, food availability, and commercial crop production by smallholder farmers in the western highlands of Guatemala. *Economic Development and Cultural Change*. 41: 319-342.

38. INEGI, 2015. Encuesta Nacional Agropecuaria ENA 2014. Resultados. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/agropecuarias/ena/ena2014/doc/pre_sentacion/ena2014_pres.pdf, Acceso julio 2016.
39. Kallas, Z.; Gómez-Limón, J. 2007. Agricultural multifunctionality valuation: a case study using the choice. *Estudios de economía aplicada*. 25: 107-144.
40. Kallas, Z.; Serra, T.; Gil, J. 2010. Farmers' objectives as determinants of organic farming adoption: the case of Catalanian vineyard production. *Agricultural Economics*. 41(5): 409-423.
41. Kallas, Z.; Gil, J. 2012. Combining contingent valuation with the analytical hierarchy process to decompose the value of rabbit meat. *Food Quality and Preference*. 24(2): 251-259.
42. Kamara, A.; Kureh, I.; Menkir, A.; Kartung, P.; Tarfa, B.; Amaza, P. 2006. Participatory on-farm evaluation of the performance of drought-tolerant maize varieties in the Guinea savannas of Nigeria. *International journal of food, agriculture and environment*. 4: 192-196.
43. Karami, E. 2006. Appropriateness of farmers' adoption of irrigation methods: The application of the AHP model. *Agricultural Systems*. 87: 101-119.
44. Karanja, D.; Renkow, M.; Crawford, E. 2003. Welfare effects of maize technologies in marginal and high potential regions of Kenya. *Agricultural Economics*. 29: 331-341.
45. Knowler, D.; Bradshaw, B. 2007. Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. *Food Policy*. 32: 25-48.
46. Langyintuo, S.; Mwangi, W.; Diallo, A.; MacRobert, J.; Dixon, J.; Bänziger, M. 2010. Challenges of the maize seed industry in eastern and southern Africa: A compelling case for private-public intervention to promote growth. *Food Policy*. 35(4): 323-331.
47. Lee, D. 2005. Agricultural sustainability and technology adoption: issues and policies for developing countries. *American Journal of Agricultural Economics*. 87(5): 1325-1334.
48. Li, J.; Lammerts, E.; Jiggins, J.; Leeuwis, C. 2012. Farmers' adoption of maize (*Zea mays* L.) hybrids and the persistence of landraces in Southwest China: implications for policy and breeding. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 59: 1147-1160.
49. Lutz, B.; Herrera, F. 2007. Organización de productores de maíz en el Estado de México: papel de las instituciones e importancia de las coyunturas políticas. *Ciencia Ergo Sum*. 14(1): 15-26.
50. Magorokosho, C. 2006. Genetic diversity and performance of maize varieties from Zimbabwe, Zambia and Malawi. Texas A&M University.
51. Moreno, J. 2002. El Proceso Analítico Jerárquico (AHP). *Fundamentos, metodologías y aplicaciones*. Recta monográfico. 1: 21-53.
52. Nandi, R.; Gowdru, N.; Bokelmann, W.; Dias, G. 2015. Smallholder organic farmer's attitudes, objectives and barriers towards production of organic fruits and vegetables in India: A multivariate analysis. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 27(5): 396-406.
53. Parra, C.; Calatrava, J.; De-Haro, T. 2008. A systemic comparative assessment of the multifunctional performance of alternative olive systems in Spain within an AHP-extended framework. *Ecological Economics*. 64: 820-834.
54. Peng, J.; Liu, Z.; Liu, Y.; Hu, X.; Wang, A. 2015. Multifunctionality assessment of urban agriculture in Beijing City, China. *Science of The Total Environment*. 14(537): 343-351.
55. Requena, C.; López, J. 2005. Factors related to the adoption of organic farming in Spanish olive orchards. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 3(1): 5-16.
56. Rivera, A.; Romero, H. 2003. Evaluación del nivel de transferencia y adopción de tecnología en el cultivo de caña de azúcar en Córdoba, Veracruz, México. *Avances en la Investigación Agropecuaria*. 21(2): 20-40.
57. Rogers, E. 1986. *Diffusion of Innovations*. Fourth ed. New York: The Free Press. U.S.A. 251 p.
58. Rojas, R. 2005. *Guía para realizar investigaciones sociales*. 40a ed. Plaza y Valdez S.A. México, D.F. 237 p.
59. Romero, C.; Rehman, T. 2003. *Multiple criteria analysis for agricultural decisions* (Vol. 11). Elsevier.
60. Saaty, T.; Vargas, L. 1984. Comparison of eigenvalue, logarithmic least squares and least squares methods in estimating ratios. *Mathematical Modelling*. 5(1): 309-324.
61. Saaty, T. 1980. *The analytic hierarchy process*. New York: McGraw-hill.
62. SAGARPA, 2015. *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*. Disponible en: <http://www.gob.mx/sagarpa>. Acceso Febrero 2016.

63. Salazar, J.; Rivera, H.; Arévalo, S.; Guevara, A.; Mald, G.; Raascón, Q. 2015. Calidad del nixtamal y su relación con el ambiente de cultivo del maíz. *Fitotec. Mex.* 38(1): 67-73.
64. Scott, J. 1997. *Regression models for categorical and limited dependent variables*. California. United States: Sage Publications. 282 p.
65. SIAP, 2016. *Avances de Siembras y Cosechas por Estado y Año Agrícola*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponible en: <http://www.gob.mx/siap>. Acceso Marzo 2016.
66. Sibiya, J.; Tongoona, P.; Derera, J.; Makanda, I. 2013. Farmers' desired traits and selection criteria for maize varieties and their implications for maize breeding: A case study from Kwazulu-Natal Province, South Africa. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*. 114(1): 39-49.
67. Smale, M.; Richard, J.; Howard, L. 1994. Land Allocation in HYV Adoption models: an investigation of alternative explanations. *Agricultural, American Journal of Economics*, 76(3): 535-546.
68. Tobin, J. 1958. Estimation of relationships for limited dependent variables. *Econometrika*. 26: 24-36.
69. Turrent, A.; Wise, A.; Garvey, E. 2012. Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México. *Mexican Rural Development Research Reports*. 24: 1-36.
70. Valdivia, R.; Espinosa, A.; Tadeo, M.; Caro, F.; Aguilar, J.; Vidal, V.; López, G. 2015. "Cora 2012": híbrido intervarietal de maíz para Nayarit y regiones similares. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 6(2): 417-420.
71. Valdivia, R.; Caro, F.; Ortiz, M.; Betancourt, A.; Ortega, A.; Vidal, V.; Espinosa, A. 2007. Desarrollo participativo de híbridos sintéticos de maíz y producción de semilla por agricultores. *Agricultura técnica en México*. 33(2): 135-143.
72. Veisi, H.; Liaghati, H.; Alipour, A. 2016. Developing an ethics-based approach to indicators of sustainable agriculture using analytic hierarchy process (AHP). *Ecological Indicators*. 60: 644-654.
73. Xu, M.; Zhang, C. 2009. Bankruptcy prediction: the case of Japanese listed companies. *Review of Accounting Studies*. 14(4): 534-558.
74. Young, Y.; Rigby, D.; Burton, M. 2001. The development of and prospects for organic farming in the UK. *Food Policy*. 26: 599-613.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por el apoyo para la realización de esta investigación.

Nota: Una versión anterior y reducida del artículo fue presentada en el X Congreso Nacional de Economía Agraria.

EU-MERCOSUR trade agreement: finding winners products for Paraguay

Acuerdo comercial EU-MERCOSUR: identificando los productos ganadores del Paraguay

Víctor Enciso Cano ¹, Manuela Castillo Quero ², Tomás De Haro Giménez ²

Originales: *Recepción: 07/09/2016 - Aceptación: 12/12/2016*

ABSTRACT

The European Union (EU) and the Southern Common Market (MERCOSUR) have been negotiating a Regional Association Agreement (RAA) since the mid-nineties. This paper aims to identify products at the level of sub-headings of the Harmonized System which would benefit from the signing of the agreement. The methodology used trade indicators combined with trade statistics from 2010 to 2012. A total of 61 subheadings were identified with potential to increase its exports to the EU with the agreement. At first glance they reproduced the traditional pattern of exports from the MERCOSUR countries, a high concentration in agrifood products due to high exported value of one product. When this product was not considered an important number of manufactures were identified as having potential to increase their exports to the EU. This finding showed a potential to decrease the dependence on primary or raw material exports. The paper focused on tariffs; therefore further research on non-tariff measures for market access is a must.

Keywords

EU • MERCOSUR • Paraguay • trade indicators • agrifood

1 Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Asunción. Ruta Mcal. Estigarribia Km 10,5. San Lorenzo-Paraguay. venciso@agr.una.py

2 Universidad de Córdoba-Departamento: Economía, Sociología y Política Agrarias. Campus universitario de Rabanales, Edificio Gregor Mendel, 3º Planta, 140014 Córdoba.

RESUMEN

La Unión Europea (UE) y el Mercado Común del Sur (MERCOSUR) se hallan negociando la firma de un Acuerdo de Asociación Regional (AAR) desde mediados de los noventa. Esta investigación buscó identificar productos a nivel de sub-partidas del Sistema Armonizado que serían beneficiados con la firma del acuerdo. Se utilizaron indicadores de comercio exterior y de barreras comerciales, combinados con estadísticas de comercio del período 2010-2012. Se identificaron 61 sub-partidas con potencial para incrementar sus exportaciones a EU con la firma del AAR. A pesar de que los productos reprodujeron el tradicional patrón de las exportaciones de los países del MERCOSUR, alta concentración en productos agroalimentarios debido a un producto con elevado valor de exportación que sesgaba los resultados. Cuando se ignoró este producto un importante número de manufacturas fue identificado, lo que muestra la existencia de potencial para disminuir la dependencia en la exportación de productos primarios o materias primas. El trabajo utilizó aranceles, por lo cual se precisa más investigación pero focalizando en requisitos no arancelarios para acceso al mercado.

Palabras clave

Unión Europea • MERCOSUR • Paraguay • indicadores de comercio exterior • agroalimentos

INTRODUCTION

The European Union (EU) and the South Common Market (MERCOSUR) have been negotiating a Regional Association Agreement (RAA) since mid-nineties. In September of 2004, following the exchange of market access proposals, the negotiation was suspended. Years later, in 2010, negotiations were restarted. So far an agreement has not been achieved. Recently, in 2016 new market access proposals were exchanged.

The aim of this paper is to identify products at a 6 digit level (sub-headings) of the Harmonized System currently being exported by Paraguay that would benefit by the implementation of the agreement. Following this background there are sections on commercial integration, impact evaluation methods, and a brief summary of the very few impact studies of the agreement that include results

for Paraguay. Then methodology, main findings and discussion follow, to end with conclusions and some suggestion for further studies.

Economic integration

The economic analysis on impacts of commercial agreements started with the theory of custom unions, the seminal work of (21). Up to then the analysis was done using the same methodology applied to support free trade, being Ricardo's comparative advantages and factor endowment of Heckscher-Ohlin, the most common. Viner identified two effects of economic integration on the production and the commercial flows, one positive called trade creation and a negative one known as trade diversion. They are classified as static or short runs effects. Trade creation refers to a situation

in which two countries begin to trade with each other due to the elimination or reduction of border restrictions. The new situation with reduced prices stimulates consumption of goods and therefore increases production in the more efficient country. Trade creation encourages the proper allocation of economic resources, boosts general welfare by means of specialization and enhances trade between the partners. Trade diversion occurs when one country within a custom union begins to import a good from the new partner, when previously it used to import the same good from a third country. This country is not included in the union, therefore its product faces border restriction and hence is more expensive relative to the new partner in the custom union. Once the custom union is implemented trade diversifies from the former source outside the union to a new source within the union. Later, Meade and Lipsey (13, 16) substituted the Viner's assumption that goods were consumed in fixed proportions by relative prices. They stated that relative prices changed due to the increase in imports and consumption, and price reduction following integration favored consumption. This was called trade expansion. It was a third effect of commercial agreement.

The final effect of the integration could be positive or negative depending on the magnitude of the positive effects, creation and expansion of trade, and of the negative effects, trade diversion (17, 18).

Methodologies for assessing trade agreements

There are many ways to classify methodologies used to evaluate the impact of free trade agreements. CEI (2003a) groups them in three stages based on the aggregation levels of products. First

level, the most aggregated of all, includes quantitative models such as computable general equilibrium models (CGE).

The second level includes the use of trade and commercial barriers indicators. Sectorial studies are considered the most disaggregated level (20). Piermartini, R. (2005), classifies the methodology by means of two criteria.

The first takes into account the time of the evaluation and can be ex-ante or ex-post. Ex-ante simulates the change in trade policy and its future impacts on a set of economic variables. It answers a "what if" type of question. An ex-post evaluation, on the other hand, is applied after the commercial agreement implementation. Therefore uses historical data. Most econometric models are of this type.

The second criterion considers whether the approach would be sectorial or would cover the entire economy.

The former uses partial equilibrium analysis and the latter general equilibrium analysis. UNCTAD (2012) proposes the following classification: i) Descriptive statistics and trade and commercial barriers indicators; (ii) simulation models including partial and general equilibrium; and (iii) econometrics models such as gravitational models.

Impact assessments of trade agreements are commonly conducted using computable general equilibrium (CGE). General equilibrium models consider the interrelationships between the various sectors that make up the economy. They are most appropriate to analyze the effects of trade liberalization since they assume that markets are not isolated but interconnected (15, 18). Their results are estimates of aggregate effects, which can provide an overall idea of the effect of integration. A description of the major studies of the effects of an FTA between the EU and

MERCOSUR can be found in Boyer (2010) and Burrell (2011). Modeling studies using partial equilibrium are scarce. This may be because they focus on a specific product or sector ignoring the interaction with other markets that are assumed constant (*ceteris paribus*). Not considering interconnection between markets ignores the fact that increase in production in one sector means that resources must be removed or transferred from other sectors. Partial equilibrium models are more suitable for analysis of sectorial policies or sectors that are a small fraction of total economy (18).

Two are the most representative studies with these models related to EU-MERCOSUR agreement. Weissleder *et al.* (2008) evaluated the agreement, using the CAPRI model.

The other belongs to Burrell (2011), who also used CAPRI to simulate the impacts of changes in trade policy, specifically in the agricultural sector. Overall, both of them agree that EU imports from MERCOSUR would increase once the agreement is implemented.

There are also studies using gravity models. For example Castillo (2001) estimated the sensitivity of a group of products imported by the EU from MERCOSUR assuming reduction in border protection by the former. Thus the authors identified products that would get greater benefit from trade liberalization. Balaguer (2000) identified the factors that most influenced bilateral trade. Bittecourt *et al.* (2006), focused on factors attracting foreign direct investment while researched on the determinants of manufactures commercial flows between the MERCOSUR and the EU (11).

Studies of the EU-MERCOSUR agreement by means of trade indicators are not a common feature in the literature. Their mathematical simplicity could

be one of the reasons. However, they are quite useful in the identification of products at a high level of disaggregation. Trade indicators (specialization, complementarity, revealed advantages, etc.) are very useful descriptive tools for analysis of trade agreement impacts at the level of individual products (1, 9). When general equilibrium models as well as trade indicators use data of similar period, the results are comparable but at a different disaggregation levels (9) found that impact results on Argentina's exports running a CGE model were very similar to ones obtained with trade indicators, but with a different disaggregation. Trade indicators identified products at 6-digit levels, while CGE did so in large sectors.

The conclusion stated that "in almost all sectors where the CGE model showed a notable change in the sales, indicators and commercial barriers identified subheadings with opportunities in the EU or threatened of displacement from the Brazilian market by EU's exports". Knowing the consequences of the agreement at product level (6 digits) is as important as to know its impact on the global economy. Furthermore, information at those two levels is complementary.

Trade negotiations are basically a process of tariff concessions exchange. Market access proposals are made at the highest level of disaggregation using the Harmonized Commodity Description and Coding System, also known as the Harmonized System (HS). Therefore the trade information provided by the CGE models needs to be complemented with more detailed data, such as products at a 6-digit level (10). For example, Kirkpatrick (2008), using a model of CGE identified that in a free trade situation between the EU and MERCOSUR, the sector with the greatest growth in exports would be

"processed food". This is an aggregated level formed by processed beef, vegetal oils and fats, dairy products, processed rice, sugar, beverage and tobacco. Only beef and vegetal oils and fats include some 100 sub-headings. This aggregate characteristic of the CGE data limits the identification of sensitive and especial products among the exporting goods. Trade negotiators, as well as policy makers, require information at the most disaggregated level, which cannot be provided by the CGE models for their data base are of aggregated products (14).

The required level of details can be achieved using trade indicators. Trade indicators provide results for products as they are currently traded discover their tariff structure and identify special concessions offered to the counterpart in the negotiation.

Assessments of EU-MERCOSUR Agreement and Paraguay

The impacts of the RAA have been extensively studied with emphasis on the aggregate impacts for the larger economies of the MERCOSUR, Argentina and Brazil. To date and according to the information gathered by the authors, the main impact studies with results on Paraguay are (1, 6, 7, 12). ALADI (2002), combined two indicators of trade (intensity and trade complementarity) and two classification systems, the Harmonized System and the Standard International Trade Classification.

The paper aimed at the identification of Latin American exports that could be displaced by European exports, and of Latin American exports with trade expansion opportunities in the EU. A total of 57 products at 6 digit level were identified with opportunities in the EU market, the most important being wheat, bovine meat, woods, tobacco, peanuts, and soybean meal, sunflower and soybean

oil, and tanned/crust hides and skins of bovine. Paraguay had its advantages concentrated in primary agriculture products rather than manufactures.

Kirpatrick (2012) conducted a study of the economic, social and environmental impact that could result from the implementation of the agreement both in the European Union and MERCOSUR's countries. The study concluded that Paraguay would have the greatest GDP growth (2.5%) among the fourth countries in the MERCOSUR.

According to the authors, the food sector would experience the largest development, (73%), followed by animal products (36%) and grains (13%). Manufactures would reduce their growth the most, but since their weight in the total output was quite small, the negative impact was marginal. Paraguayan exports would have the greatest increase (42%), because a large percentage of its exports faced high tariffs (92% on average) when entering the EU market. Therefore tariff reduction would lead to an important increase of Paraguay's exports to the EU, as well as the output of the connected sectors.

The greatest rise would be in processed food. At the same time there would be an important reduction in the export of raw agricultural products as they become intermediate inputs for the processed goods.

Boyer (2010) modeled the impact of the Agreement on a full liberalization scenario and, another where sensitive products were excluded. MERCOSUR's sensitive products were minerals, textiles, leather products, machinery and electronic equipment, and for the EU rice, meat and meat products, dairy products, beverages and tobacco.

The results showed that Paraguay had the highest percentage growth of production in both scenarios. Lightweight manufactures (meat, vegetable oil, milk,

sugar, beverages and tobacco, textiles and clothing, leather, wood and paper) were the fastest growing sector, more specifically meat and sugar. Although Paraguay's exports to MERCOSUR would drop by 11%, they would increase by more than 100% to the EU, mainly due to meat and sugar growth. Burrell (2011) simulated the impact of the agreement on EU imports from MERCOSUR in five scenarios. They used a general equilibrium model (GLOBE)¹ to estimate the effects on the whole economy, and partial equilibrium model (CAPRI)² to estimate the effects on the agricultural sector.

The CGE model showed increases in EU's imports from MERCOSUR although in different magnitudes.

The partial equilibrium model showed that European imports would increase in all categories except oilseeds. The study identified beef as the main imported product by the EU from Paraguay.

METHODOLOGY

This research was based on methodologies used (1, 9). The former used trade indicators to identify within the EU-MERCOSUR trade agreement products exported by Argentina with opportunities as well as the threatened ones. The latter was already described.

The methodology applied in this research used indicators such as Anderson and Norheim's (2) trade complementarity index (TCI) combined with trade statistics, namely total exports and total imports values. Trade, tariff and other data were from 2010 to 2010 period. Trade data

were from World Bank's WITs (World Integrated Trade Solutions), while data on tariffs and other trade barriers were from the World Trade Organization Data Base.

The Harmonized Commodity Description and Coding System generally referred to as "Harmonized System" or just "HS" was used.

The methodology had three stages. The first one was called filtering. It deleted out of the exported list those products with an average export value equal or below of 1,000 USD, as well as those not subject to any border restriction such as ad valorem tariff or some kind of specific tariff, quota, or combination.

The reasoning behind was that if the product had been exported to the EU despite facing trade barriers, the probability to increase its exports was greater with the advantages of the agreement. If the product had not been exported to the EU, reducing border barriers could boost exports to that market. In addition, if the products had already entered the EU free of tariff, there were few concessions to negotiate.

In the second step, named selection, filtered data was divided in two groups upon each product TCI value.

The TCI, based on the "revealed comparative advantage" index of trade specialization proposed by Balassa (1965), measures the level of complementarity between the export (supply) and the import (demand) of two countries or regions.

The greater the similarity, higher is the probabilities of trade between them.

1 <http://www.cgemod.org.uk/index.html>

2 <http://www.capri-model.org/dokuwiki/doku.php?id=capri:concept>

TCI values greater (less) than 1 imply a strong (weak) complementarity between the export specialization of a country and the import specialization of its partner (2, 9).

The TCI can be decomposed as the product of the Revealed Comparative Advantage Index (RCA) showing export specialization of the exporting country and the Revealed Comparative Disadvantage Index (RCD), showing import specialization of the importing country. As Vaillant (2003) explain "For each product industry (or sub-heading in this paper), the trade complementarity index of the exports of A (B) in the market of B (A) equals the product of the export specialization index of A (B) (comparative advantage index) and the import specialization index of B (A) (comparative disadvantage index).

The export (import) specialization index equals the ratio between the share of the industry, (or sub-heading in this paper), in a country's total exports (imports) and the share of the industry in world trade.

When the export (import) specialization index is greater than one, we say that the country is more export (import) oriented in that particular industry than the world average, and therefore we conclude that the country has a comparative advantage (disadvantage) in that industry".

When the index is close to one, the country has a specialization for that product similar to the world average (2).

In this paper for a product to be part of the selected data it needed to have and TCI greater than one, but with both RCA and RCD also greater than one. Those products

with TCI equal or below one were not considered in the study.

The selection procedure continued with the computing of two indicators. "Indicator 1", measured of the EU market share on Paraguay's export, see (a). Goods with exported value above the average had higher probability to increase their exports to the EU (table 1, page 296). "Indicator 2" measured the capacity of Paraguay's export to respond to a EU's demand for a specific product, see (b). Values below the average were an indication that the product had a high probability of rapidly increase its sales to the EU market.

$$Indicator\ 1 = \frac{TEV_{Py}^{EU}}{TEV_{Py}} \quad (a)$$

where:

TEV_{Py}^{EU} = Total export value from Paraguay to the EU

EU = European Union

Py = Paraguay

TEV_{Py} = Total export value from Paraguay

$$Indicator\ 2 = \frac{TEV_{Py}^{EU}}{TIV_{Py}} \quad (b)$$

where:

TEV_{Py} = Total export value of Paraguay

TIV_{EU} = Total imported value by the European Union

The selection ended with the classification the selected products into eight categories. It was done by a process of "if... then" using TCI, indicator 1 and indicator 2 average values as showed in table 1 (page 296).

Category I grouped products most likely to increase their exports to the EU according to the methodology.

Table 1. Categorization matrix.**Tabla 1.** Matriz de caracterización.

TCI*	Indicator 1	Indicator 2	Categoría
>1	> average	<= average	I*
>1	> average	> average	II
>1	<= average	<= average	III
>1	<= average	> average	IV
<=1	> average	<= average	V
<=1	> average	> average	VI
<=1	<= average	<= average	VII
<=1	<= average	> average	VIII**

Source: Adapted from CEI (2003).

Fuente: Adaptado de CEI (2003).

They met the following conditions: TCI greater than one, EU's market share of EU on the product above average, and Paraguay weight in EU's imports below the average. Categories I to IV included goods with TCI greater than one, meaning that Paraguay's exports for those products matched EU's demand. The following step was performed only for these products.

Finally each product within categories one to four was assigned to one of two possible groups. This process was named prioritization.

The goods already exported, at least once during the study period, to the EU market were called high priority products. It was assumed that they would more likely increase their sales to the EU due to their "export experience".

The rest of the goods were classified as "normal priority".

RESULTS Y DISCUSSION

During the period of study, Paraguay exported in average 1,762 products per year at a 6-digit level for a total of 7,180 million USD. Out of these, 511 items valued 1,255 million were exported to the EU. Although in general the EU was a

small market for Paraguay's exports, in some products it accounted for more than 90% of the total exported value (TEV). Paraguay's exports were concentrated in a few items, basically primarily agriculture products or their first manufactures. In the period of study, four chapters, accounted for 78% of TEV, and within each of them few products added up for a large portion of the exported value. These chapters and their weight in the TEV were as follows: chapter 27-mineral fuels, mineral oils (mostly electric power) represented 30%, chapter 12-oil seed and oleaginous fruits (mostly soybean) 27%, chapter 2-meat and edible meat offal 11% (mostly beef) and chapter 10-cereals (mostly wheat and corn) weighted 10%. Adding electric power among the exports products somehow caused a distortion in the traditional export structure of Paraguay. When it was not considered as an export product, the structure was more in line with the traditional profile. Then, the main chapters and their weights were 38% for oil seed and oleaginous fruits, 16% for meat and edible meat offal and 14% for cereals.

A total of 818 out of 1,762 exported products met the two filtering requirements. These filtered products totalized 30% of the TEV during the study period.

The reduction in the number of products and their value led to some changes. First the market share of the EU in Paraguayan exports was further reduced to 5.8% of the TEV, although the number of sub-headings increased slightly reaching 33%. A second result of the filtering was a change in the export structure with the increase of manufactures' share. Several products included in the main chapters cited above were not subject of any border restrictions.

Table 2. Filtered sub-headings by categories.**Tabla 2.** Sub-partidas filtradas por categorías.

Categories	Number of sub-headings		Total exported value by Paraguay*	Total exported value by Paraguay to EU*	Total imported value by EU*
	Exported by Paraguay	Exported by Paraguay to EU			
Category I	9	9	13,691	7,157	3,898,572
Category II	4	4	73,048	38,607	2,271,525
Category III	39	11	105,671	1,281	60,299,404
Category IV	9	5	437,308	16,831	13,354,153
Category V	97	97	22,035	7,469	270,697,155
Category VI	1	1	68,643	16,831	2,246,975
Category VII	643	138	158,829	1,885	1,330,981,717
Category VIII	16	6	1,244,666	35,621	18,218,590
Total	818	271	2,123,891	125,682	1,701,968,092

Source: Prepared by the authors with data from WITS (World Integrated Trade Solution). / * Thousands of dollars.

Fuente: Elaborado por el autor con datos de WITS. / * Miles de dólares.

As a result, they were excluded from the study, resulting in a significant reduction in the weight of those chapters in the TEV.

Specifically, chapter 27 was totally excluded from the list of products. Most goods in chapters 12 and 10 were not included either. As a result their relative weights decreased drastically.

The main chapters and their weights in the list of filtered products were chapter 2 (44 %), chapter 39 (10 %) (plastics and articles thereof), chapter 41 (9%) (raw hides and skins (other than fur skins) and leather) and chapter 62 (4%) (articles of apparel and clothing accessories not knitted or crocheted).

Despite the indicated changes, high concentration of exports in a small number of products continued. Previously, four chapters accounted for 78% of TEV; following filtering the main four chapters added up to 67% of the TEV.

Even though it represented an eleven percentage point reduction it could still be considered high. Another important change was the level of value added in the most important chapters.

They moved from primary agriculture product to manufactures, namely chapters 39, 41 as mentioned above plus chapter 62 (articles of apparel and clothing accessories not knitted or crocheted). An exception was chapter 2, which added 11 percentage points to its export share.

Out of the 818 products, 106 had a TCI greater than one.

However, only 61 of them met the condition of having both the revealed comparative advantage and the revealed comparative disadvantage above one.

They were named selected products and were distributed in the first four categories. They accounted for 30% of the export value of the filtered products, and 51% of export value to the EU.

The remaining 45 sub-headings were distributed in categories V to VIII. Their complementarity with European demand was less than one. Therefore, they were not taking into further consideration.

The exact location of each one of the products within the categories was subject to the values of the other two indicators.

During the period of study Paraguay exported to the EU 511 (out of the 1,762) product at 6 digit level, representing 29% of the total sub-heading exported to the world.

The UE average market share on Paraguay's export showed by indicator 1 was 17%, being the second market behind the MERCOSUR.

The regional market participated with 44% of TEV. A total of 261 products had an indicator above the average, amounted to just over half of the exported value to the EU.

Paraguay's export to the EU was concentrated on a small number of products.

The first ten goods amounted 95% of the exported value. All of them were primary agriculture products mainly soybean and its manufactures, as well as bovine meat and its manufactures.

Between 2010 and 2012, the EU imported 5.050 products for a value of 5.666.000 millions of dollars.

Paraguay had a 0.0012 share on that amount, for 1,762 products. A total of 182 products exported by Paraguay were above the average representing 97% of Paraguay's exported value to the EU.

In other words, a very small amount of Paraguay export value was below the average, though it represented 75% of the number of products.

Combining the TCI, indicator 1 and indicator 2 allowed the 818 filtered to be assigned to one of the eight possible categories using the categorization matrix.

The following analysis focused on the 61 selected products, At first glance their structure showed the high importance of agrifood products (Chapters 1 to 24 of the Harmonized System) in the export of Paraguay.

Although only 20% (11 products) were classified as agrifoods, they had a quote of 58% in the export value.

The high participation of beef, 51% of the TEV of the 61 products, was the main reason behind. When beef was excluded from the list, on the one hand agrifoods reduced their relative importance significantly, to 16%, and on the other hand, industrial manufactures boosted their participation and became the group with the largest export share.

The main manufactures were chapter 39 with 20%, chapter 41 with 20%, and textiles and textile articles (chapters 50 to 63) with 18%.

A more detailed look to the first four categories showed the following:

(i) In category I, the main products were non-coniferous plywood, saddlery & harness for any animal, frozen orange juice and sugar cane molasses. They accounted for 87 % of category exported value (CEV).

Agrifoods had one third of that value. All products had been exported to the EU at least once during the period of the study, and their weight on the category exported value was 52%.

(ii) In category II, four products tanned/crust hides and skins of bovine, tobacco, not stemmed/stripped, grape-fruit juice and silk yarn made the category. Hide and skins accounted for 84% of the category exported value, while agrifoods as an aggregated for a 14%.

As in category one, all products had already been exported to the EU at least once and weighted 53% in the CEV.

(iii) Category III had the largest number of sub-heading among the first four categories.

The most important goods, always considering export value, were textiles, with 30% of CEV, plastics with 16%, magnetic media for data storage with 11%, and copper wires with 10%.

The agrifoods had a low share relative to the previous categories, with a 6% of CEV. Just over 1% of the CEV was exported to the EU.

(iv) Category IV had the greatest export value in the first four categories. Besides, it was the only category in which the agrifoods has a significant weight, as they reached 79% of the CEV. Beef exported value accounted for 73% of the CEV and for half of the exported value when the four categories were put together.

Other important products were carboys, bottles, flasks and similar (10%), husked (brown) rice (4%), uppers and parts of footwear thereof, other than stiffeners (4%) and other articles of wadding of man-made fibers (3%).

Prioritization of products

A total of 29 sub-headings out of the 61 selected ones had been exported to the EU at least once between 2010 and 2012.

The 29 goods, called high priority products, had a total exported value of 540.2 million USD or 86% of the four categories exported value put together. High concentration of exports in a few products deepened. Six products accounted for 88% of the 29 products total exported value.

In other words, the already low EU's market share not only continued, but it was reduced to just 12% (63.9 million USD) from the 17% prior to the application of the methodology.

Two products reached 77% of exports value to the EU, tanned or crust hides and skins of bovine (51%) and boneless meat of bovine animals, fresh or chilled (26%). Agrifoods accounted for 39% of the exported value. However, when beef was not considered agrifoods participations were reduced to only 14%.

The potential of the EU market for

Paraguay's export is shown by the fact that if the total exported value of the 29 products were re-directed to the EU, the European market share would increase to 86% of selected products exported value (the 61 ones products). Table 3 (page 300), shows the 29 products with their code number exported values.

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

The research showed that in the study period, 2010-2012, the EU, in general, was not a major market for Paraguay's export. The low market share of the EU on Paraguay's exports meant a large scope for export increase once the Regional Association Agreement (RAA) between the EU and MERCOSUR is in operation. A second finding showed that for some products the EU was not just an important market, but in many cases the only one.

Despite this fact, EU's low participation remained in general. This research applied a methodology that identified 61 products exported by Paraguay during 2010-2012, with the potential to increase or start exports to the European Union once the RAA is signed. At first glance the products reproduced the traditional pattern of exports from MERCOSUR countries in general and those of Paraguay in particular, that is, high concentration in agrifood products. However, this importance was due to the high value of a specific product. This was beef or bovine meat.

Once bovine meat was taken out from the list a different export structure came up, a hidden structure.

Most of the products of this hidden structure were non agriculture manufactures gathered under plastics and articles thereof, raw hides and skins, textiles and textile articles and glass and glassware.

Table 3. High priority products.
Tabla 3. Productos de prioridad superior.

Categories/ code	Product description	Total exported value by Paraguay*	Total exported value by Paraguay to EU*	Total imported value by EU*
Category I		13,691	7,157	3,898,572
420600	Articles of gut (other than silk-worm gut), of goldbeater's skin, of bladders or of tendons.	33	33	38,282
410692	Tanned or crust hides and skins, not elsewhere specified.	33	33	21,064
460219	Basketwork, wickerwork and other articles.	797	791	368,333
540412	Synthetic monofilament, of polypropylene.	128	126	31,295
200911	Orange juice, frozen, unfermented.	2,224	2,113	753,935
420100	Saddlery and harness for any animal of any material.	2,388	1,910	539,559
170310	Cane molasses.	1,148	734	273,886
121299	Stevia rebaudiana ("Ka'a He'e").	795	294	226,107
441232	Plywood, veneered panels and similar laminated wood with at least one outer ply of non-coniferous wood	6,143	1,123	1,646,110
Category II		73,048	38,607	2,271,525
200929	Grapefruit juice (excl. of 2009.21).	2,596	2,411	120,151
500400	Silk yarn (other than yarn spun from silk waste) not put up for retail sale.	1,119	927	144,236
410411	Tanned or crust hides and skins of bovine.	61,432	32,560	1,158,198
240110	Tobacco, not stemmed or stripped.	7,901	2,708	848,940
Category III		53,393	1,281	26,162,973
210120	Extracts, essences and concentrates, of tea or maté, and preparations with a basis of these extracts.	2,174	131	312,136
390760	Poly(ethylene terephthalate).	9,982	723	4,096,101
392350	Stoppers, lids, caps and other closures.	5,747	1	3,334,883
420211	Trunks, suit-cases, vanity-cases, with outer surface of leather, of composition leather.	899	1	362,719
420239	Other articles of a kind normally carried in the pocket or in the handbag.	125	0	108,291
420500	Other articles of leather or of composition leather.	3,854	348	809,853
440729	Other wood sawn or chipped lengthwise, sliced or peeled, whether or not planed, sanded or end-jointed, > 6 mm.	3,512	74	540,565
620322	Men's or boys' ensembles (excluded knitted).	73	1	64,132
620342	Trousers, bib and brace overalls, breeches and shorts of cotton.	17,139	0	11,325,921
630221	Bed linen, table linen, toilet linen and kitchen linen of cotton.	3,472	2	1,364,007
701090	Other carboys, bottles, flasks, jars, pots.	6,416	0	3,844,365
Category IV		400,060	16,831	10,862,013
20130	Meat of bovine animals, fresh or chilled.	318,034	16,376	5,885,105
100620	Husked (brown) rice.	19,580	448	820,528
560122	Wadding; other articles of wadding of man-made fibres.	13,853	6	340,570
392330	Carboys, bottles, flasks and similar articles.	45,820	2	3,559,166
690410	Ceramic building bricks.	2,773	0	256,644
Total		540,191	63,875	43,195,083

Source: Prepared by the authors with data from WITS (World Integrated Trade Solution). / * Thousands of dollars.

Fuente: Elaborado por el autor con datos de WITS. / * Miles de dólares.

This finding deserves further study, or to be more precise the study of non-traditional exports.

The research also identified 29 products out of the 61 that were already exported to the EU between 2010 and 2012. They had a similar structure and dependence on few products as in the selected list of products.

The hidden importance of manufactures kept among the 29 goods. This is an indication that the country has the potential to lessen its dependence on the exports of primary goods or raw material. However further studies are needed, taking into account that the findings of this paper were based only on tariff measures.

Finally, the presence of complementarity between Paraguay and the EU is an encouraging sign for the economy of the former, but it does not imply that trade will developed or increase between the parts. Collecting the benefits or transforming the identified opportunities into real actions

will be hampered by two factors. One it is the landlocked status of Paraguay that raises considerably transportation cost. Secondly, Paraguay is the country with the lowest level of economic development relative to the rest of the MERCOSUR. The combination of both situations will delay the capacity of Paraguay to take any or at least a great deal of the advantages that will come up with the agreement. Therefore, Paraguay must negotiate with their partners from the MERCOSUR and the EU to obtain a Special and Differential Treatment status, as provided in The Uruguay Round agreements.

This treatment should give to Paraguay greater facilities for market access to the EU in relations to the other MERCOSUR countries. There are precedents for such preferential treatment for Paraguay as in MERCOSUR-Egypt, and MERCOSUR-India commercial agreements.

REFERENCES

1. ALADI. 2002. Probable impacto que tendrían los acuerdos con la Unión Europea en el comercio intrarregional y en el comercio de los países miembros con los países de Europa. ALADI. Asociación Latinoamericana de Integración. ALADI/Secretaría General/Estudio 149. Consultado el 30-agosto-2002.
2. Anderson, K.; Norheim, H. 1993. From imperial to regional trade preferences: its effect on Europe's intra and extra-regional trade. *Weltwirtschaftliches Archiv* 129 (1). Available in <http://www.springerlink.com/content/y11n8078l02h4354/about/> Consultado el 9-Setiembre-2015.
3. Balaguer, J.; Martínez-Zarzoso, I. 2000. Análisis de los flujos comerciales Unión Europea-MERCOSUR. *Revista Boletín Económico de ICE*. N° 788, Noviembre 2000. Madrid, 119-132.
4. Balassa, B. 1965. Trade liberalization and revealed comparative advantages. *Manchester School of Economics and Social Studies*. 33(2): 99-123.
5. Bittencourt, G.; Domingo, R.; Reig, N. 2006. FDI flows into MERCOSUR countries: winners and losers in the FTAA and the EU-MERCOSUR agreement. Available in <http://www.fcs.edu.uy/archivos/0206%20english.pdf>. Consultado el 9-Setiembre-2015.
6. Boyer, I; Schuschny, A. 2010. Quantitative assessment of a free trade agreement between MERCOSUR and the European Union. Comisión Económica para América Latina (CEPAL). Serie Estudios estadísticos y prospectivos N° 69. Santiago de Chile, Chile. Available in: http://www.eclac.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/publicaciones/xml/1/41551/P41551.xml&xsl=/publicaciones/ficha-i.xml&base=/publicaciones/top_publicaciones-i.xml# Consultado el 9-Setiembre-2015.

7. Burrel, A.; Burrel, A.; Ferrari, E.; Gonzáles, M. A.; Himics, M.; Michalek, M.; Shrestha, S.; Van Doorlaer, B. 2011. Potential EU-MERCOSUR Free Trade Agreement: Impact Assessment. Volume 1: Main Results. Joint Research Centre-EU. Luxembourg-Publications Office of the European Union. Available in <http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=4819> Consultado el 9-Setiembre-2015.
8. Castillo, M. 2001. The Access of mercosur exports to the single market (December 2001). IPEA Working Paper No. 851. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=297227> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.297227> Consultado el 9-Julio-2016.
9. CEI (2003 a). Oportunidades y amenazas para la Argentina de un acuerdo MERCOSUR-Unión Europea: Un estudio de impacto sectorial. Revista del Centro de Economía Internacional. Secretaria de Comercio y Relaciones Económicas Internacionales. Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto. Serie Estudios del CEI. Nro. 3. Febrero 2003. Buenos Aires. 106 p.
10. Francois, J.; Hall, K. H. 2003. Global simulation analysis of industry-level trade policy. The World Bank Technical Paper, Versión 3.0. Abril 2003 mimeo, Washington D.C. Available in <http://wits.worldbank.org/data/public/GSIMMethodology.pdf> 22 pp. Consultado el 5-Diciembre-2015.
11. Jacobo, A. 2008. Una estimación de una ecuación gravitacional para los flujos bilaterales de manufacturas MERCOSUR-Unión Europea. *Econ. Apl., Ribeirão Preto*, V. 14, n. 1. Available in http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-80502010000100005&script=sci_arttext Consultado el 5-Diciembre-2015.
12. Kirkpatrick, C. 2008. Sustainability impact assessment of the association agreements under negotiation between de European Union and The Mercosur. Available in http://www.sia-trade.org/mercotur/phase2/OVERVIEW_INCEPTION_revised_June_08.pdf. Consultado el 9-Setiembre-2015.
13. Maesso, M. 2011. La integración económica. *Revista Boletín Económico de ICE*. N° 858, Enero-Febrero 2011. Madrid, 119-132.
14. Milner, C.; Morrisey, O.; McKay, A. 2004. Some simple analytics of the trade y welfare effects of economic partnership agreements. *Journal of African Economies*.14(3): 327-358.
15. Piermartini, R.; Teh, R. 2005. Demystifying modelling methods for trade policy. WTO Discussion Paper N° 10. Organización Mundial de Comercio. Ginebra, Suiza. 59 p.
16. Solares, A. 2010. Integración. Teoría y procesos. Bolivia y la integración, Edición electrónica gratuita. Texto completo en www.eumed.net/libros/2010e/814/. Consultado el 9-Setiembre-2015.
17. Trejos, A. 2009. Instrumentos para evaluación del impacto de acuerdos comerciales internacionales: aplicación para países pequeños en América Latina. Serie Estudios y Perspectivas 110. Conferencia Económica de las Naciones Unidas para América Latina-Sede México. Available in <http://www.eclac.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/publicaciones/xml/9/37329/P37329.xml&xsl=/mexico/tpl/p9f.xsl&base=/mexico/tpl/top-bottom.xsl>. Consultado el 9-Setiembre-2015
18. UNCTAD. 2012. A practical guide to trade policy analysis. United Nations Conference on Trade and Development. Organización Mundial de Comercio. 232 p.
19. Vaillant, M.; Ons, A. 2003. Winners and losers in a free trade area between the United States and Mercosur. Working paper 14/03, Departamento de Economía, Universidad de la República, Montevideo. Available at <http://decon.edu.uy/publica/2003/Doc1403.pdf>. Consultado el 28-Noviembre-2016
20. Valdes, R.; Diaz Osorio, J. 2015. The Brazilian beef meat sector into a domestic and international context: a Supply Chain Management (SCM) approach. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 47(1): 233-239.
21. Viner, J. 1950. The Custom Union Issue, Carnegie Endowment for International Peace, Nueva York.
22. Weissleder, L.; Adenauer, M.; Heckeley, T. 2008. Impact assessment of trade liberalization between EU and MERCOSUR countries. Paper prepared for presentation at the 107th EAAE Seminar Modeling of Agricultural and Rural Development Policies. Sevilla, Spain, January 29th-February 1st, 2008. Available in <http://purl.umn.edu/6667>. Consultado el 09-Setiembre-2015.

Fitotoxicidad de los extractos de *Dieffenbachia amoena*, *Nerium oleander*, *Raphanus sativus* y *Brassica napobrassica*

Phytotoxicity of extracts of *Dieffenbachia amoena*, *Nerium oleander*, *Raphanus sativus* and *Brassica napobrassica*

María de los Ángeles Díaz-Mota ¹, María Rosario García-Mateos ^{1*}, Juan Martínez-Solís ¹,
Marcelo Acosta-Ramos ², Miguel Ángel Serrato-Cruz ¹, María Teresa Colinas-León ¹,
Jesús Magdaleno-Villar ¹

Originales: *Recepción*: 26/02/2016 - *Aceptación*: 09/08/2016

RESUMEN

El potencial que ofrecen las plantas como fuente de principios bioactivos ha sido poco estudiado. El objetivo de esta investigación fue determinar la actividad fitotóxica de los extractos metanólicos de *Dieffenbachia amoena*, *Nerium oleander*, *Raphanus sativus* y *Brassica napobrassica* en la germinación y vigor de las plántulas de *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli*, *Lactuca sativa*, *Solanum lycopersicum* y *Oryza sativa*. Las variables evaluadas fueron porcentaje de germinación y vigor de la plántula (longitud de radícula, LR y longitud de la parte aérea, LPA). Se realizó un análisis de varianza y comparaciones de medias de Tukey ($P \leq 0,05$). Los extractos de *B. napobrassica* y *R. sativus* presentaron el mayor efecto fitotóxico en comparación con los extractos de las especies restantes, al afectar la germinación de las semillas de *E. crus-galli* y *L. sativa* (96 y 99% a la concentración de 1%, y 90 y 100% a la concentración de 5%, respectivamente). Ambos extractos inhibieron el crecimiento de la LR y LPA de *C. album*, *E. crus-galli*, *L. sativa* y *O. sativa*, la excepción fue *S. lycopersicum*. Se identificó la presencia de glucosinolatos en los extractos de las especies de *Brassica napobrassica* y *Raphanus sativus*.

Palabras clave

extractos vegetales • germinación • inhibición • vigor

1 Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Km 38,5 Carretera México-Texcoco. C. P. 56230 Chapingo, Estado de México. *rosgar08@hotmail.com
2 Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo.

ABSTRACT

The potential of plants as a source of bioactive principles has been little studied. The objective of this research was to determine phytotoxic activity of methanol extracts of *Dieffenbachia amoena*, *Neriu moleander*, *Raphanus sativus* and *Brassica napobrassica* on germination and seedling vigor of *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli*, *Lactuca sativa*, *Solanum lycopersicum* and *Oryza sativa*. The variables evaluated were germination percentage and seedling vigor (radicle length, RL and aerial part length, APL). An analysis of variance and Tukey's comparison of means test ($P \leq 0.05$) was performed. The methanol extracts of *B. napobrassica* and *R. sativus* showed the highest phytotoxic effect in comparison with the extracts of the other species, by affecting the germination of the seeds of *E. crus-galli* and *L. sativa* (96 and 99% at the concentration of 1%, and 90 and 100% at the concentration of 5%, respectively). Both extracts inhibited the growth of RL and APL of *C. album*, *E. crus-galli*, *L. sativa* and *O. sativa*; the only exception was *S. lycopersicum*. Glucosinolates were detected in the extracts of the *Brassica napobrassica* and *Raphanus sativus* species.

Keywords

plant extracts • germination • inhibition • vigor

INTRODUCCIÓN

En la agricultura sustentable es importante la aplicación de productos naturales para el control de algunas plagas (8, 10, 23), y en particular metabolitos con actividad fitotóxica y/o alelopática, en favor de la producción de alimentos libres de residuos derivados del uso de plaguicidas sintéticos (11).

Los aleloquímicos son considerados una alternativa para el control de malezas en la agricultura al estimular o inhibir la germinación y el crecimiento de algunos vegetales (2). Estos productos naturales son biodegradables, no contaminan el ambiente en comparación con los herbicidas sintéticos (13), son derivados biosintéticamente del metabolismo primario (7).

Los aleloquímicos son metabolitos secundarios sintetizados principalmente por vegetales como parte del mecanismo de defensa y comunicación (25). Estos productos naturales son liberados

mediante una diversidad de señales al medio ambiente por algunos vegetales (planta donadora), generando efectos fitotóxicos en las plantas receptoras de la misma o diferente especie o en los microorganismos del suelo (6).

A pesar de la gran diversidad vegetal que existe en México, el potencial fitotóxico de algunas plantas ha sido poco explorado y aprovechado. Por lo que la investigación en plantas con propiedades fitotóxicas (*in vitro*) y alelopáticas (en suelo) ha sido poco significativa, debido al reducido número de especies vegetales que han sido estudiadas.

Aunque se han reportado efectos fitotóxicos de algunos metabolitos como alcaloides y glucosinolatos (15, 32), la actividad fitotóxica y alelopática generalmente no está determinada por un tipo de metabolito, sino por la acción sinérgica de varios de ellos (2).

Sin embargo, la estructura química de algunos productos naturales con actividad fitotóxica o alelopática podría ser utilizada como modelo en la síntesis de nuevos herbicidas (13).

Desde esta perspectiva se planteó como objetivo de la investigación, evaluar el efecto fitotóxico de los extractos metanólicos de *Dieffenbachia amoena*, *Nerium oleander*, *Raphanus sativus* y *Brassica napobrassica* en la germinación y vigor de las plántulas a través del largo de radícula (LR) y largo de parte aérea (LPA) en dos tipos de malezas: *Chenopodium album* (quelite cenizo) y *Echinochloa crus-galli* (pasto dentado) y en tres especies de semillas recomendadas para evaluar fitotoxicidad: *Lactuca sativa* (lechuga), *Solanum lycopersicum* (tomate) y *Oryza sativa* (arroz) (2).

Existe poca información de la actividad fitotóxica y alelopática de especies vegetales que contienen alcaloides, como las especies *N. oleander* y *D. amoena* y glucosinolatos en *B. napobrassica* y *R. sativus*.

La presencia de estos metabolitos explica la actividad fitotóxica en la germinación de *Echinochloa*

crus-galli, *Parthenium hysterophorus* y *Cynodon dactylon* descrita en *N. oleander* y su efecto alelopático en *Lactuca sativa* (1, 24, 30, 35); el efecto alelopático de *B. napobrassica* en *Kochia arenaria* y *Sorghum halepense* y de *R. sativus* en *L. sativa* y *S. halepense* (24, 33, 35). Sin embargo, se desconoce la actividad fitotóxica y alelopática de *D. amoena* únicamente insecticida (20, 24).

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección del material vegetal

Se recolectaron aleatoriamente muestras de cuatro especies para su identificación taxonómica y preparación de los extractos de *Dieffenbachia amoena* Bull., *Nerium oleander* L., *Raphanus sativus* L. y *Brassica napobrassica* (L.) Mill., libres de plagas, enfermedades y sin daños físicos. Para la certificación taxonómica se prepararon dos ejemplares de herbario por especie, y se depositaron en el Herbario-Hortorio "Jorge Espinoza Salas" de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) (tabla1).

Tabla1. Características geográficas de los sitios de recolección, tipo de tejido y número de registro de las cuatro especies de estudio.

Table1. Geographical characteristics of the collection sites, tissue type and registration number of the four species studied.

Especie	Familia	Lugar de recolección	Ubicación	Tejido	Número de registro*
<i>Dieffenbachia amoena</i>	Araceae	Hueyapan de Ocampo, Veracruz	18°09' LN y 95°09' LO	Tallo Hoja	313013
<i>Nerium oleander</i>	Apocynaceae	Texcoco, Estado de México	19°31' LN y 98°53' LO	Hoja	313015
<i>Raphanus sativus</i>	Brassicaceae	Mixquiahuala, Hidalgo	20°13' LN y 99°12' LO	Raíz	313017
<i>Brassica napobrassica</i>	Brassicaceae	Tlatlauquitepec, Puebla	19°51' LN y 97°29' LO	Toda la planta	313011

* Herbario-Hortorio "Jorge Espinoza Salas" de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo.

* Herbal-Hortorio "Jorge Espinoza Salas" Agricultural School of Chapingo.

Preparación del extracto crudo

El material vegetal de cada especie se secó en una estufa a temperatura constante ($50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) durante 48 h, después se molió en un molino Thomas-Wiley mill (Thomas Scientific, Swedesboro, NJ, EE.UU.).

El extracto metanólico crudo de cada especie se obtuvo mediante un equipo soxhlet durante 48 h. Posteriormente, el extracto se concentró a presión reducida en un rotaevaporador Büchi®. Por dilución seriada se prepararon diferentes concentraciones (1,0; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0% v/v) para las pruebas de fitotoxicidad.

Bioensayo de fitotoxicidad

Las pruebas biológicas se llevaron a cabo en semillas de *Oryza sativa* y *Solanum lycopersicum*, proporcionadas por el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo; mientras que las de las malezas *Chenopodium album* y *Echinochloa crus-galli* fueron donadas por el Laboratorio de Malezas del Departamento de Parasitología Agrícola de la UACH.

Las semillas de *Lactuca sativa* fueron adquiridas en una casa comercial. Para evaluar la viabilidad de las semillas se realizó una prueba preliminar de germinación con base en las recomendaciones de la International Seed Testing Association (22).

El bioensayo de fitotoxicidad se llevó a cabo según el método descrito por Pérez-Leal *et al.* (2005). Se añadieron 1,5 ml de cada concentración del extracto metanólico crudo a un círculo de papel filtro Wattman No. 1 ($\varnothing = 9$ cm) de una caja Petri (Unidad Experimental).

El disolvente se dejó evaporar a temperatura ambiente, se colocaron 50 semillas por especie, después se agregaron 2,5 ml de agua destilada a cada caja. Como testigo se usó agua destilada.

Las cajas se sellaron con Parafilm y se colocaron en una cámara germinadora Seedburo® bajo condiciones de luz continua con intensidad luminosa de $15,39 \text{ mmol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$, humedad relativa de 80% y temperatura de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$. El mismo procedimiento se repitió para realizar el bioensayo en las semillas de cada especie.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. Para las especies de *O. sativa*, *S. lycopersicum* y *C. album* la toma de datos se realizó a los 14 días después de la siembra (dds), mientras que para *E. crus-galli* se realizó a los 10 dds y a los siete dds para *L. sativa* como lo establece el ISTA en la prueba de germinación estándar (22).

Las variables que se evaluaron fueron: porcentaje de germinación (% G) mediante el cálculo del número total de semillas germinadas (NSG; semillas con emisión de radícula), y vigor de la plántula: longitud de raíz (LR) y longitud de parte aérea (LPA) de las semillas que lograron germinar (16). La LR se midió (cm) de la base del cuello a la punta de la raíz y la LPA se midió la longitud de coleóptilo para monocotiledóneas (*E. crus-galli* y *O. sativa*) y la longitud de hipocótilo para dicotiledóneas (*C. album*, *L. sativa* y *S. lycopersicum*).

Análisis fitoquímico

Por cromatografía en capa fina (CCF) de gel de sílice 60 F₂₅₄ (Merck) se identificó cualitativamente la presencia de alcaloides, flavonoides, terpenoides y glucosinolatos en los extractos metanólicos crudos de cada especie.

Para la identificación de alcaloides se usó como eluyente metanol:diclorometano (8:2% v/v) y el agente cromogénico fue el reactivo Dragendorff.

La presencia de manchas color marrón en la cromatoplaica indicaron la presencia de alcaloides.

Para la identificación de flavonoides se empleó como eluyente una mezcla de butanol:ácido acético:agua 40:10:50 (BAW), los agentes cromogénicos fueron 2-aminoetil difenilborinato (NP) y polietilenglicol 4000 (PEG); los componentes se visualizaron mediante UV a una longitud de onda de 365 nm para observar la fluorescencia de color anaranjado esperada para flavonoides (36).

Para la identificación de terpenoides se utilizó como eluyente una mezcla de tolueno : acetato de etilo (85:15% v/v), el agente cromogénico empleado fue vainillina al 1% en etanol y ácido sulfúrico al 10% en etanol, la presencia de manchas en la placa de color violeta indicó prueba positiva para terpenoides (36).

Para la identificación de glucosinolatos se utilizó como eluyente una mezcla de n-butanol : n-propanol : ácido acético:agua (3:1:1:1% v/v), la placa se asperjó con ácido tricloroacético al 25% (v/v) en cloroformo y se colocó en la estufa a 110°C por 10 min.

Posteriormente, la placa se asperjó con una mezcla de hexacianoferrato (III) de potasio al 1% (p/v) y cloruro de hierro (III) al 5%(p/v) en una proporción de 1:1, la presencia de manchas color azul en la cromatoplaica indicó prueba positiva (36).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias (Tukey, $P \leq 0,05$) con el programa Statistical Analysis System (SAS).

Debido a que las variables están reportadas en porcentaje, para proceder

al análisis de varianza se llevó a cabo la transformación de los datos, con el objetivo de manejarlos bajo una distribución normal.

La transformación de Yates se llevó a cabo con la siguiente propuesta:

$$XT = \sqrt{\text{Arcoseno}(x/100)}$$

donde:

XT = transformación de la variable,

X = variable respuesta expresada en porcentaje.

RESULTADOS

Efecto fitotóxico de los extractos por especie de semilla

A través del análisis estadístico se identificó el efecto fitotóxico de los extractos crudos para cada especie de semilla.

El extracto metanólico crudo de *N. oleander* presentó mayor efecto fitotóxico en la germinación de las semillas y en la inhibición de la LR de *C. album* en comparación con los extractos de las especies restantes; con respecto al crecimiento de la LPA no se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre extractos, solamente con respecto al testigo.

En contraste, en las semillas de *E. crus-galli* se encontró que el extracto metanólico crudo de *B. napobrassica* afectó drásticamente el % G en comparación con las otras especies (tabla 2, pág. 308).

El porcentaje de germinación de *L. sativa* fue afectado por todos los extractos en comparación al testigo, siendo mayormente afectado por el extracto metanólico crudo de *B. napobrassica*; de igual forma, todos los extractos afectaron significativamente el crecimiento de LR y LPA.

Tabla 2. Efecto de los extractos crudos en la germinación y el vigor por especie de semilla.
Table 2. Effect of crude extracts in germination and seed vigor by species.

Extracto	<i>L. sativa</i>				
	% G	LR (cm)	LR % Inhibición	LPA (cm)	LPA % Inhibición
<i>D. amoena</i>	29 c	0,4 b	75,0	1,6 b	27,3
<i>N. oleander</i>	51 b	0,5 b	68,8	0,95 c	56,8
<i>R. sativus</i>	14,6 d	0,08 c	95,0	0,11 d	95,0
<i>B. napobrassica</i>	0,4 e	0,03 c	99,8	0,14 d	93,6
Testigo	100 a	1,6 a	0,0	2,2 a	0,0
DMSH	6,8	0,2		0,3	
Extracto	<i>S. lycopersicum</i>				
	% G	LR (cm)	LR % Inhibición	LPA (cm)	LPA % Inhibición
<i>D. amoena</i>	30,6 c	0,9 c	62,5	1,5 c	51,6
<i>N. oleander</i>	63,2 b	1,9 b	20,8	2,2 b	29,0
<i>R. sativus</i>	58,5 b	0,7 d	70,8	2,3 b	25,8
<i>B. napobrassica</i>	25,4 c	0,7 d	97,1	0,9 d	71,0
Testigo	100 a	2,4 a	0,0	3,1 a	0,0
DMSH	11,32	0,2		0,2	
Extracto	<i>O. sativa</i>				
	% G	LR (cm)	LR % Inhibición	LPA (cm)	LPA % Inhibición
<i>D. amoena</i>	67,4 b	1,8 b	33,3	1,4 d	58,8
<i>N. oleander</i>	52,3 c	0,9 c	66,7	2,2 b	35,3
<i>R. sativus</i>	60,6 cb	0,7 d	74,1	1,8 cb	47,1
<i>B. napobrassica</i>	28,5 d	0,8 dc	97,0	1,6 cd	52,9
Testigo	100 a	2,7 a	0,0-	3,4 a	0,0-
DMSH	13,7	0,2		0,4	
Extracto	<i>C. album</i>				
	% G	LR (cm)	LR % Inhibición	LPA (cm)	LPA % Inhibición
<i>D. amoena</i>	6,6 cd	0,33 b	78,0	0,5 b	75,0
<i>N. oleander</i>	3,8 d	0,14 c	90,7	0,49 b	75,5
<i>R. sativus</i>	12,7 cb	0,25 cb	83,3	0,5 b	75,0
<i>B. napobrassica</i>	17,8 b	0,25 cb	83,3	0,42 b	79,0
Testigo	100 a	1,5 a	0,0	2,0 a	0,0
DMSH	7,0	0,2		0,3	
Extracto	<i>E. crus-galli</i>				
	% G	LR (cm)	LR % Inhibición	LPA (cm)	LPA % Inhibición
<i>D. amoena</i>	4,4 b	0,4 b	84,6	1,0 cb	68,8
<i>N. oleander</i>	3,8 b	0,5 b	80,8	1,2 b	62,5
<i>R. sativus</i>	4,4 b	0,5 b	80,8	0,8 cb	75,0
<i>B. napobrassica</i>	0,7 c	0,4 b	84,6	0,5 c	84,4
Testigo	100 a	2,6 a	0,0	3,2 a	0,0
DMSH	2,4	0,4		0,5	

% G: porcentaje de germinación, LR: longitud de raíz, LPA: longitud de la parte aérea. DMSH: diferencia mínima significativa honesta. tMedias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales con base en la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

% G: percentage of germination, RL: root length, LPA: length of the aerial part. DMSH: least significant difference honest. t Medias with the same letter in columns are statistically equal based on the Tukey test ($P \leq 0.05$).

Sin embargo los extractos metanólicos crudos de *R. sativus* y *B. napobrassica* fueron significativamente diferentes a los restantes y el testigo en la misma especie de semilla (tabla2, pág. 308).

El extracto metanólico crudo de *B. napobrassica* presentó nuevamente el mayor efecto fitotóxico al afectar la LPA de las semillas de *S. lycopersicum*; aunque algunos extractos metanólicos crudos afectaron de igual forma el % G; mientras que la LR que fue afectada por algunos de los extractos metanólicos, los de *R. sativus* y *B. napobrassica* con el efecto mayor que todo el resto, entre las semillas que lograron germinar.

Así mismo, el extracto metanólico crudo de *B. napobrassica* presentó el mayor efecto fitotóxico en el % G de *O. sativa*; mientras que el extracto metanólico crudo de *D. amoena* fue el que afectó en mayor porcentaje el crecimiento de la LPA con respecto a los extractos restantes.

Los extractos metanólicos crudos de *D. amoena* y *B. napobrassica* afectaron en mayor grado el porcentaje de crecimiento de la LR de *O. sativa*. Los extractos metanólicos de las cuatro especies presentaron mayor efecto fitotóxico en comparación con los respectivos testigos.

Los resultados permitieron inferir mayor sensibilidad en las semillas de *L. sativa* por el extracto metanólico crudo de *B. napobrassica*; lo que explica que las semillas de esa especie se recomiendan para realizar evaluaciones de fitotoxicidad (2).

En el presente estudio no se analizó estadísticamente la interacción del efecto fitotóxico entre las semillas de malezas y las especies de cultivo, así como, entre dicotiledóneas y monocotiledóneas, con la finalidad de identificar alguna diferencia.

Efecto de los extractos en el porcentaje de germinación

El extracto metanólico crudo de *D. amoena*, desde la concentración más baja (1%) afectó drásticamente la germinación de las semillas de *C. album* y de *E. crus-galli* (68,1 y 100%, respectivamente).

En contraste, en las semillas de *L. sativa*, *S. lycopersicum* y *O. sativa* se presentó una inhibición gradual al ir incrementando la concentración del mismo extracto (figura 1A, pág. 310).

El extracto metanólico crudo de *N. oleander* presentó el mismo efecto que el extracto anterior en *C. album* y *E. crus-galli*; pero en las semillas de las especies restantes (*L. sativa*, *O. sativa* y *S. lycopersicum*) el % G disminuyó gradualmente (figura 1B, pág. 310).

Los extractos metanólicos crudos de *R. sativus* y *B. napobrassica* presentaron el mismo efecto de inhibición del % G en todas las especies de semillas a diferentes concentraciones que los extractos anteriores. Sin embargo, el efecto de inhibición del % de G de estos dos extractos fue más drástico en las semillas de *C. album* y *E. crus-galli* que en *O. sativa* y *S. lycopersicum* en comparación con los extractos de *D. amoena* y *N. oleander*, la excepción fue *L. sativus* (figuras 1C y 1D, pág. 310).

Efecto de los extractos en el vigor de plántulas (LR y LPA)

La figura 2 (pág. 311) y figura 3 (pág. 312), muestran el efecto de los extractos metanólicos crudos en el crecimiento de la LR y LPA de las semillas que lograron germinar.

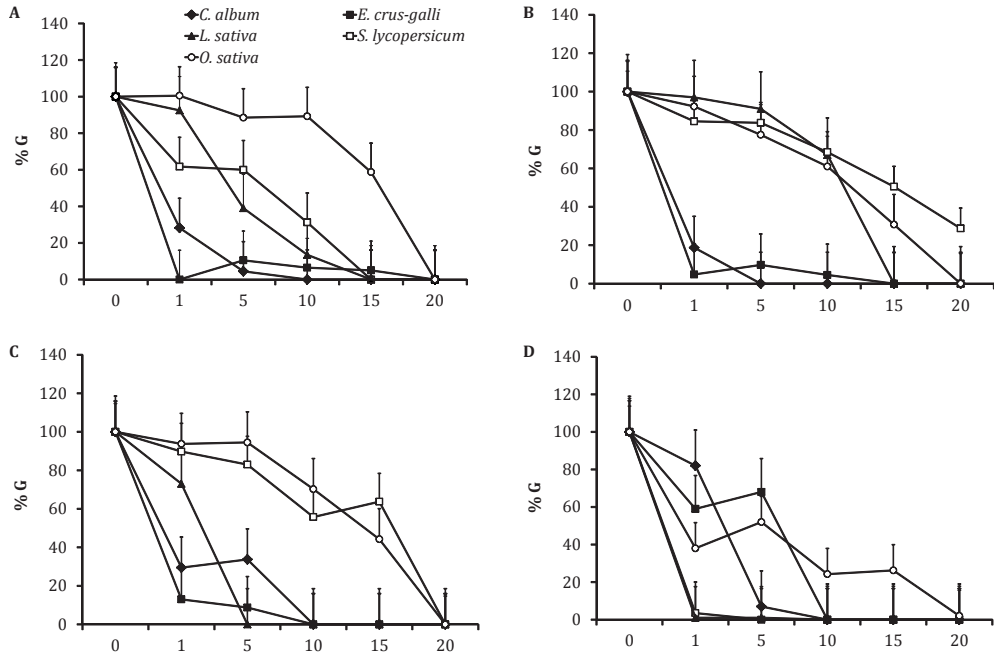


Figura 1. Efecto de cuatro extractos metanólicos crudos de: (A) *D. amoena*, (B) *N. oleander*, (C) *R. sativus* y (D) *B. napobrassica* sobre el porcentaje de germinación de cinco especies vegetales.

Figure 1. Effect of four crude methanol extracts of: (A) *D. amoena*, (B) *N. oleander*, (C) *R. sativus* y (D) *B. napobrassica* on the germination percentage five plant species.

El extracto metanólico crudo de *D. amoena* afectó principalmente el crecimiento de la LR de *C. album* y *L. sativa*. Sin embargo, en las semillas de las especies *E. crus-galli* y *O. sativa* se observó estimulación del crecimiento de la radícula (LR) en la concentración más baja (1%) (figura 2A, pág. 311).

El efecto de inhibición se repitió en el desarrollo de la LPA en las mismas especies, las excepciones fueron *E. crus-galli* y *O. sativa* (figura 3A, pág. 312).

Por otro lado, el extracto metanólico crudo de *N. oleander* afectó negativamente el desarrollo radicular (LR) de *C. album*, *E. crus-galli* y *O. sativa*, mientras que en *L. sativa* y *S. lycopersicum* se observó el efecto opuesto (figura 2B, pág. 311).

El mismo efecto de inhibición se encontró en el desarrollo de la LPA en *C. album*, *S. lycopersicum* y *O. sativa* y de estimulación en *E. crus-galli* desde la menor concentración y en *L. sativa* a las concentraciones de 1 y 5% (figura 2B, pág. 311 y figura 3B, pág. 312).

Los extractos de algunas especies solamente ocasionaron inhibición de la LR y LPA, tal es el caso del extracto metanólico crudo de *R. sativus* que inhibió el crecimiento de la radícula en todas las especies de semillas, así como el crecimiento de la LPA (figura 2C, pág. 311 y figura 3C, pág. 312), la excepción en la LPA fue *S. lycopersicum*, donde se encontró estimulación.

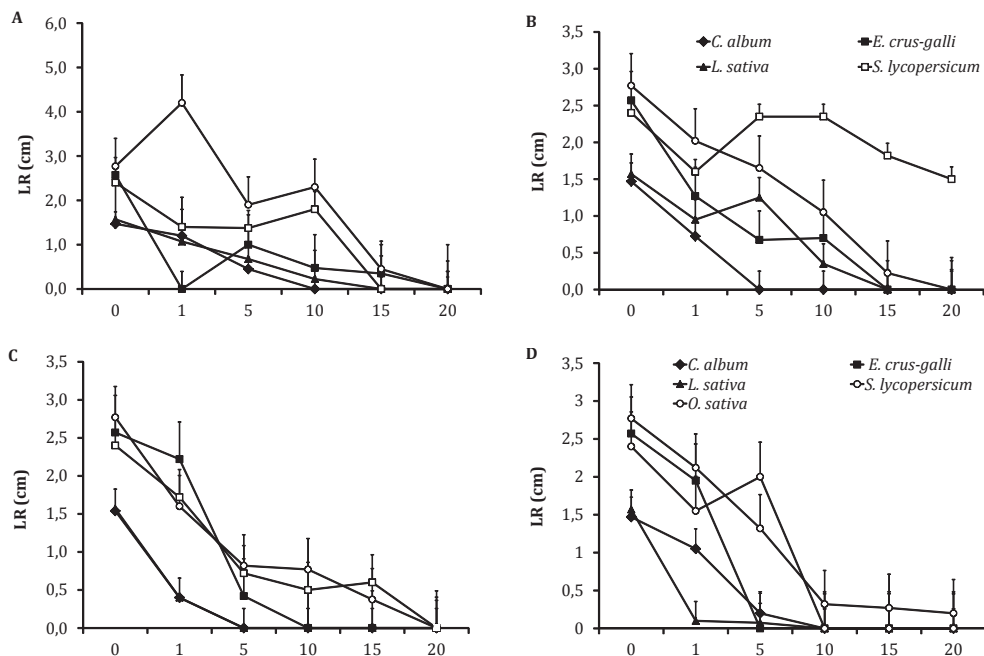


Figura 2. Efecto de cuatro extractos metanólicos crudos de: (A) *D. amoena*, (B) *N. oleander*, (C) *R. sativus* y (D) *B. napobrassica* en el crecimiento de la longitud de la raíz (LR) de cinco especies vegetales.

Figure 2. Effect of four crude methanol extracts of: (A) *D. amoena*, (B) *N. oleander*, (C) *R. sativus* y (D) *B. napobrassica* growth in root length (RL) five plant species.

Finalmente, el extracto metanólico crudo de *B. napobrassica* presentó el mismo efecto que el extracto metanólico crudo de *R. sativus*, con estimulación en *S. lycopersicum* para LR y LPA (figura 2D, y figura 3D, pág. 312).

Análisis fitoquímico

Los rendimientos de los extractos metanólicos crudos de *D. amoena*, *N. oleander*, *R. sativus* y *B. napobrassica* fueron 27,0; 16,0; 20,0 y 21,0 g 100 g⁻¹ peso

seco, respectivamente. Por cromatografía en capa fina (CCF) se identificó la presencia de glucosinolatos en los extractos de *B. napobrassica* y *R. sativus* (*Brassicaceae*).

Se detectó la presencia de terpenoides en el extracto de *D. amoena*. En el extracto metanólico crudo de hoja de *N. oleander* se encontró la presencia de alcaloides y terpenoides (tabla 3, pág. 312).

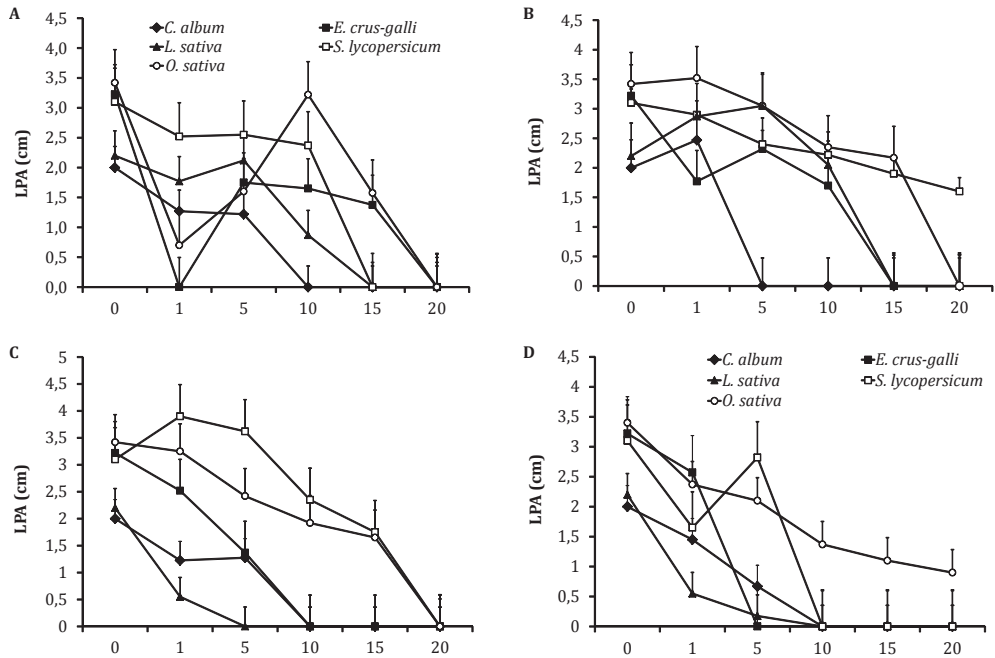


Figura 3. Efecto de cuatro extractos metanólicos crudos de: (A) *D. amoena*, (B) *N. oleander*, (C) *R. sativus* y (D) *B. napobrassica* en el crecimiento de la longitud de la parte aérea (LPA) de cinco especies vegetales.

Figure 3. Effect of four crude methanol extracts of: (A) *D. amoena*, (B) *N. oleander*, (C) *R. sativus* y (D) *B. napobrassica* in the growth of the length of the aerial part (LPA) five plant species.

Tabla 3. Análisis fitoquímico del extracto metanólico crudo de cuatro especies vegetales.

Table 3. Analysis phytochemical crude methanol extract of four plant species.

Especie	Familia	Tipo de metabolito				Referencias
		Alcal	Flavon	Terpen	Glucosin	
<i>Dieffenbachia amoena</i>	<i>Araceae</i>	-	-	+	-	Glucocalcoides y Sapogeninas (18)
<i>Nerium oleander</i>	<i>Apocynaceae</i>	+	-	+	-	Triterpenos (1, 27), Alcaloides (27)
<i>Raphanus sativus</i>	<i>Brassicaceae</i>	-	-	-	+	Glucosinolatos (30)
<i>Brassica napobrassica</i>	<i>Brassicaceae</i>	-	-	-	+	Glucosinolatos (30)

(-) Ausencia; (+) Presencia; Alcal. = Alcaloides; Flavon = Flavonoides; Terpen = Terpenoides; Glucosin = Glucosinolatos.

(-) Absence; (+) Presence; Alcal. = Alkaloids; Flavon = Flavonoids; Terpen = Terpenoids; Glucosin = Glucosinolates.

DISCUSIÓN

Los productos naturales presentan metabolitos secundarios, compuestos de bajo peso molecular que tienen importancia ecológica porque participan en los procesos de adaptación de las plantas a su ambiente, como es el establecimiento de la simbiosis con otros organismos y en la atracción de insectos polinizadores y dispersores de las semillas y frutos.

Una síntesis activa de metabolitos secundarios también se induce cuando las plantas son expuestas a condiciones adversas tales como: a) el consumo por herbívoros (artrópodos y vertebrados), b) el ataque por microorganismos: virus, bacterias y hongos, c) la competencia por el espacio de suelo, la luz y los nutrientes entre las diferentes especies de plantas y d) la exposición a la luz solar u otros tipos de estrés abiótico (31).

En este estudio, los extractos metanólicos crudos de *D. amoena* y *N. oleander* afectaron drásticamente la germinación de *C. album* y *E. crus-galli* desde la concentración más baja, así como la disminución gradual a las diferentes concentraciones en *L. sativa*, *O. sativa* y *S. lycopersicum* (figuras 1A y 1B, pág. 310).

Al respecto, Alfonso *et al.* (2005) reportaron inhibición de la germinación con los extractos acuosos de *N. oleander* en cinco especies de malezas. Asimismo, Uludag *et al.* (2006) reportaron el mismo efecto de los extractos acuosos de *N. oleander* a diferentes concentraciones en *L. sativa*.

Los extractos de *R. sativus* y *B. napobrassica* mostraron mayor efecto de inhibición del % G a ciertas concentraciones en algunas especies de semillas, específicamente las de malezas (*C. album* y *E. crus-galli*) en comparación con las semillas de especies cultivadas (*S. lycopersicum* y *O. sativa*) (figuras 1C y

1D, pág. 310) y en *L. sativus* por ser más sensible (12, 13, 23), lo que concuerda con Uludag *et al.* (2006) quienes registraron inhibición de la germinación de *L. sativa* por los extractos acuosos de *R. sativus*, resultados que coinciden con los reportados en el presente trabajo.

Así mismo, se ha reportado que extractos de algunas especies vegetales a bajas concentraciones presentan efectos de estimulación, y a concentraciones mayores se observa el efecto opuesto; es decir los aleloquímicos presentes en extractos de algunas especies pueden inhibir o estimular la germinación a concentraciones menores (2), pero a concentraciones más elevadas pueden llegar a ser fitotóxicos con acción inhibidora o herbicida (29).

Hoffmann *et al.* (2007) encontraron que los extractos de *Dieffenbachia picta* estimularon la germinación de semillas de *L. sativa* a la concentración más baja (0,0625 mg mL⁻¹). Asimismo, un efecto similar se encontró en *C. secundiflora* por García-Mateos *et al.* (2011) al estudiar el efecto de la fitotoxicidad de la especie en *Ipomoea purpurea*. Xuan *et al.* (2003) encontraron que el extracto acuoso de *Azadirachta indica* estimuló la germinación de las semillas y el crecimiento de los brotes de *O. sativa* a una concentración de 0,05 mg mL⁻¹.

Se encuentra reportado que el efecto de estimulación en algunos extractos se debe a la presencia de metabolitos específicos como alcaloides y terpenoides (14, 29).

Los extractos metanólicos crudos de *R. sativus* y *B. napobrassica* provocaron inhibición de la LR y LPA. Al respecto, Moyer y Huang (1997) señalan que el extracto acuoso de *B. napobrassica* fue uno de los más efectivos en la inhibición del

crecimiento de las raíces de *Kochia arenaria* a la concentración de 1%; mientras que, Uludag *et al.* (2006) indicaron que varias especies (*Brassica napobrassica*, *Brassica campestris* subsp *rapa* y *Raphanus sativus*) de la familia *Brassicaceae* presentaron estimulación en *Sorgum halepense* (L.) Pers.

Los resultados mostraron que los extractos metanólicos crudos de *R. sativus* y *B. napobrassica* afectaron la raíz en la mayoría de las especies, lo cual permitió asumir que fue la parte más sensible en comparación con los hipocótilos y coleótilos de las dicotiledóneas y monocotiledóneas, respectivamente. Estos daños se caracterizaron por raíces primarias raquílicas o ausentes, atrofiadas o ahiladas; hipocótilos o coleótilos cortos, gruesos o deformados. Estos resultados concuerdan con los de Gatti *et al.* (2008) quienes señalan que la presencia de anomalías en las raíces ocurre con mayor frecuencia debido a que estos órganos son más sensibles a la acción fitotóxica o alelopática, que las partes aéreas de la planta.

García-Mateos *et al.* (2011) mencionan que plántulas anormales por daños en la LR y LPA no podrán sobrevivir en condiciones de campo abierto. Para los fines de este trabajo una planta anormal (2014) es aquella que no presenta capacidad para desarrollarse a pesar de crecer en condiciones favorables y que tiene una de sus partes deterioradas.

Hoffmann *et al.* (2007) reportaron que algunos extractos acuosos disminuyen la velocidad de desplazamiento y translocación de los componentes nutritivos desde la radícula de *L. sativa*, así como en el hipocótilo de algunas especies de semillas (*L. sativa* y *Bidens pilosa*), afectando la movilización de las reservas de alimentos.

En el presente estudio los extractos fueron de polaridad semejante a los

acuosos, lo que podría explicar los daños observados en la radícula.

Las diferencias observadas en las variables % G, LR y LPA en las semillas de todas las especies por los diferentes extractos metanólicos podría deberse a: a) diferente composición de los extractos de cada especie vegetal (18); b) presencia únicamente de metabolitos polares por el disolvente de extracción (metanol) (28); c) un efecto sinérgico de los diversos componentes del extracto (14, 18); d) a modo o mecanismo de acción de cada tipo de metabolito presente en el extracto (28); y e) respuesta diferencial de cada especie de semilla (29).

Por otro lado, el mecanismo de acción de algunos metabolitos producidos por una planta se puede manifestar principalmente a través de la inhibición del crecimiento radicular, lo que significa que se está afectando de manera específica a diversas organelas celulares relacionadas con el funcionamiento de mitocondrias (respiración), cloroplastos (fotosíntesis), meristemas primarios y secundarios (división y elongación celular), propiedades de las membranas, cinética enzimática, síntesis de proteínas, estructuras cromosómicas, entre otros (28).

Otros factores pueden afectar la capacidad de dispersión y acumulación en los compartimentos intracelulares, lo que también altera la germinación y el crecimiento de la plántula (19, 26).

Con respecto al análisis fitoquímico de los extractos metanólicos crudos de *B. napobrassica* y *R. sativus* (*Brassicaceae*) mostraron la presencia de glucosinolatos, pero la primera presentó mayor fitotoxicidad al afectar el porcentaje de germinación principalmente de *E. crus-galli*, *L. sativa*, *S. lycopersicum* y *O. sativa*, y ambas el vigor de las plántulas (LR y LPA)

de la mayoría de las especies de semillas (tabla 2, pág. 308).

Auger y Thibout (2004) señalan la diversa actividad biológica de glucosinolatos y otros compuestos azufrados (insecticida, herbicida, fungicida y bactericida), lo cual podría explicar los efectos fitotóxicos encontrados en el presente trabajo. Este tipo de metabolitos presentan actividad alelopática (33, 35) porque afectan la germinación y el crecimiento de especies cultivadas (32) y de algunas malezas en su hábitat (27).

Aunque el efecto fitotóxico observado en *R. sativus* y *B. napobrassica* podría deberse también a la naturaleza de otros compuestos activos presentes en los extractos, sin embargo, en análisis por CCF se encontró que los compuestos azufrados son los más abundantes (4).

Las especies de la familia *Brassicaceae* sintetizan otros compuestos secundarios, como cucurbitacinas y brasininas cuyo potencial fitosanitario no se puede ignorar (5). Ambas sustancias no fueron analizadas en el presente estudio; sin embargo, en caso de estar presentes podrían actuar de manera sinérgica e incrementar la actividad del extracto.

Aunque, Auger y Thibout (2004) señalan que las plantas de la familia *Brassicaceae* presentan actividad herbicida por la presencia de sustancias azufradas (glucosinolatos).

En el presente trabajo el extracto metanólico crudo de *D. amoena* presentó terpenoides, aunque existen pocos estudios fitoquímicos de *D. amoena* que expliquen su toxicidad. Sin embargo, Hunter y Becerra (1976) identificaron en extractos acuosos de *D. amoena* la presencia de glucoalcaloides esteroidales y sapogeninas esteroidales.

Por otra parte, Brielmann *et al.* (2006) mencionan que algunos tipos de

terpenoides inhiben el crecimiento de malezas en suelo (alelopatía), por lo que la presencia de estos compuestos podría explicar los efectos fitotóxicos observados en el % G y LPA en *S. lycopersicum*, *C. album* y *O. sativa* y en el crecimiento de la raíz de *E. crus-galli*.

En el extracto metanólico crudo de *N. oleander* se detectaron alcaloides y terpenoides. Varios reportes señalan la presencia de glicósidos cardiotónicos, alcaloides y triterpenoides en la misma especie (1, 30).

Hoffmann *et al.* (2007) señalan que la germinación se puede ver afectada negativamente por la presencia de saponinas en los extractos de *N. oleander* debido a que estos terpenoides parecen actuar como inhibidores de diversas reacciones enzimáticas en algunas especies de semilla. También algunos alcaloides, presentan propiedades alelopáticas (12). En esto, García-Mateos *et al.* (2010) y Aniszewski (2007) mencionan que las concentraciones de algunos alcaloides en plantas pueden influir como reguladores de crecimiento estimulando el crecimiento en ciertas especies de dicotiledóneas.

La actividad biológica de algunas plantas se atribuye a la presencia de diversos metabolitos de diferente naturaleza química, lo que aumenta la eficacia de los extractos botánicos como resultado de un efecto sinérgico (34), una ventaja de su uso es la aparición tardía de resistencias frente a los extractos puros (21).

Es importante señalar que los efectos fitotóxicos de los extractos observados *in vitro* no permite hacer inferencias, o incluso extender los resultados a las condiciones de campo a causa de la aparición simultánea de factores bióticos y abióticos que pueden influir en la actividad de los extractos o compuestos puros alelopáticos (2, 28).

CONCLUSIONES

Todos los extractos afectaron el % de G, LR y LPA principalmente de las semillas de malezas (*E. crus-galli* y *C. album*) en comparación de las cultivadas (*S. lycopersicum* y *O. sativa*). El extracto metanólico de *B. napobrassica* presentó el mayor efecto fitotóxico respecto de los extractos de las especies restantes, al inhibir la germinación de la mayoría de las semillas (*E. crus-galli*, *L. sativa*, *S. lycopersicum* y *O. sativa*).

El extracto metanólico de *N. oleander* mostró menor toxicidad que el anterior, al afectar el porcentaje de germinación de las semillas de todas las especies.

Los extractos de las especies restantes mostraron menor efecto fitotóxico que los anteriores.

El extracto de *B. napobrassica* fue el que afectó negativamente el crecimiento de LR y LPA de la mayoría de las especies.

En contraste, el extracto de *N. oleander* fue el único que inhibió el crecimiento de la LR de *C. album* y el mismo efecto se observó por el extracto metanólico de *R. sativus* en el crecimiento de la LPA de *L. sativa*. Únicamente las semillas de *S. lycopersicum* mostraron estimulación en el crecimiento de la LR y LPA por el extracto de *B. napobrassica*.

El análisis fitoquímico mostró la presencia de glucosinolatos en los extractos que mostraron mayor fitotoxicidad (*B. napobrassica* y *R. sativus*).

BIBLIOGRAFÍA

1. Alfonso, M. R.; Villasana, Y.; Lorenzo, M. E.; Álvarez, D.; Pérez, D.; Uranga, H. 2005. Análisis fitoquímico de cinco plantas con actividad alelopática. Memorias XVII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas. Varadero, Matanzas, Cuba. 592-595.
2. Anaya, A. L. 2003. Alelopatía. En: Anaya, A. L. (Ed.). Ecología Química. Plaza y Valdés. México. 255-298.
3. Aniszewski, T. 2007. Biological significance of alkaloids. In: Aniszewski, T. (Ed.). Alkaloids Secrets of Life. Alkaloid Chemistry, Biological Significance, Applications and Ecological Role. Elsevier: Oxford, RU. 141-180.
4. Auger, J.; Thibout, E. 2004. Sustancias azufradas de los *Allium* y de las crucíferas: potencial fitosanitario. En: Regnault-Roger, C.; Philogene, B. J. R.; Vincent, Ch. (Eds.). Biopesticidas de Origen Vegetal. Mundi-Prensa, Madrid, España. 77-92.
5. Baur, R.; Staedler, F.; Monde, K.; Takasugi, M. 1998. Phytoalexins from *Brassica* (Cruciferae) as oviposition stimulants the cabbage root fly, *Delia radicum*. Chemoecology. 8: 163-168.
6. Benyas, E.; Hassanpouraghdam, M. B.; Zehtabsalmasi, S.; Khatamian-Oskoei, O. S. 2010. Allelopathic effects of *Xanthium strumarium* L. shoot aqueous extract on germination, seedling growth and chlorophyll content of lentil (*Lens culinaris* Medic.). Romain Biotechnological Letters. 15: 5223-5228.
7. Bhowmik, P. C.; Inderjit. 2003. Challenges and opportunities in implementing allelopathy for natural weed management. Crop Protection. 22: 661-671.
8. Boiteux, J. J.; Hapon, M. V.; Fernández, M. de los A.; Lucero, G. C.; Pizzuolo, P. H. 2015. Efecto del extracto acuoso de chañar (*Geoffroea decorticans* Burkart) sobre *Botrytis cinerea*, como posible alternativa para su control durante poscosecha de uva de mesa. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(1): 241-250.

9. Briellmann, H. L.; Setzer, W. N.; Kaufman, P. B.; Kirakosyan, A.; Cseke, L. J. 2006. Phytochemicals: The chemical components of plants. In: Cseke, L. J.; Kirakosyan, A.; Kaufman, P. B.; Warber, S. L.; Duke, J. A.; Briellmann, H. L. (Eds.). *Natural Products from Plants*. CRC-Press, Boca Raton, FL. EEUU. 1-49.
10. Castellanos González, L.; Lorenzo Nicao, M. E.; Muiño, B. L.; Hernández Pérez, R.; Guillen Sánchez, D. 2015. Efecto in vitro de plaguicidas comerciales sobre *Trichoderma harzianum* cepa A- 34. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(2): 185-196.
11. Chiapusio, G.; Gallet, C.; Dobremez, J. F.; Pellisier, F. 2004. Compuestos alelopáticos: ¿herbicidas del futuro? En: Regnault-Roger, C.; Philogene, B. J. R.; Vincent, Ch. (Eds.). *Biopesticidas de Origen Vegetal*. Mundi-Prensa, Madrid, España. 153-171.
12. Cordell, G. A. 2013. Fifty years of alkaloid biosynthesis in Phytochemistry. *Phytochemistry*. 91: 29-51.
13. Duke, S. O.; Scheffler, B. E.; Dayan, F. E. 2002. Allelochemical as herbicides. In: Reigosa, M. J.; Pedrol, N. (Eds.). *Allelopathy from Molecules to Ecosystems*. Enfield (NH), EEUU. 183-195.
14. García-Mateos, M. R.; Pérez-Laínez, D.; Soto-Hernández, M.; Rodríguez-Pérez, J. E.; Kite, G. 2010. Phytotoxic activity of *Calia secundiflora* (Ortega) Yakovlev. *Allelopathy Journal*. 26: 23-34.
15. García-Mateos, M. R.; Castillo, A. M.; Zárate-Hernández, J. M.; Barrón-Yáñez, R. M. 2011. Extractos de *Calia secundiflora* (Ort.) Yakovlev con potencial actividad fitotóxica. *Interiencia*. 36: 779-784.
16. García-Mateos, M. R.; Sánchez-Navarro, C.; Martínez-Solís, J.; Pérez-Grajales, M. 2013. Actividad fitotóxica de los extractos de chile *manzano* (*Capsicum pubescens* R & P). *Revista Chapingo, Serie Horticultura*. 19: 23-33.
17. Gatti, A. B.; Lima, M. I. S.; Pérez, S. C. J. G. A. 2008. Allelopathic potential of *Ocotea odorifera* (Vell) Rohwer on the germination and growth of *Lactuca sativa* L. and *Raphanus sativus* L. *Allelopathy Journal*. 21: 73-82.
18. Ghayal, N.; Dhupal, K.; Deshpande, N.; Ruikar, A.; Phalgune, U. 2013. Phytotoxic effects of leaf leachates of an invasive weed *Synedrella nodiflora* and characterization of its allelochemical. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*. 19: 79-86.
19. Hoffmann, C. E.; Neves, L. A. S.; Bastos, C. F.; Wallau, G. L. 2007. Atividade alelopática de *Nerium oleander* L. e *Dieffenbachia picta* schott em sementes de *Lactuca sativa* L. e *Bidens pilosa* L. *Revista de Ciências Agroveterinárias*. 6: 11-21.
20. Hunter, Z. E.; Becerra, C. V. 1976. Estudios químicos y aspectos farmacológicos de un anticonceptivo vegetal. *Revista Colombiana de Ciencias Químico Farmacéuticas*. 2: 5-35.
21. Isman, M. B. 1997. Neem insecticides. *Pesticide Outlook*. 8: 32-38.
22. ISTA. 2014. Certificates. International Rules for Seed Testing. The International Seed Testing Association. Bassesdorf, Switzerland. 1-12 p.
23. Martinotti, M. D.; Castellanos, S. J.; González, R.; Camargo, A.; Fanzone, M. 2016. Efecto nematocida de extractos de ajo, orujo de uva y alperujo de aceituna; sobre *Meloidogyne incognita*, en vid, cv Chardonnay. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 48(1): 211-224.
24. Moyer, J. R.; Huang, H. C. 1997. Effect of aqueous extracts of crop residues on germination and seedling growth of ten weed species. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*. 38: 131-139.
25. Pannacci, E.; Pettorossi, D.; Tei, F. 2013. Phytotoxic effects of aqueous extracts of sunflower on seed germination and growth of *Sinapis alba* L., *Triticum aestivum* L. and *Lolium multiflorum* Lam. *Allelopathy Journal*. 32: 23-36.
26. Pérez-Leal, R.; García-Mateos, M. R.; Vásquez, T. R.; Colinas-León, M. T. 2005. Allelopathic potential of *Petiveria alliacea* L. *Agronomy for Sustainable Development*. 25:177-182.

27. Petersen, J.; Belz, R.; Walker, F.; Hurler, K. 2001. Weed suppression by release of isothiocyanates from turnip-rape mulch. *Agronomy Journal*. 93: 37-43.
28. Prichoa, F. C.; Leyser, G.; Vladimir-Oliveira, J.; Cansian, R. L. 2013. Comparative allelopathic effects of *Cryptocarya moschata* and *Ocotea odorifera* aqueous extracts on *Lactuca sativa*. *Acta Scientiarum*. 35: 197-202.
29. Qasem, J. R. 2002. Plants as sources of natural herbicides against branched broomrape (*Orobanche ramosa* L.). In: Reigosa, M. J.; Pedrol, N. (Eds.). *Allelopathy from Molecules to Ecosystems*. Enfield (NH), EEUU. p. 153-182.
30. Santhi, R.; Lakshami, G.; Priyadarshini, A. M.; Anandraj, L. 2011. Phytochemical screening of *Nerium oleander* leaves and *Momordica charantia* leaves. *International Research Journal of Pharmacy*. 2: 131-35.
31. Sepúlveda-Jiménez, G.; Porta-Ducoing, H.; Sosa-Rocha, M. 2003. La participación de los metabolitos secundarios en la defensa de las plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 21: 355-363.
32. Soltys, D.; Krasuska, U.; Bogatek, R.; Gniazdowska, A. 2013. Allelochemicals as bioherbicides. present and perspectives. In: Price, A. J.; Kelton, J. A. (Eds.). *Herbicides. Current Research and Case Studies in Use*. Wydawnictwo InTech, Chorzow. 517-542.
33. Sonderby, I. E.; Geu-Flores, F.; Halkier, B. A. 2010. Biosynthesis of glucosinolates-genes discovery and beyond. *Trends in Plant Science*. 15: 283-290.
34. Spelman, K.; Duke, J. A.; Bogenschutz-Godwin, M. J. 2006. The synergy principle at work with plants, pathogens, insects, herbivores, and humans. In: Cseke, L. J.; Kirakosyan, A.; Kaufman, P. B.; Warber, S. L.; Duke, J. A.; Brielmann, H. L. (Eds.). *Natural Products from Plants*. CRC-Press, Boca Raton, FL. EEUU. 475-497.
35. Uludag, A.; Uremis, I.; Arslan, M.; Gozcu, D. 2006. Allelopathy studies in weed science in Turkey-a review. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 20: 419-426.
36. Wagner, H.; Bladt, S. 1996. *Plant Drug Analysis: A thin layer chromatography atlas*. Springer, Berlin, Alemania. 386 p.
37. Xuan, T. D.; Eiji, T.; Hiroyuki, T.; Mitsuhiro, M.; Khanh, T. D.; Chung, I. M. 2003. Evaluation on phytotoxicity of neem (*Azadirachta indica*. A. Juss) to crops and weeds. *Crop Protection*. 23: 335-345.

Distribución de los huevos de lepidópteros defoliadores (Lepidoptera: Noctuoidea) en plantas de soja y su relación con la fenología del cultivo

Distribution of the eggs of defoliating Lepidoptera (Noctuoidea) in soybean plants and its relation to crop phenology

Liliana Valverde ¹, Eduardo Virla ^{1,2}, Guido Van Nieuwenhove ^{1,3}

Originales: *Recepción*: 30/11/2015 - *Aceptación*: 16/11/2016

RESUMEN

La soja es un cultivo estratégico en la economía de varios países sudamericanos. Las larvas de lepidópteros afectan el rendimiento del cultivo siendo *Anticarsia gemmatalis* (Hübner) (Erebidae: Eulepidotinae), *Rachiplusia nu* (Guenée) y *Chrysodeixis includens* (Walker) (Noctuidae: Plusiinae) las principales plagas en el área subtropical de Sudamérica. El objetivo del estudio fue determinar, a partir de muestras de campo, la ubicación de huevos de lepidópteros noctuoideos en los diferentes órganos de la planta de soja, así como su abundancia y distribución considerando el estado fenológico. Se realizaron muestreos semanales, durante tres campañas, en una parcela de 80 ha de soja manejadas con prácticas agrícolas convencionales. La identificación de los huevos de lepidópteros se realizó siguiendo claves específicas. Más del 90% de los huevos de las tres especies defoliadoras son depositados en los folíolos y ubicados mayormente en el nivel superior y medio de las plantas. A lo largo del desarrollo del cultivo, las mayores densidades de huevos se registraron en etapas tempranas (estado vegetativo y floración) siendo menos abundantes durante la fructificación. El estudio de la distribución de los huevos de estas especies plaga en la planta aporta información necesaria para establecer estrategias preventivas para su control.

Palabras clave

Glycine max • plagas • oviposición • distribución • densidades

1 Inst. Entomología, Fundación M. Lillo. Miguel Lillo 251, 4000, San Miguel de Tucumán, Argentina. lvalverde@lillo.org.ar

2 PROIMI-Biotecnología, CONICET. Av. Belgrano & Pje. Caseros, 4000, San Miguel de Tucumán, Argentina. egvirla@lillo.org.ar

3 Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo. Miguel Lillo 205. San Miguel de Tucumán, Argentina.

ABSTRACT

Soybean is a strategic crop for the economy of several South American countries. Phytophagous Lepidoptera are an important taxon affecting crop yield, being *Anticarsia gemmatalis* (Hübner) (Erebidae: Eulepidotinae), *Rachiplusia nu* (Guenée) and *Chrysodeixis includens* (Walker) (Noctuidae: Plusiinae) their main pests in Subtropical region of south America. The objectives of this study were to determine the location in field of eggs of Lepidoptera Noctuids in different organs of the soybean plant and its abundance and distribution in the plants considering the growth stage of the crop. Samples were taken weekly during three crop seasons, on a plot of 80 ha of soybean managed with conventional farming practices. The identification of lepidopteran eggs was performed following specific keys. More than 90% of eggs of the three defoliating species are deposited in the folioles, and especially in those located on the middle and upper level of the plants. Throughout the development of the crop, the highest densities of eggs were recorded in early stages (vegetative and flowering) being less abundant at fruiting. The study of the egg distribution of these pest species at the plant provides necessary information to establish preventive strategies for their control.

Keywords

Glycine max • pests • oviposition • distribution • densities

INTRODUCCIÓN

Para el Norte argentino se mencionan al menos 11 especies de lepidópteros que afectan a la soja, pero solo *Anticarsia gemmatalis* (Hübner) (Erebidae: Eulepidotinae), *Rachiplusia nu* (Guenée), y *Chrysodeixis includens* (Walker) (Noctuidae: Plusiinae) son consideradas plagas principales del cultivo (20, 22, 23, 37).

En las áreas productoras tropicales y subtropicales de América del Sur estas especies son consideradas el principal problema del cultivo de soja (13, 15, 25); sus larvas se alimentan de un amplio rango taxonómico de hospedadores cultivados y silvestres (3, 5), y muchas de esas plantas son utilizadas como sustrato de oviposición por las hembras.

Se han propuesto varias hipótesis para explicar la selección de las plantas hospedadoras por los insectos, una de estas es la de "concentración de recursos" (14).

Existen numerosos aportes sobre selección o preferencia de poblaciones de una misma especie fitófaga por diferentes plantas hospedadoras (8, 40), y sobre cómo influye la riqueza de plantas y su abundancia en el ensamble de especies presentes en un cierto ecosistema (41). A pesar de ello, son pocos los estudios que han profundizado en los fenómenos que influyen en la elección de una única especie de planta hospedadora por varios lepidópteros al mismo tiempo, y más escasos aún aquellos sobre la competencia inter-específica por una misma planta como sustrato de oviposición (21).

El comportamiento de oviposición ha sido motivo de muchos debates en ecología y evolución de la interacción entre insectos y plantas. Algunos autores (6, 32) sugieren que la preferencia de oviposición y las posibilidades de desarrollo larval puede

variar de acuerdo con la elección de la hembra optando por plantas en las cuales sus larvas tengan mayor posibilidad de sobrevivir los primeros días de vida.

Indudablemente la supervivencia de las larvas va a depender del sustrato donde la hembra pone sus huevos; estudios del comportamiento de oviposición consideran que la competencia entre hembras de una misma o de distintas especies tiene influencia en la ubicación de los huevos (35). Pero, el patrón de distribución de huevos en las plantas no siempre refleja la preferencia por un sitio de oviposición en particular, pudiendo estar influenciado por diversos factores, como por ejemplo: la densidad poblacional de la plaga y/o de especies con los mismos hábitos alimenticios (27). También, ciertas características físicas y/o químicas de las plantas hospedadoras pueden determinar la elección de sitios de oviposición, o hasta la inhibición de las hembras para oviponer [pubescencia de la planta que actúa como barrera y/o la calidad de la planta hospedera (nivel de nitrógeno, carbono, componentes defensivos, etc.)] (9); por ejemplo, en *Trichoplusia ni* (Hübner) (Noctuidae) la densidad y longitud de los tricomas de hojas de soja constituyen parámetros de resistencia en la oviposición (18).

Entre los estudios que mencionan posibles causas que determinan la distribución y ubicación de los huevos de lepidópteros plaga se pueden mencionar los realizados sobre *Trichoplusia ni* (Hübner) (Noctuidae) (18), *A. gemmatalis* (4, 13, 38), *Helicoverpa zea* (Boddie) (33, citada como *Heliothis zea*), *Crociosema (=Epinotia) aporema* (Walsingham) (27), *Helicoverpa armigera* (Hübner) y *H. punctigera* (Wallengren) (11).

En el neotrópico, y especialmente en Argentina, es escasa la información sobre

distribución y ubicación de huevos de lepidópteros y su relación con el desarrollo del cultivo que atacan (27); además, la mayoría de los estudios de campo sobre estas plagas se realizan con base a datos obtenidos a través de la colecta de larvas y adultos, siendo muy limitada la información que existe acerca de los huevos como parámetro demográfico (26).

En concordancia con esto último, el conocimiento de la distribución de huevos de noctuoides en las plantas de soja permitiría desarrollar técnicas de muestreo que permitan realizar aplicaciones preventivas de insecticidas dirigidas tanto al huevo como a las larvas de los primeros estadios que, al emerger, producen daños en tejidos cercanos al sitio de oviposición (11).

Objetivos

En virtud de la significativa carencia de información tomada de campo sobre diferentes aspectos de la oviposición de las especies de lepidópteros noctuoides defoliadores más representativas del cultivo de soja, los objetivos de este trabajo son:

- a) conocer la distribución de sus huevos en los diferentes órganos de la planta.
- b) determinar, para las diferentes especies, la ubicación de sus huevos considerando la arquitectura de la planta y la posible influencia del estado fenológico del cultivo a lo largo de tres campañas.

Hipótesis

Las especies de noctuoides defoliadores depositan más huevos en la lámina de los folíolos que en otros órganos aéreos de la planta de soja.

Las principales especies de noctuoides que utilizan al cultivo de soja como sustrato de oviposición tienen densidades ecológicas similares entre ellas.

Las hembras de lepidópteros defoliadores de la soja depositan un mayor número de huevos en el estrato superior de las plantas.

El estado fenológico del cultivo influye en la densidad ecológica de los noctuoides que oviponen en la soja.

El cultivo de soja es utilizado de manera similar para oviposición por los noctuoides en distintas campañas agrícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un lote comercial de soja de la variedad A-8000 RG (GM VIII) de 80 hectáreas, en el campo experimental del Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido (IIACS INTA Leales, Tucumán, Argentina: 27°11'34,85" S 65°13'31,96" O, 327 m s. n. m.). En las tres campañas sojeras estudiadas (2005, 2006, 2007) la siembra se realizó hacia fines del mes de enero y la cosecha en mayo.

El manejo del cultivo se hizo con las prácticas agrícolas convencionales pero con uso racional de insecticidas: las semillas fueron tratadas con "Imidacloprid" y se realizaron dos aplicaciones en las semanas 2 y 6 del estado vegetativo con un insecticida piretroide (Cipermetrina 25%, 75 cc por hectárea).

Localización de huevos en la planta de soja

Inicialmente, se realizó un muestreo para determinar la distribución de los huevos de lepidópteros en las plantas de soja. Para ello, durante la campaña 2005, se colectaron 240 plantas en nueve fechas

diferentes, abarcando los distintos estados fenológicos del cultivo. Las plantas fueron acondicionadas individualmente y transportadas al laboratorio en bolsas plásticas, y a continuación revisadas bajo estereomicroscopio (Nikon SMZ 745) a 30x a fin de determinar el número y ubicación de los huevos (la metodología para identificar a nivel específico los huevos se describe más adelante).

Para determinar la elección de los sitios de oviposición se discriminó a los órganos aéreos de las plantas en: a) tallo principal + pecíolos, b) láminas de hojas trifoliadas, y c) flores + vainas.

Sobre la base de la información recabada, un total de 702 huevos (incluyendo todas las especies de noctuoides), se estimó la densidad ecológica (número de huevos presentes para cada órgano de la planta) para cada fecha de muestreo mediante la siguiente fórmula: $(n_i / N) * 100$, donde n_i corresponde al número de huevos presentes en un órgano particular de la planta y N es el número total de muestras obtenidas para dicho órgano.

Ubicación en campo de los huevos de tres especies defoliadoras, considerando la arquitectura de la planta y la fenología del cultivo de la soja

La presencia y abundancia de las especies de lepidópteros plaga se basó en muestras tomadas a lo largo de tres campañas agrícolas, desde hojas trifoliadas (de acuerdo con el resultado del experimento anterior), considerando al azar veinte puntos de muestreos en el área del cultivo.

Se tomaron muestras semanales a partir de V_1 (estado vegetativo con hoja unifoliada expandida) hasta R_8 (estado reproductivo con el 95% de vainas maduras) (12).

En cada punto de muestreo, se eligieron 10 plantas de manera aleatoria y de ellas se extrajeron folíolos cuyo número fue modificándose en función del tamaño de la planta de acuerdo con la fenología del cultivo. Desde V_1 a V_3 cada muestra estaba constituida por 30, 60 y 90 folíolos respectivamente, y desde V_4 en adelante cada muestra constó de 150 folíolos por punto de muestreo. Los folíolos fueron retirados desde diferentes partes de las plantas: 1/3 de ellos de la parte inferior, 1/3 de la media, e igual cantidad de la superior. Se revisaron un total de 127.800 folíolos en las tres campañas, considerando que fueron 16 muestreos en cada campaña.

Los folíolos se colocaron en bolsas plásticas rotuladas con los siguientes datos: fecha, estado fenológico del cultivo, ubicación, punto de muestreo y nivel de la planta. A fin de evitar una excesiva deshidratación, para ser trasladadas al laboratorio las bolsas fueron ubicadas en un recipiente de polietileno expandido para prevenir el deterioro del material biológico.

En el laboratorio se revisaron los folíolos con la ayuda de una lupa binocular estereoscópica; los huevos de lepidópteros presentes fueron aislados, identificados y registrados en planillas para cada una de las especies, fecha, punto de muestreo, nivel de la planta, y estado fenológico del cultivo. A continuación, se estimó la densidad ecológica (DE) a fin determinar la relación existente entre el número de huevos presente por folíolo para las diferentes especies plaga, estratos, estados fenológicos y campañas mediante la siguiente fórmula: (n_i / N) , donde n_i corresponde al número de huevos presentes de una especie en un altura determinada, para un estado fenológico dado, por fecha de muestreo y N es el número total de folíolos de la muestra de dicha fecha de muestreo.

Para una mejor observación de los datos, las DE para cada fecha de muestreo fueron multiplicadas por 100.

Los datos meteorológicos de temperatura, humedad relativa y precipitación se obtuvieron a partir de estaciones meteorológicas automáticas (Weather Monitor II by Davis) pertenecientes a la Estación Experimental Obispo Colombres (EEAOC) (Tucumán).

Montaje e identificación de los huevos de lepidópteros

Con el objeto de identificar a nivel específico cada uno de los huevos de lepidópteros colectados en campo se realizaron preparados microscópicos. La identificación se realizó, según la estructura y diseño del área micropilar del corión (1, 2, 16, 30, 39).

Los preparados microscópicos de referencia fueron depositados en la colección entomológica de la Fundación Miguel Lillo (IFML), Tucumán, Argentina.

Análisis estadístico de los datos

Previo al análisis estadístico de los datos, la normalidad de los mismos fue corroborada a través de la prueba de Shapiro-Wilks (43).

En una primera instancia, para determinar si los diferentes órganos de la planta de soja influyen en la oviposición de las hembras de lepidópteros se realizó un modelo lineal mixto (MLM) univariante con error de tipo III para $\alpha = 0,05$. La variable órgano de la planta se incluyó como un factor fijo mientras que el componente aleatorio tiempo fue bloqueado (semana 1-9). Las medias fueron separadas mediante la prueba de Tukey (Tukey HSD) a $p=0,05$.

Para analizar la ubicación de los huevos en campo de tres especies defoliadoras, considerando la arquitectura de la planta

y la fenología del cultivo, los datos de DE (número de huevos por cada 100 folíolos) fueron analizados mediante un modelo lineal mixto de cuatro vías con error de tipo III para $\alpha = 0,05$.

Las variables "Especies de lepidópteros", "Campañas", "Altura" y el "Estado fenológico" de la planta de soja se incluyeron dentro del análisis como factores fijos. La temperatura media, humedad relativa promedio y las precipitaciones para cada semana se incluyeron como co-variables, mientras que el componente aleatorio (tiempo) con 16 niveles (semanas 1-16) fue bloqueado. Este tipo de análisis permite identificar los efectos significativos para las diferentes variables en estudio [las especies, campañas, altura de la planta (inferior, medio, superior), el estado fenológico (vegetativo, floración y fructificación)] como también sus interacciones sobre la variable de respuesta (DE).

Subsecuentemente las medias fueron separadas mediante la prueba de Tukey (Tukey HSD) a $p=0,05$. Para cumplir con los supuestos paramétricos, los datos porcentuales fueron transformados mediante el arcoseno de la raíz cuadrada antes de los análisis (43); sin embargo, las medias no transformadas ($\bar{X} \pm EE$) se muestran en el texto y tablas para facilitar su interpretación. Los análisis estadísticos se realizaron con STATISTICA, versión 10.0 (10).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la identificación de los huevos se observó que las especies de lepidópteros noctuoideos defoliadores presentes en el cultivo de soja monitoreado fueron: *A. gemmatalis* (58,11%) (Erebidae: Eulepidotinae), *R. nu* (14,35%), *C. includens* (12,3%) (Noctuidae:

Plusiinae), y otras escasamente representadas como *Mocis latipes* (Guenée) (Erebidae: Erebinae), *Spodoptera eridania* (Stoll), *Spodoptera cosmiodes* (Walker) (Noctuidae: Prodeniini), *Peridroma saucia* (Hübner), *Agrotis* sp. y *Feltia* sp. (Noctuidae: Noctuiini).

En el presente estudio poco más del 84% de los huevos colectados pertenecieron a *A. gemmatalis*, *R. nu* y *C. includens*. Este resultado concuerda con estudios previos, los cuales reportaron que las especies mencionadas, son las plagas principales del cultivo en el norte argentino (20, 22, 23, 37).

Ubicación de los huevos en diferentes partes de la planta de soja

A partir del MLM univariante se determinó que los lepidópteros noctuoideos oviponen de manera diferencial sobre los distintos órganos de la planta de soja [$F_{(2;24)} = 13,13$; $p < 0,01$]. La mayor DE de huevos se registró sobre los folíolos ($2,42 \pm 0,63a$) difiriendo de manera notoria con las DE observadas para tallos-pecíolos ($0,16 \pm 0,03b$) y flores-vainas ($0,11 \pm 0,11b$).

Las hembras de lepidópteros suelen ser selectivas al escoger el lugar donde oviponer; por ejemplo, en el caso de las hojas, las hembras en general lo hacen en las más nuevas, sin daños causados por otros herbívoros, y en determinadas ubicaciones en la planta (31). Algunas especies son más propensas a poner sus huevos en el lado inferior de la hoja, ya sea para evitar la alta exposición a la luz del sol o bien para escapar de los enemigos naturales (17).

El comportamiento de diferentes especies dentro de un mismo taxón puede ser bastante variado: se ha registrado que algunas especies de Heliconiidae se especializan en oviponer en hojas más

desarrolladas y otras en brotes nuevos (7); asimismo, algunas especies de *Depressaria* (Oecophoridae) oviponen casi exclusivamente en las flores o yemas florales y otras en cambio en hojas y brotes florales (34).

Estudios previos realizados en otras latitudes determinaron que *A. gemmatalis* muestra preferencia de oviposición por el envés de las hojas pero en grandes ataques también se pueden encontrar huevos en los pecíolos y en tallos (4, 13, 38). En América del Norte, *Helicoverpa zea* (Boddie) distribuye sus huevos prácticamente en toda la planta de soja, aunque lo hace preferentemente sobre los folíolos (haz y envés) en el estrato medio de la planta (33).

Distribución y densidad ecológica de huevos de tres especies de noctuoides en diferentes alturas de la planta en los distintos estados fenológicos del cultivo de la soja

En la tabla 1 (pág. 326), se observa la incidencia de las diferentes variables o factores bajo estudio como también sus interacciones sobre la DE de huevos de lepidópteros noctuoides presentes en el cultivo de la soja.

La especie *A. gemmatalis* ($0,47 \pm 0,04a$) presentó la mayor DE en el cultivo de la soja difiriendo notablemente con las DE observadas en *R. nu* ($0,12 \pm 0,01b$) y *C. includens* ($0,10 \pm 0,01b$).

En cuanto al estrato, las mayores DE fueron observadas en el superior ($0,29 \pm 0,03a$) y medio ($0,24 \pm 0,03a$), las cuales difirieron de manera significativa con respecto a la DE observada en el estrato inferior ($0,16 \pm 0,02b$) de las plantas de soja.

Los estados fenológicos vegetativo ($0,34 \pm 0,03a$) y floración ($0,32 \pm 0,03a$) presentaron mayores y significativas DE con respecto al estado fenológico de fructificación ($0,07 \pm 0,01b$).

Las DE de las especies de lepidópteros noctuoides fueron similares en las tres campañas agrícolas (tabla 1, pág. 326).

Por otro lado, *A. gemmatalis* presentó mayores DE en la parte alta y media de la planta de soja decreciendo de manera notoria hacia la parte inferior de la misma. En cuanto a *R. nu* y *C. includens*, ambas especies presentaron DE similares en todas las estratos de la planta de soja; sin embargo, estos valores de DE fueron notablemente menores con lo observados para *A. gemmatalis* (tabla 2, pág. 326).

A su vez, *A. gemmatalis* fue la especie que presentó una mayor y significativa DE durante los estados fenológicos vegetativo y floración con respecto a las restantes especies de lepidópteros noctuoides en estudio. Sin embargo, su DE decreció notablemente para el estado de fructificación siendo este valor semejante a los observados para las DE en las especies *R. nu* y *C. includens* durante los estados fenológicos vegetativo y floración. Al igual que para la especie *A. gemmatalis* las DE de *R. nu* y *C. includens* decrecieron de manera significativa durante el estado de fructificación de la soja (tabla 2, pág. 326).

Por último, en el presente estudio también se observó que las mayores DE para las distintas campañas de la soja se manifestaron durante los estados fenológicos vegetativo y floración mientras que los menores valores de DE se observaron durante la fructificación de la soja (tabla 3, pág. 327).

Tabla 1. Modelo Lineal Mixto para determinar los efectos e interacciones de diferentes variables y co-variables sobre la densidad ecológica de huevos de las tres especies de lepidópteros más frecuentes presentes en el cultivo de soja. (*Anticarsia gemmatalis*, *Rachiplusia nu* y *Chrysodexis includens*).

Table 1. Mixed Linear Model to determine main effects and interactions of different variables and co-variables on the ecological density of eggs for the three more frequent lepidopteran species inhabiting soybean crops (*Anticarsia gemmatalis*, *Rachiplusia nu*, and *Chrysodexis includens*).

Variable	gl	F	p
Temperatura	1; 432	15,33	0,001
Humedad Relativa	1; 432	0,23	0,633
Precipitación	1; 432	1,07	0,302
Campaña (1)	2; 432	0,59	0,556
Estado Fenológico (2)	2; 432	7,84	0,001
Altura (3)	2; 432	11,82	0,001
Especie (4)	2; 432	127,84	0,001
1*2	4; 432	4,26	0,002
1*3	4; 432	0,67	0,617
1*4	4; 432	1,42	0,225
2*3	4; 432	1,51	0,199
2*4	4; 432	18,05	0,001
3*4	4; 432	5,68	0,001
1*2*3	8; 432	1,41	0,191
1*2*4	8; 432	1,73	0,091
1*3*4	8; 432	0,59	0,788
2*3*4	8; 432	0,54	0,827
1*2*3*4	16; 432	0,76	0,731

* En cursiva se denotan aquellas variables, co-variables e interacciones que fueron significativas ($p < 0,05$).

* *Italics fonts shows significant differences for each variable and interactions ($p < 0,05$).*

Tabla 2. Densidad ecológica medida para tres especies de lepidópteros plagas para diferentes estados fenológicos y estratos en el cultivo de la soja en el noroeste argentino.

Table 2. Ecological density for the three most abundant Lepidoptera pest on different phenological stages and stratum of soybean crop in northwestern Argentina.

Especie	Estado Fenológico		
	Vegetativo	Floración	Fructificación
<i>A. gemmatalis</i>	0,69 ± 0,07 a	0,64 ± 0,06 a	0,15 ± 0,02 b
<i>R. nu</i>	0,17 ± 0,02 b	0,17 ± 0,02 b	0,04 ± 0,01 cd
<i>C. includens</i>	0,14 ± 0,02 bc	0,13 ± 0,02 bcd	0,03 ± 0,01 d

Especie	Estrato		
	Inferior	Medio	Superior
<i>A. gemmatalis</i>	0,31 ± 0,06 b	0,48 ± 0,07 a	0,62 ± 0,07 a
<i>R. nu</i>	0,09 ± 0,02 c	0,13 ± 0,02 c	0,14 ± 0,02 c
<i>C. includens</i>	0,08 ± 0,01 c	0,10 ± 0,02 c	0,12 ± 0,02 c

* Letras diferentes denotan diferencias significativas entre medias (Prueba de Tukey, $p=0,05$).

* Different letters show significant differences between means (Tukey test, $p=0,05$).

Tabla 3. Densidad ecológica de los lepidópteros plaga en diferentes estados fenológicos en tres campañas del cultivo de soja en el noroeste argentino.**Table 3.** Ecological density for the lepidopteran pest on different phenological stages through three-soybean season, in northwestern Argentina.

Campaña	Estado Fenológico		
	Vegetativo	Floración	Fructificación
2005	0,35 ± 0,06 ab	0,30 ± 0,04 ab	0,05 ± 0,01 d
2006	0,38 ± 0,07 ab	0,25 ± 0,06 bc	0,06 ± 0,01 d
2007	0,27 ± 0,05 b	0,40 ± 0,05 a	0,12 ± 0,02 cd

Los resultados de esta investigación difieren con lo reportado para estas mismas plagas en Brasil, donde determinaron que *A. gemmatilis* deposita la mayoría de sus huevos en la región media de la planta, *R. nu* en la superior y *C. includens* en la inferior (25). Estas diferencias podrían deberse a diversos factores, es conocido que la distribución de los insectos en las plantas hospedadoras depende de muchas variables como la edad y la arquitectura de las mismas, el nivel de insolación, presencia de refugio, nivel de competencia intra e inter-específica, concentración de metabolitos secundarios, etc. (19, 28, 29).

Es común encontrar en la literatura diferencias en cuanto a los sitios de oviposición en especies de noctuoides; estudios sobre la distribución de huevos de *H. zea* en algodón son contradictorios, mientras algunos indican que la plaga pone sus huevos preferentemente en las hojas, otros encuentran que el sitio de oviposición más frecuente son los frutos y otros los tallos (42).

Relevamientos realizados en Brasil sobre estas plagas, determinaron que la densidad de huevos fue mayor durante la etapa vegetativa, período sumamente importante por el nivel de actividad fotosintética y determinante en el rendimiento del cultivo (25). Estos autores

comprobaron que las distintas especies oviponen en diferentes estratos de la planta, por lo que no parecen competir por el sitio de oviposición.

Estudios realizados en el noreste de Tucumán (24), determinaron que durante el período vegetativo, los huevos de las principales especies de lepidópteros plagas (sin mencionar una especie en particular) se localizan principalmente en el tercio superior de la planta, en floración son más abundantes en el nivel medio y en la etapa final del cultivo se encuentran en mayor medida en el nivel inferior.

Un estudio previo realizado en cultivos de soja en la región central de la provincia de Tucumán (36), determinó que el 48% de los huevos se encontraban localizados en el estrato medio de la planta, a excepción de la fase vegetativa temprana en los cuales no hubo una ubicación sesgada hacia alguno de los tres niveles de la planta.

Los resultados aquí obtenidos tienen una gran aplicabilidad al momento de establecer estrategias de monitoreo de estos lepidópteros plaga en soja.

El conocer que más del 84% de los huevos se localizan en los folíolos y que las mayores DE se encuentran en los estratos superior y medio de la planta ofrece la oportunidad de planificar de mejor manera la toma sistemática de

muestras para determinar la incidencia de estas plagas. La determinación temprana de la presencia de la plaga a través de sus huevos brinda una excelente oportunidad para hacer tratamientos focalizados con sustancias ovicidas y/o insecticidas de bajo impacto a fin de controlar tempranamente a las larvas neonatas, que causan menores niveles de daños (11).

CONCLUSIONES

Las tres principales especies de lepidópteros defoliadores depositan sus huevos mayormente en los folíolos de la planta de soja, y es raro encontrarlos en pecíolos, tallos, vainas o flores.

Anticarsia gemmatalis fue la especie plaga más abundante en el cultivo de la soja estudiado.

Los estratos superior y medio del cultivo son los más susceptibles a la oviposición por parte de las tres especies plagas defoliadoras de la soja.

A lo largo del desarrollo del cultivo, las mayores densidades de huevos se registraron en etapas tempranas (estado vegetativo y floración) siendo menos abundantes durante la fructificación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Angulo, A. O.; Olivares, T. S. 1991. Microestructura del exocorion en huevos de algunas especies de noctuidos (Lepidoptera: Glossata: Noctuidae). An. Insts. Pat. Magallanes. 20(1): 95-100.
2. Angulo, A. O.; Olivares, T. S.; Weigert, G. T. 2006. Estados inmaduros de lepidópteros noctuidos de importancia económica agrícola y forestal en Chile (Lepidoptera: Noctuidae). Universidad de Concepción y CONAF. Concepción, Chile. 154 p.
3. Artigas, J. N. 1994. Entomología económica. Insectos de interés agrícola, médico y veterinario. Vol II. Ed. Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 943 p.
4. Barbara, K. A. 2000. Velvetbean caterpillar, *Anticarsia gemmatalis* (Hübner) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae). Disponible en: <http://entomology.ifas.ufl.edu/creatures/field/velvetbean.htm>. Acceso, 03/ IX/2015.
5. Barrionuevo, M. J.; Murúa, M. G.; Goane, L.; Meagher, R.; Navarro, F. 2012. Life Table Studies of *Rachiplusia nu* (Guenée) and *Chrysodeixis* (= *Pseudoplusia*) *inclusens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) on artificial diet. Florida Entomologist. 2012. Florida Entomologist. 95(4): 944-951.
6. Beach, R. M.; Todd, J. W. 1988. Oviposition preference of the soybean looper (Lepidoptera: Noctuidae) among four soybean genotypes differing in larval resistance. J. Econ. Entomol. 81: 344-348.
7. Benson, W. W. 1978. Resource partitioning in passion vine butterflies. Evolution 32:493-518.
8. Bernays, E. A.; Chapman, R. F. 1994. Host-Plant Selection by Phytophagous Insects. New York: Chapman & Hall. 312 p.
9. Casmuz, A.; Juárez, M. L.; Socías, M. G.; Murúa, M. G.; Prieto, S.; Medina, S.; Willink, E.; Gastaminza, G. 2010. Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Rev. Soc. Entomol. Argent. 69(3-4): 209-231.
10. Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; González, L.; Tablada, M.; Robledo C. W. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>. Acceso, 04/ IX/2014.

11. Duffield, S. J.; Chapple D. G. 2001. Within-plant distribution of *Helicoverpa armigera* (Hübner) and *Helicoverpa punctigera* (Wallengren) (Lepidoptera: Noctuidae) eggs on irrigated soybean. Australian Journal of Entomology. 40: 151-157.
12. Fehr, W. R.; Caviness, C. E.; Burmood, D. T.; Pennington, J. S. 1971. Stage of development description for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. Crop Science. 11: 929-931.
13. Ferreira, B. S. C.; Panizzi, A. R. 1978. Distribuicao de ovos e lagartas de *Anticarsia gemmatalis* (Hübner) em plantas de soja. An. Soc. Entomol. Brasil. 7: 54-59.
14. Finch, S.; Collier, R. H. 2000. Host-plant selection by insects – a theory based on 'appropriate/inappropriate landings' by pest insects of cruciferous plants. Entomologia Experimentalis et Applicata. 96: 91-102.
15. Gazzoni, D. L.; Sosa Gómez, D. R.; Moscardi, F.; Hoffmann- Campo, C. B.; Correa Ferreira, B. S.; Jacob De Oliveira, L.; Corso, I. C. 1995. Insectos, pag 81-108. en: El cultivo de la soja en los trópicos: mejoramiento y producción. Ed. FAO. Argentina.
16. Gregory, B. M.; Barfield, C. S. 1989. Guide to the identification of some lepidoptera eggs found on Florida soybean, *Glycine max* (L.) Merr. Agr. Exp. Sta. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida, Ganeisville. Monograph. 15: 1-15.
17. Grossmueller, D. W.; Lederhouse, R. C. 1985. Oviposition site selection: an aid to rapid growth and development in the tiger swallowtail butterfly, *Papilio glaucus*. Oecologia. 66: 68-73.
18. Khan, Z. R.; Ward, J. T.; Norris, D. M. 1982. Role of trichomes in soybean resistance to cabbage looper, *Trichoplusia ni*. Ent. Exp. Appl. 24: 258-271.
19. Kohler, A.; D. Maag; N. Veyrat; G. Glauser; J. L. Wolfender; T. C. J.; Turlings; M. Erb. 2015. Within-plant distribution of 1,4-benzoxazin-3-ones contributes to herbivore niche differentiation in maize. Plant Cell Environ. 38: 1081-1093.
20. Lazaro, H. O.; Glencross, S. D.; Nasca, A. J.; Ricci, J. G.; Zamora, J. A.; Sosa Gómez, D. R.; Lemme, M. C.; Fernández de Araóz, D. S.; Morán Lemir, A. H. 1990. Fluctuación de las poblaciones de las principales orugas defoliadoras y chinches fitófagas en cultivos de soja de la provincia de Tucumán, R. Argentina. Rev. Invest. CIRPON VIII (1-4): 7-22.
21. Mayhew, P. J. 1997. Adaptive patterns of host-plant selection by phytophagous insects. Oikos. 79: 417-428.
22. Murúa, M. G.; Scalora F.; Navarro, F. R.; Cazado, L. E.; Casmuz, A.; Villagran, M. E.; Lobos, E.; Gastaminza, G. 2014. First record of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Argentina. Florida Entomologist. 72(2): 854-856.
23. Nasca A. J.; Lazaro H. O. 1991. Manejo integrado de plagas de soja en el Noroeste Argentino. Rev. Invest. CIRPON 9 (1-4): 77-89.
24. Nasca, A. J.; Saenz, J. A. 1995. Ubicación de las posturas de lepidópteros en la planta de soja *Glycine max* (L.). III Congreso Argentino de Entomología. Mendoza. Pág. 136.
25. Panizzi, A. R. 1990. Manejo integrado de pragas da soja no Brasil. Ed. CROCOMO, W. D. (Ed.), UNESP, São Paulo. Manejo integrado de pragas. 15: 293-321.
26. Pansera de Araujo, M. C. C.; Da Cruz, I. B. M.; Cavalheiro, M.; De Oliveira, A. K. 1999. Placement of noctuid eggs (Lepidoptera) on soybean plants. Annals of the Entomological Society of America. 92(5): 702-706.
27. Pereyra P. C.; Sánchez, N.; Gentile, M. V. 1991. Distribución de los huevos de *Epinotia aporema* (Lepidoptera, Tortricidae) en la planta de soja. Ecología Austral. 1: 1-5.
28. Perkins, L. E.; Cribb, B. W.; Hanan, J.; Glaze, E.; Beveridge, C.; Zalucki, M. P. 2008. Where to from here? The mechanisms enabling the movement of first instar caterpillars on whole plants using *Helicoverpa armigera* (Hübner). Arthropod-Plant Interactions. 2(4): 197-207.
29. Perkins, L.; Cribb, B.; Hanan, J.; Zalucki, M. 2010. The movement and distribution of *Helicoverpa armigera* (Hübner) larvae on pea plants is affected by egg placement and flowering. Bulletin of entomological research. 100(05): 591-598.
30. Peterson, A. 1964. Same types of eggs deposited by moths, Heterocera- Lepidoptera. Fla. Ent. 46, suppl. 1: 1-19.
31. Simbedoff, D.; Stiling, P. D. 1987. Larval dispersion and survivorship in a leaf-mining moth. Ecology. 68: 1647-1657.

32. Singer, M. C.; Ng, D.; Thomas, C. D. 1988. Heritability of oviposition preference and its relationship to offspring performance within a single insect population. *Evolution*. 42: 977-985.
33. Terry, L. I.; Bradley, J. R.; Van Duyn, J. W. 1987. Within-plant distribution of *Heliothis zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) eggs on soybeans. *Environ. Entomol.* 16: 625-629.
34. Thompson, J. N. 1983. Selection pressures on phytophagous insects on small host plants. *Oikos*. 40: 438-444.
35. Thompson, J. N.; Pellmyr, O. 1991. Evolution of oviposition behavior and host preference in Lepidoptera. *Annu. Rev. Entomol.* 36: 65-89.
36. Valverde, L. 2007. Abundancia y distribución de los huevos de las principales especies de lepidópteros noctuidos plagas en el cultivo de soja en Tucumán, Argentina. *Bol. San. Veg. Plagas*. 33: 163-168.
37. Valverde, L.; Romero Sueldo, M.; Colomo, M. V.; Berta, C.; Dode, M. 2008. Lepidópteros Noctuidae plagas en el cultivo de soja en Tucumán, Argentina. *Bol. San. Veg. Plagas*. 34(3): 377-381.
38. Watson, J. R. 1916. Life history of the velvetbean caterpillar *Anticarsia gemmatilis* (Hübner). *J. Econ. Entomol.* 9: 521- 528.
39. Weigert, G. T. H.; Angulo, A. O. 1977. Nuevos tipos de huevos en noctuidos chilenos (Lepidoptera: Noctuidae). *Bol. Soc. Biol. de Concepción*. 51(1): 289-298.
40. Waldvogel, M.; Gould, F. 1990. Variation in oviposition preference of *Heliothis virescens* in relation to macroevolutionary patterns of Heliiothine host range. *Evolution*. 44: 1326- 1337.
41. White, P. J. 2013. Testing two methods that relate herbivorous insects to host plant. *Journal of Insect Science*. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3835036/>. Acceso, 10/ VI/2015.
42. Wilson, L. T.; Gutierrez, A. P.; Leigh, T. F. 1980. Within-plant distribution of the immatures of *Heliothis zea* (Boddie) on cotton. *Hilgardia*. 48(2): 12- 23.
43. Zar, J. H. 1999. *Biostatistical analysis*. Fourth edition. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 663 p.

AGRADECIMIENTOS

A las autoridades del Instituto de Investigación Animal del Chaco semiárido (IIACS INTA Leales) por facilitar sus cultivos para la realización del presente estudio.

A la Estación Experimental Obispo Colombes (EEAOC), Sección de Agro-meteorología (Tucumán) por proveer la información meteorológica.

A las Licenciadas Fani Dragh y María José Amiune por su colaboración en las tareas de laboratorio y al Sr. Francisco Sánchez por su ayuda en el trabajo de campo y laboratorio.

Influence of C/N ratio on productivity and the protein contents of *Pleurotus ostreatus* grown in different residue mixtures

Influencia de la relación C/N sobre la productividad y contenido proteico del *Pleurotus ostreatus* cultivado en diferentes mezclas de residuos

María Bernarda Ruilova Cueva ¹, Aldho Hernández ², Zulay Niño-Ruiz ¹

Originales: *Recepción*: 04/08/2016 - *Aceptación*: 23/11/2016

ABSTRACT

The influence of the composition of different agricultural substrates standardized C/N in the productivity and protein content of the fruiting bodies of *Pleurotus ostreatus* harvested in different mixtures was determined. Six mixtures were designed using the Mixtures of Agricultural Waste for Cultivation of *P. ostreatus* program, the nitrogen content varied from 0.5 to 1.4%. In three of them, soy flour with a composition of 3, 4 and 6% was used as nitrogen source. The mixtures were categorised according to their physiochemical characteristics, the substrates were adapted and inoculated with the strain 768/12. The best results, 177.37% biological efficiency, 31.13% protein and 2.64 day⁻¹ production rate, this results were achieved with the mixture of 1% nitrogen and 47.99 of C/N form of 15% of rice husks, 40% of lentil stubble, 40% of sugar cane bagasse, 3% of soybean meal and 2% of calcium carbonate, confirming the high dependence of the C/N ratio in the productivity and protein content of *P. ostreatus*.

Keywords

Pleurotus ostreatus • nitrogen • biological efficiency • production rate • composition of agricultural waste

-
- 1 Universidad Estatal de Bolívar, Av. Che Guevara s-n y Gabriel Secaira Guaranda-Ecuador. bernardaruilova@gmail.com
 - 2 Instituto de Farmacia y Alimentos (IFAL). Universidad de la Habana, CP 13 600, La Habana, Cuba.

RESUMEN

Se determinó la influencia de la composición de diferentes sustratos agrícolas estandarizados en C/N sobre la productividad y contenido proteico de los cuerpos fructíferos de *Pleurotus ostreatus* cosechados en diferentes mezclas de residuos. Se diseñaron seis mezclas utilizando el Programa de Mezclas de Residuos Agrícolas para el Cultivo de *P. ostreatus*, se varió el contenido de nitrógeno de 0,5 a 1,4%. En tres de ellas se utilizó como fuente nitrogenada harina de soya en un 3, 4 y 6%. Las mezclas fueron caracterizadas fisicoquímicamente, se adecuaron los sustratos y se inoculó con la cepa 768/12. Los mejores resultados, 177,37% de eficiencia biológica, 31,13% de proteína y 2,64 dia⁻¹ de tasa de producción, fueron alcanzados con la mezcla con 1% de nitrógeno y 47,99 de relación C/N compuesta por 15% de cascarilla de arroz, 40% de rastrojo de lenteja, 40% de bagazo de caña de azúcar, 3% de harina de soya y 2% de Carbonato de calcio, confirmando la alta dependencia de la relación C/N en la productividad y contenido proteico de *P. ostreatus*.

Palabras clave

Pleurotus ostreatus • contenido de nitrógeno • eficiencia biológica • tasa de producción • composición de residuos agrícolas

INTRODUCTION

The *pleurotus* species has culinary, nutritional and medicinal properties (4, 10). The oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus* is grown worldwide, and it is cheap and easy to implement. It is also one of the most popular because of its high nutritional value (19), the substrate left after harvesting the mushroom can be exploited as an organic fertilizer for soil remediation (22).

For a good growth of *P. ostreatus*, it is necessary that in the substratum sources of carbon and nitrogen can be found as well as other minerals such as: S, Ca, Mg, P, K and some lower concentrations of minerals such as: Fe, Zn, Mn, Cu and Mo (5, 24), with an ash content between 2.5 to 15.7% (28). Mushrooms are known as decomposers of organic matter in general and particularly of cellulose, for which it produces a series of enzymes (17, 27).

The species of *Pleurotus* degrades a complex lignin-cellulose-hemicellulose structure and takes nutrients for their development, growing in a wide range of woody materials such as agricultural wastes and forestry, which are mainly composed of polymers present in the walls of the plant cells, such as cellulose 40 to 60%, 15 to 35% hemicellulose and lignin 10 to 30%, being the main source of carbon and nitrogen (16, 18, 30).

Several studies have shown the need to supply the substrates poor in nitrogen with richer sources of this element (bran cereal, flour, soybeans, alfalfa, sunflower, etc.) (6) and the combination of different materials for the grow of *Pleurotus* (33, 37), which will impact the quality and yield of the culture (3, 9, 21, 29).

Forero *et al.* (2008) have reported that the waste mixture, in addition to providing more appropriate nutritional characteristics

also helps increase the substrate structure (grain size and porosity) to facilitate the interchanges of gases for proper colonization of the substrate.

Curvetto *et al.* (2002) show results by using sunflower husk' flour as nitrogen supplement, achieving an increase of 50% or more in the production of *P. ostreatus*. According to these authors, enhancing the substrates with nitrogen is also important to increase the protein content in the Mushrooms. By raising the nitrogen content in the substrate from 0.65 to 1.3% promote an increase of the protein content from 17.1 to 28%; however, when nitrogen concentrations from 1.75 to 2.2% were used the substrates did not colonize. Therefore, despite it being an important strategy to allow the use of certain low waste nitrogen locally available, enrichment of substrates from certain values can lead to negative effects, in addition it can increase production costs (32, 33, 37). As a result, it is important to determine the nitrogen content in each raw material used in the formulation of the substrates for the cultivation of the mushrooms; to then determine the appropriate supplementation or combination with other materials. In the Bolivar Province-Ecuador, a variety of agricultural products are cultivated in cold and temperate climates, which leave considerable amounts of waste, used only partially as fodder while the rest is deposited on the field to be burned or thrown into landfills without any treatment, contributing to environmental pollution (26).

The purpose of this research was to evaluate the influence of the composition of different substrates standardized C/N on productivity and protein content of *Pleurotus ostreatus* grown in standardized mixtures residues.

MATERIALS AND METHODS

The materials used were corn and lentil stubble, barley and wheat straws; sugarcane bagasse and rice husks, from the province of Bolivar-Ecuador which were already categorized based on their physicochemical composition (11, 26). For each of the residues, approximately 20 kg at random were collected and moved to a covered warehouse for natural drying (18 to 22°C and RH between 70-75%) until further use.

Mixtures of residues standardized in C/N

For the mixture design the Mixtures of Agricultural Waste for Cultivation Program was used combining different proportions of residues from: corn stubble, rice husks, barley straws, lentil stubble, wheat straws, sugarcane bagasse and soybean meal. Each mixture was composed of three different residues, varying the nitrogen content in intervals from 0.5 to 1.4%. Six mixtures were designed (M1, M2, M3, M4, M5, M6), in three of them (M4, M5 y M6) soybean meal was used as nitrogen source in 3, 4 y 6% concentrations, searching for balance in the C/N relation, leaving the mixtures standardized in this indicator. All mixtures were added 2% of calcium carbonate.

The physicochemical characterization of each mixture was realized following the methods indicated in table 1 (page 334).

For the design of the mixtures a Mixtures Program (11) was used, varying the nitrogen content in ranges from 0.5 to 1.4%. Six mixtures were designed, in three of them soybean meal in a 3, 4, and 6% was used as nitrogen source looking for a balance in the C/N relation. A physicochemical characterization of each of the mixtures was performed by the methods outlined in table 1 (page 334).

Table 1. Components and methods used in the characterization of mixtures of lignocellulosic waste.**Tabla 1.** Componentes y métodos utilizados en la caracterización de mezclas de residuos lignocelulósicos.

Parameters	Methods
Humidity	Gravimetric method, AOAC (2005) 925.10
Nitrogen	TOC Method - 4 -110.TN - 4110
Lignin	Van Soest, P. (1967).
Cellulose	By difference between the A.D.F. and the lignin
Hemicellulose	By difference between N.D.F. and A.D.F.
pH	By a Potentiometric method according to AOAC (2005)
Carbon	From organic matter, Wakley method (1996)
Calcium	Method by Spectrophotometry of atomic absorption adapted by the nutrition and quality department (MO-LSAIA-03.01.01) of the INIAP-Ecuador
Phosphorus	Colorimetry method adapted by the nutrition and quality department (MO-LSAIA-03.01.01) of the INIAP-Ecuador
Magnesium	Method by Spectrophotometry of atomic adapted by the nutrition and quality department (MO-LSAIA-03.01.01) of the INIAP-Ecuador
Potassium	Method by Spectrophotometry of atomic absorption adapted by the nutrition and quality department (MO-LSAIA-03.01.01) of the INIAP-Ecuador
Copper	Method by Spectrophotometry of atomic absorption adapted by the nutrition and quality department (MO-LSAIA-03.01.01) of the INIAP-Ecuador
Iron, manganese and zinc	Method by Spectrophotometry of atomic absorption adapted by the nutrition and quality department (MO-LSAIA-03.01.01) of the INIAP-Ecuador

The strain selection

The *P. ostreatus* strain used in this study was collected by Ruilova (2015) of Ecuador and it was deposited at the Biotechnology Research Institute (IIB-INTECH), collection of fungal cultures (WFCC 826) from the University of San Martín, Argentina (25).

The preparation of the inoculum and suitability of substrates for cultivating the mushroom *P. ostreatus* was performed following the same methodology employed by Ruilova (2015).

Spawn production

Wheat grains were used for seed production as they are the cereal produced in the area. The wheat grains were selected, washed and cooked at boiling temperature for an approximate time of 45 min, then high density polypropylene bags were filled with 500 g of the grain to which 1.5% CaCO₃ was added. The bags were sterilized using autoclave for 30 min at 121°C. The humidity obtained was about 45%.

Once the bags were cold, the bags were inoculated into a laminar flow chamber with mycelium (1 cm of diameter) multi-

plied on PDA medium (Petri dish) and incubated at 25°C in darkness with periodic agitation to achieve a complete colonization of the mushroom mycelium (17 to 21 days). By the end of this process the seed was ready to be used.

Adequacy of the substrates for growing the *P. ostreatus* mushroom

The agricultural wastes were mechanically fragmented into a size of 2 to 5 cm long according to their nature, they were hydrated using water immersion for periods of time of about 24 h, time required to achieve a humidity between 75 to 76%. The substrates were sterilized via thermal treatment using an autoclave at 121°C for 30 min and were cooled down to room temperature (18 to 20°C).

We proceeded with the planting (3 bags per mix) inoculating 4% of the seed based on the wet substrate, for this transparent polyethylene bags 40 x 60 cm were used. The bags were drilled longitudinally and at the bottom with the tip of sterile steel, to promote a state of semi-anaerobiosis required in the initial invasion stage of the mycelium, then closed the bags with rubber bands and finally were incubated in the dark at a temperature of 25°C. Subsequently, the incubation period, the bags fully colonized by the mycelium mushroom are moved into the fructification climate room, where favorable conditions of relative humidity (80-85%), temperatures 15 to 16°C and photoperiod of 12 propitiated h light/12 h dark also ventilation to induce better sprouting. In which, the presence of primordia was detected and larger cuts in the bags were made to facilitate the development of the mushroom; these conditions

were maintained for 4 to 5 days. In the production stage the temperature between 18 to 22°C and relative humidity between 85 to 90% remained. The facilities for the mushroom cultivation allowed to do an automatic control of temperature and humidity. The two measuring parameters were recorded digitally in the command board of a temperature control room.

The production was constantly monitored and mushroom were manually harvested with the help of a sterile knife, in their adult stage, when the pileus was fully extended. Mushrooms were weighed on a digital scale and the weight was recorded in grams.

Evaluation of the production

In order to evaluate the production of each substrate, the carpophores produced in three batches were harvested, in a production period of 62 to 74 days, time passed from the start of planting to last harvest. Production data was recorded: First harvest (days), Period of harvesting (days), considering the initial culture time and the last harvest time and weight of harvested fresh mushrooms. Biological efficiency defined as the ability of fungi to convert a substrate into fruiting bodies (BE) and the production rate (PR) was assessed according to equations 1 and 2 (page 336), considering the production time as the production period from planting to last harvest and the protein content (Kjeldhal Method, AOAC (2005) 2001.11), of the fruiting bodies. The weight of the dry substrate corresponds to the constant weight achieved during the determination of humidity by gravimetric method (AOAC (2005) 925.10).

$$BE = \frac{\text{weight of fresh mushrooms}}{\text{weigh from dry substrate}} \times 100 \quad (1)$$

$$PR = \frac{\text{Biological efficiency}}{\text{Production time}} \times 100 \quad (2)$$

Statistical analysis

For each one of the variables response an analysis of variance (ANOVA) was performed, according to a completely randomized design and comparison of data by using a Tukey test with a significance level of 0.05. A regression analysis was used to determine the correlation between the C/N and the variables biological efficiency and protein content.

RESULTS AND DISCUSSION

Design of mixtures of substrates based on the carbon nitrogen ratio

Six mixtures (table 2) were designed using the Mixtures of Agricultural Waste for Mushroom Cultivation *P. ostreatus* program (11), each consisting of three residues.

The mixtures were very similar in the carbon content, the variation in this variable among the six mixtures was only 10.98%, based on the highest value, while the N% varied in 64.29%, which caused a C/N ratio, which ranged from 33.21 to 104.63 with 68.26% variation among the lowest of this variable and higher value.

Chang y Miles (2009), recommend a C/N ratio of 32-150 as the most appropriate for the production of *Pleurotus spp.*

Ruilova (2015) found best results in a C/N range of 37 to 53 using the strain 768/12. All mixtures are rich in carbon with a range of variation of less than 11%.

The manipulated variable was nitrogen in a range from 0.5 to 1.4, by mixing different proportions of residues or by using soy meal as a supplement from 0 to 6%, to adjust the ration of nitrogen to carbon.

Table 2. Mixtures designed for growing the *P. Ostreatus* mushroom.

Tabla 2. Mezclas diseñadas para el crecimiento del hongo *P. ostreatus*.

Mixture	Residues composing the mixture (%)								Indicators for standardization		
	CS	RH	BS	RL	WS	BS	FS	CC	C (%)	N (%)	C/N
M1	40	20	0	0	38	0	0	2	52.22	0.5	104.63
M2	0	0	0	30	40	28	0	2	50.75	0.7	72.40
M3	30	20	0	48	0	0	0	2	50.72	0.9	57.81
M4	0	15	0	40	0	40	3	2	47.95	1.0	47.99
M5	0	16	38	0	0	40	4	2	46.46	1.2	38.72
M6	0	17	0	53	22	0	6	2	46.49	1.4	33.21

CS (corn stover), RH (rice husk), BS (Barley straw), SL (stover Lentil), WS (wheat straw), BS (bagasse sugarcane), FS (flour soy), CC (calcium carbonate), C (carbon), N (nitrogen) and C/N carbon nitrogen ratio.

CS (rastrojo de maíz), RH (casquilla de arroz), BS (Paja de cebada), SL (rastrojo de lenteja), WS (paja de trigo), BS (bagazo de caña de azúcar), FS (harina de soya), CC (carbonato de calcio), C (carbono), N (nitrógeno) y C/N (relación carbono nitrógeno).

Table 3 shows the behavior of the different components in each mixture. According to the results obtained by various authors (15, 28), the mushroom *Pleurotus* has been cultivated successfully in barley straw, corn stubble, sugar cane bagasse and soybean stubbles, all containing cellulose between 39 and 45%, hemicellulose 16-22% of lignin and 11 to 16%, so these components in the mixtures are in the ranges reported in the literature.

Table 4 (page 338), shows the mineral content in the mixtures. As shown, potassium exhibits the highest variation (0.41 to 1.20%), calcium ranged from 0.12 to 0.22%, phosphorus from 0.04 to 0.48% and magnesium between (06-.16%). Ruilova *et al.* (23) obtained positive results in the ranges of concentrations of these elements in the cultivation of *Pleurotus*.

Among the group of minor minerals, the highest value reported was for iron in the mixture 1 while the lowest was reported for copper the values for zinc varied between 9.71 and 36.42 mg/kg. Meanwhile, manganese fluctuated between 82.29 and 104.43 mg/ kg. These micronutrients are required by the mushroom in the indicated ranges, for a better development, and it is possible that they are supplied by the substrate itself (1).

Evaluation of production of the *Pleurotus ostreatus* mushroom

In table 5 (page 338), it is observed for each of the variables response on results

First harvest

The first harvest from all of the treatments was performed between the 25th and 37th days after inoculating of substrates, it could be observed that the shortest time (25 days) was obtained for the M4 (1% N) mixture and the longest time for the mixture M1 (0.5% N). It was inferred that the variation over time of fruiting was due to the lower nitrogen content which resulted in a higher ratio of C/N in these mixtures, the higher the ration of C/N the longer it took to start the harvest, except for the mixture M4. These results are comparable to those obtained by Getahun (2011), who using a commercial strain of *P. ostreatus* reported the appearance of primordia in soybean and corn stubble in a period of time of 21 to 25 days and 41 days for sawdust, which by its low nitrogen content has a high C/N ratio (459.9). Sharma *et al.* (2013) when they worked with mixed wheat and rice straw obtained an average of 22 days.

Table 3. Means values of the composition of agricultural waste.

Tabla 3. Valores medios de la composición de mezclas de desechos agrícolas.

Composition	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Cellulose (%)	43.74 (1.56)	44.51 (1.62)	39.22 (2.06)	44.60 (1.57)	42.41 (1.16)	40.16 (1.18)
Hemicellulose (%)	22.10 (1.24)	18.60 (2.02)	16.71 (1.72)	18.55 (2.02)	18.96 (1.38)	14.81 (1.68)
Lignin (%)	11.39 (1.18)	11.09 (0.88)	14.30 (1.22)	13.83 (1.14)	13.92 (0.98)	15.52 (1.18)

Values () refer to the standard deviation.

Los valores entre () se refieren a la desviación estándar.

Table 4. Means value of mineral content in agricultural residue mixtures.**Tabla 4.** Valores medios del contenido de minerales de mezclas de residuos. agrícolas.

Values () refer to the standard deviation. / Los valores entre () se refieren a la desviación estándar.

Minerals		M1	M2	M3	M4	M5	M6
Potassium	(%)	1.12 (0.02)	1.20 (0.02)	1.06 (0.03)	0.41 (0.02)	1.16 (0.04)	0.74 (0.03)
Calcium	(%)	0.16 (0.02)	0.22 (0.02)	0.22 (0.01)	0.12 (0.01)	0.17 (0.02)	0.19 (0.02)
Phosphorus	(%)	0.04 (0.02)	0.48 (0.03)	0.05 (0.02)	0.04 (0.02)	0.10 (0.03)	0.05 (0.02)
Magnesium	(%)	0.08 (0.02)	0.12 (0.02)	0.16 (0.03)	0.06 (0.02)	0.07 (0.02)	0.13 (0.01)
Iron	(mg/kg)	272.49 (3.46)	272.42 (4.28)	170.87 (3.22)	260.55 (5.34)	270.03 (4.34)	210.91 (5.22)
Zinc	(mg/kg)	13.83 (0.54)	12.88 (0.62)	9.71 (0.48)	6.42 (1.18)	37.74 (3.34)	9.95 (2.14)
Manganese	(mg/kg)	94.53 (1.72)	90.00 (0.66)	104.43 (1.22)	88.94 (0.64)	86.99 (0.86)	82.29 (0.48)
Copper	(mg/kg)	9.16 (0.53)	9.18 (0.57)	7.00 (0.44)	15.53 (0.74)	13.06 (0.36)	7.56 (0.22)

Table 5. Range of days for the first harvest and period of harvesting and mean values fresh weight, biological efficiency, protein content and production rate by mixture.**Tabla 5.** Tiempo en días para la primera cosecha, período de cosecha, valores medios del peso del hongo fresco, eficiencia biológica, contenido de proteína y tasa de producción por mezcla.

Mixture	Humidity	First harvest (days)	Period of harvesting (days)	Weight of the fresh mushroom (g)	Biological efficiency (%)	Protein (%)	Production rate (day ⁻¹)
M1	76.14	34-37	64-77	713.78b (13.41)	149.79b (9.12)	16.51c (0.68)	2.14c (0.046)
M2	74.59	33-36	64-77	768.96b (32.58)	151.31b (6.41)	17.26c (1.70)	2.16c (0.042)
M3	75.37	30-33	62-77	858.57a (26.78)	174.96a (4.22)	25.25b (2.06)	2.50ab (0.06)
M4	75.46	25-28	60-75	869.29a (5.06)	177.37a (2.45)	31.13 a (1.32)	2.64a (0.031)
M5	75.39	31-33	62-76	855.35a (18.09)	173.74a (3.46)	31.26 a (2.37)	2.52ab (0.051)
M6	74.48	32-34	62-77	851.17a (30.45)	165.22ab (8.28)	29.23ab (3.55)	2.36b (0.12)

* Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$). Values () refer to the standard deviation.* Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Los valores entre () se refieren a la desviación estándar.

Weight of the fresh mushroom

The weight in fresh mushrooms obtained in each mixtures were grouped into two statistically different groups. For mixtures M3, M4, M5 and M6 the highest average values achieve were (858.57; 869.29; 855.35; 858.57; 851.17 g respectively), showing a higher average for the M2 mixture and among the remaining three little variations; while for the M1 and M2 mixtures the average values were lower (731.78 and 768.96 g).

The mixtures that allowed to obtain the highest weight for the fresh mushrooms were supplemented with soybean meal (3, 4 and 6%), giving the best value for the ratio C/N of 47.99 with 1% N. Very high nitrogen values cause heating of the substrate in the incubation period, which may have prevented the development of fruiting bodies. Works carried out with other types of substrates have shown similar results (7, 14, 21).

Biological efficiency

When performing the ANOVA test this indicator gave significant differences among the mixtures and by applying the Tukey test the mixtures were grouped into three groups. The highest BE was attained by mixtures M4 (177.37%), M3 (174.96%) and M5 (173.74%) within a range of nitrogen content of 0.9 to 1.2%, using as a supplement nitrogenised soybean meal (0, 3, and 4%) and significantly differ from the M1 (149.79%) and M2 mixtures (151.31%) without supplement, however the results are greater than 100% so it may be considered good. As shown, the tendency to decrease was the same as presented in the variable analyzed before, a result that was expected by the ratio of weight with this indicator.

By subjecting the results of biological efficiency (BE) to a regression analysis a significant dependence on the C/N ratio was found, obtaining equation 3, with a correlation coefficient of 0.9849.

$$EB(\%) = -67.910411 + 12.744959 (C/N) - 0.206126 (C/N)^2 + 0.009957 (C/N)^3 \quad (3)$$

As shown in figure 1 (page 340), there is an area in the C/N ratio where BE became higher in the range from 38 to 58, which coincides with the M3, M4 and M5 mixtures. There is no significant effect of addition of nitrogen supplement to modify the C/N, on the BE in the mixture, since the C/N ratio 47.99 (M4) gave the highest BE with only 1, 36% above the best value obtained for a mixture no supplemented.

The BE decreases 15.5% on the mixture with the highest C/N ratio, without supplementation with soy flour.

The results of BE obtained in this study are higher than those reported by Sharma *et al.* (2013), who by studying several residues found that most biological efficiency (95.46%) corresponded to higher nitrogen content and less for lower nitrogen (66%). Upadhyay *et al.* (2002) for *P. ostreatus* obtained the highest BE (73.2 and 83.2%) when they used wheat straw with the addition of 5% and 10% of soybean meal.

Protein content

The analysis of variance done to this variable (table 5, page 338) showed significant differences between the mixtures and by applying the Tukey test between the average values four groups were formed. By subjecting these results to a multiple regression analysis using as variables in mixtures the nitrogen content and nitrogen to carbon ratio resulted that the carbon nitrogen ratio was the most significant variable.

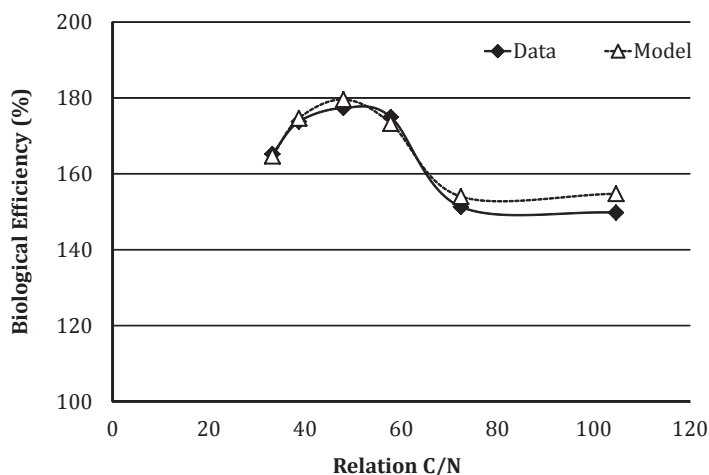


Figure 1. Biological efficiency behaviour of the mushroom in C/N ratio in the mixture.

Figura 1. Comportamiento de la eficiencia biológica en el hongo con respecto a la relación carbono nitrógeno en la mezcla de sustrato.

Equation 4 (*) it was obtained to express the protein content (P) depending on the C / N, with a correlation coefficient of 0.9946.

Figure 2 (page 341), shows that the protein content increased as the nitrogen content increased in the mixtures, the highest value (31.26%) was for M5 (1.2% nitrogen) with 4% soybean meal, without significant difference from the M4.

For M1 and M2 mixtures with higher C/N ratio and thus the N content lower (0.5 and 0.7%) manifesting a clear tendency to a decrease in protein content, evidencing that there is a wide range in the carbon nitrogen ratio (38 to 48) where the protein content of mushroom was maximum, which coincides with the M4 and M5 mixtures.

In general, these results are consistent with those reported by Sharma *et al.* (2013) who noted that the C/N ratio significantly influences the values obtained from the chemical composition of the fungus *P. ostreatus*.

Getahun (2011) reported the highest value of protein (28.9%) for oyster mushroom when used soybean stover (C/N 62.35), a value that is higher than optimal found in this investigation.

The C/N ratio of the substrate is critical to the initial development of the fungus, given the value of carbon for the formation of new cells; a low ratio C/N in the substrate will influence negatively during mycelial growth stage (11, 13, 25).

$$* P(\%) = -39.940407 + 4.05112701 (C/N) - 0.071028 (C/N)^2 + 0.000358 (C/N)^3 \quad (4)$$

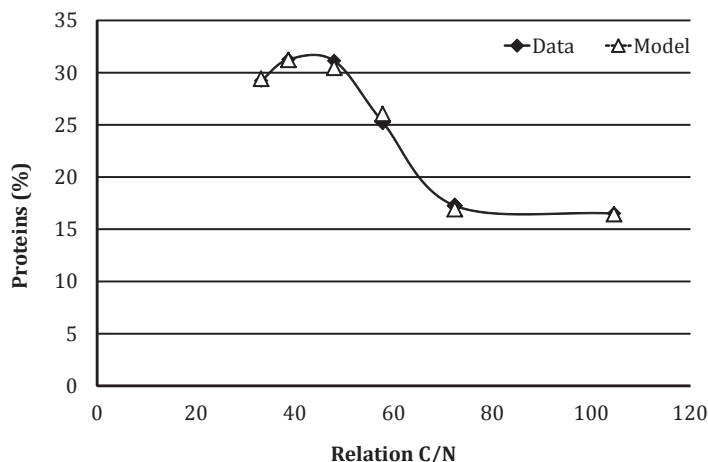


Figure 2. Fungus protein content in relation to the carbon nitrogen ratio in the mixture.

Figura 2. Contenido de proteína en el hongo con respecto a la relación carbono nitrógeno en la mezcla.

Production rate

The evaluation of the production rate is the indicator that reflects in a better way the performance of mushroom production, since it includes the time from inoculation to the last day of harvest. Assuming that the shorter period of time, production costs also will be lower as well as the risks of contamination.

The mixture M4 was higher and statistically different from the other mixtures. The production rate obtained (2.14 to 2.64%) indicates that the production of mushrooms in mixtures used was obtained in less time than recorded by Pérez-Merlo and Mata (2005), when they worked with different strains, with which they obtained a production rate of between 1.53% and 2.46% with barley straw and between 0.68 and 1.13% with pine shavings.

When working with standardized mixtures of lignocellulosic residues in the C/N ratio to grow the fungus *Pleurotus* it was found that it is possible the addition of soy flour to up to 6% to supply nitrogen in poor substrates in this element, higher values of addition mycelial growth can difficult the grow possibly due to an increase in the substrate temperature by more accelerated metabolic activities.

So when poor substrates are used in nitrogen and is necessary to add soybean meal or any other nitrogen supplement (bran cereal, etc.), it is essential that the C/N ratio is considered as an important factor for optimal development of the fungus oyster (20).

CONCLUSIONS

The results achieved during this research while working with lignocellulosic substrates constitute by a mixtures of waste in order mushroom growing *P. ostreatus*, confirmed a high dependency with the C/N relation, with a peak area for biological efficiency within the range of 38 to 58% of C/N ratio, with a Correlation of 98.49% and a maximum area between 38 and 48 C/N ratio for the protein, with a 99.46% correlation.

The use of soybean meal as nitrogen supplement allowed the adjustment of the nitrogen content in the mixture and therefore the balance in the C/N ratio. In

this case, the best results were obtained with the addition of soybean meal 3%.

It was found that by using the mixture of 15% of rice husks, 40% lentil stubble, 40% sugarcane bagasse, supplemented with 3% soybean meal and 2% of calcium carbonate, which translated 1% of the N and C/N ratio of 47.99 gave the best results for the variables: time of the first harvest (25-28 days), harvest period (60-75 days), weight from fresh fungus (869.29 g), biological efficiency (177.37%), protein content (31.13%) and production rate (2.64 days⁻¹).

REFERENCES

1. Anonymus. 2008. Model on oyster mushroom cultivation. International Journal of Life Sciences. Africa. 2(6): 211-217.
2. AOAC. 2005. 18th ed. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists.
3. Apáez Barrios, P.; Escalante Estrada, J. A. S.; Sosa Montes, E.; Apáez Barrios, M.; Rodríguez González, M. T.; Raya Montañó, Y. A. 2016. Producción y calidad nutricional de vaina del frijol chino, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, en función de arreglo topológico y tipo de fertilización. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 48(2): 31-42.
4. Bomfim, P.; Suilherme, J.; Alves, E.; Miranda, R.; Furlan, A.; Wisbeck, E. 2014. The production of *Pleurotus sajor-caju* in peach palm leaves (*Bactris gasipaes*) and evaluation of its use to enrich wheat flour. Rev. Food Science and Technology. 34(2): 267-274.
5. Chang, S.; Miles, P. 2009. 2nd ed. *Mushrooms* Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect and Environmental Impact. Washington. 477 p.
6. Chegwin, C.; Ivonne, J.; Nieto, R. 2013. Influencia del medio de cultivo en la producción de metabolitos secundarios del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* cultivado por fermentación en estado líquido empleando harinas de cereales como fuente de carbono. Rev. Mexicana de Micología. 37: 1-9.
7. Cunha, D.; Savoie, J.; Pardo, A. 2011. Soybean the main nitrogen source in cultivation substrates of edible and medicinal mushrooms. Shanghai, China. 430-453.
8. Curvetto, N.; Figlas, D.; Devalis, R.; Delmastro, S. 2002. Growth and productivity of different *Pleurotus ostreatus* strains on sunflower seed hulls supplemented with N-NH₄⁺ and/or Mn (II). Rev Bioresource Technology. 84: 171-176.
9. Delgado Martínez, R.; Escalante Estrada, J. A. S.; Morales Rosales, E. J.; López Santillan, J. A.; Rocandio Rodríguez, M. 2015. Producción y rentabilidad del frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) asociado a maíz en función de la densidad y el nitrógeno en clima templado. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(2): 15-25.
10. De Souza, L.; Porto, A.; Simas, M.; De Macedo, M. 2016; Production of mycelial biomass by the Amazonian edible mushroom *Pleurotus albidus*. Rev Brazilian Journal of Microbiology. In press.

11. Fernández, F.; Ruilova, M.; Hernández, A. 2014. Programa para el diseño de mezclas de residuos agrícolas para el cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus*. Rev Tecnología Química. 34(2): 128-136.
12. Forero, C.; Hoyos, O.; Bazante, W. 2008. Evaluación de residuos de ají (*Capsicum spp.*) como sustrato en la producción de setas comestibles (*Pleurotus ostreatus*). Facultad de Ciencias Agropecuarias. 6(1): 40-53.
13. Gaitán-Hernández, R.; Salmones, D.; Pérez, R Y.; Mata, G. 2009. Evaluación de la eficiencia biológica de cepa de *Pleurotus pulmonarius* en paja de cebada fermentada. Rev. Mex. Mic. 30: 63-71.
14. Gea F. 2011. Cultivo de setas *Pleurotus*. Instituto de Ecología, México. 431-452.
15. Getahun, A. 2011. Successful Oyster (*Pleurotus ostreatus*) Mushroom cultivation substrates performance, yield, quality and efficiency of mushroom production. Publisher: VDM Verlag Dr. Muller GMBH & Co. KG. USA.
16. Grilli, D.; Egea, V.; Paez Lama, S.; Carcaño, D.; Allegretti, L.; Sosa Escudero, M.; Arenas, G. N. 2015. Degradación y utilización de la hemicelulosa contenida en especies forrajeras por *Pseudobutyrvibrio ruminis* y *Pseudobutyrvibrio xylanivorans*. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(2): 231-243.
17. Gutiérrez-Rojas, I.; Moreno-Sarmiento, N.; Montoya, D. 2014. Mecanismos y regulación de la hidrólisis enzimática de celulosa en hongos filamentosos: casos clásicos y nuevos modelos. Rev Iberoamericana de Micología. 32(1): 1-12.
18. Guzmán, G.; Mata, G.; Salmones, D. 2008. 2^{ed}. El cultivo de los hongos comestibles. Xalapa. México. 56 p.
19. Jaramillo, S.; Albertó, E. 2013. Heat treatment of wheat straw by immersion in hot water decreases mushroom yield in *Pleurotus ostreatus*. Rev Iberoamericana de Micología. 30 (2): 125-129.
20. Kang, W. 2004. Introduction to oyster mushroom, mushrooms growers handbook, mush world, Korean.
21. Muez, M.; Pardo, J. 2008; La preparación del sustrato. En: Sánchez, J.; Royse, D. (eds). La biología y el cultivo de *Pleurotus Spp.* Limusa. México.
22. Nakatsuka, H.; Oda, M.; Hayashi, Y.; Tamura, K. 2016. Effects of fresh spent mushroom substrate of *Pleurotus ostreatus* on soil micromorphology in Brazil. Rev Geoderma. 54-60.
23. Pérez-Merlo, R.; Mata, G. 2005. Cultivo y selección de cepas de *Pleurotus ostreatus* y *P. pulmonarius* en viruta de pino: obtención de nuevas cepas y evaluación de su producción. Revista Mexicana de Micología. 20: 53-59.
24. Romero, O.; Huerta, M.; Damián, M.; Macías, A.; Tapia, A.; Parraguirre, J.; Juárez, J. 2010. Evaluación de la capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus* con el uso de hoja de plátano (*Musa paradisiaca* L.; CV. Roatan) deshidratada, en relación con otros sustratos agrícolas. Rev Agronomía Costarricense, Colegio de Postgraduados, Puebla, México. 34(1): 53-63.
25. Ruilova, M. 2015. Evaluación de mezclas de residuos lignocelulósicos estandarizadas para el cultivo de *Pleurotus ostreatus* y su empleo en un producto cárnico saludable. Tesis doctoral, Universidad de La Habana, Cuba.
26. Ruilova, M.; Hernández, A. 2014. Evaluación de residuos agrícolas para la producción del hongo *Pleurotus ostreatus*. Rev ICIDCA, La Habana, Cuba. 48(1): 54-59.
27. Saavedra, M. 2007. Biodegradación de alperujo utilizando hongos del género *Pleurotus* y anélidos de la especie *Eisenia foetina*. Tesis doctoral. Universidad de Granada. Instituto de Biotecnología. Granada. México.
28. Sánchez, A.; Royse, B. 2002. La biología y el cultivo de *Pleurotus spp.* Editorial Limusa S. A. México. 288 p.
29. Sánchez, J.; Mata, G. 2012. Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica, Limusa, México. 145-154.

30. Saucedo Castillo, O.; de Mello Prado, R.; Castellanos González, L.; Ely, N.; Silva Campos, C. N.; Pereira Da Silva, G.; Assis, L. C. 2015. Efecto de la fertilización fosfatada con cachaza sobre la actividad microbiana del suelo y la absorción de fósforo en caña de azúcar (*Saccharum* spp.). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(1): 33-42.
31. Sharma, S.; Kailash, R.; Pokhrel, CH. 2013. Growth and yield of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on different substrates. Rev Journal on New Biological Reports. 2(1): 03-08.
32. Silva, E.; Días, E.; Siqueira, F.; Schwan, R. 2007. Análise química de corpos de frutificação de *Pleurotus sajor-caju* cultivado em diferentes concentrações de nitrogênio. Rev Ciencia e Tec. dos Alim. 27(1): 72-75.
33. Siqueira, F.; Maciel, W.; Martos, E.; Duarte, G.; Miller, R.; DA Silva, R.; Dias, E. 2012. Cultivation of *Pleurotus* mushrooms in substrates obtained by short composting and steam pasteurization. Rev Journal of Biotechnology. 11(53): 11630-11635.
34. Upadhyay, R.; Verma, R.; Singh, S.; Yadav, M. 2002. Effect of Organic nitrogen supplementation in *Pleurotus* species. India. Sanchez *et al.* (Eds). UAEM. 228-232.
35. Van Soest, P. 1967. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for determination of fiber and lignin. J. Assn. Offic. Anal. Chem. 355.
36. Wakley, A.; Black, I. 1996. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.
37. Zied, D.; Savoie, A. ; Pardo-Giménez. 2011. Soybean the main nitrogen source in cultivation substrates of edible and medicinal mushrooms. Soybean and nutrition. In Tech Europe. 307-317.

Nutritional and fermentative quality of maralfalfa (*Pennisetum* sp.) silages at different cutting ages and ground corn levels

Calidad fermentativa y nutricional de ensilados de maralfalfa (*Pennisetum* sp.) a diferentes edades de corte y niveles de maíz molido

Faviola Ortiz Robledo ¹, Osvaldo Reyes Estrada ¹, Francisco Oscar Carrete Carreón ¹, Juan Fernando Sánchez Arroyo ¹, Esperanza Herrera Torres ¹, Manuel Murillo Ortiz ¹, Rigoberto Rosales Serna ²

Originales: *Recepción:* 03/05/2016 - *Aceptación:* 11/04/2017

Nota científica

ABSTRACT

Effect of cutting age and level of ground corn grain inclusion were determined on nutritional and fermentative quality of maralfalfa silages (*Pennisetum* sp). Two cutting ages 48 and 60 (Days After Regrowth) and five levels of ground corn (0, 5, 10, 15 and 20%) were evaluated on pH, ammoniacal nitrogen (N-NH₃), dry matter (DM), ash, crude protein (CP), ether extract (EE), hemicellulose, and cellulose; as well as *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD). The data obtained were analyzed under a completely randomized design with factorial arrangement (2x5, two cutting ages and five corn levels). In maralfalfa silage 48 DAR and 5% ground corn was obtained highest content of crude protein (12.2%; P ≤ 0.05), and was decreased the level ammoniacal nitrogen (0.06%; P ≤ 0.05), also was observed in maralfalfa silages 60 DAR that addition ground corn increased digestibility and decreased cellulose content. The addition of ground corn to silages improved nutritional and fermentative characteristics and reduced pH, and ammoniacal nitrogen in maralfalfa silages, which improved the conservation, quality and digestibility. Results indicate that the production of maralfalfa silage more the addition of ground corn can improve protein content and digestibility, becoming in an option to incorporate into feeding of livestock.

Keywords

Maralfalfa • silage • crude protein • digestibility

1 Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Juárez de Estado de Durango, carretera Durango-Mezquital Km 11.5, Durango, Dgo. México. C.P. 34320. reyesosvaldo@hotmail.com

2 Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

RESUMEN

Se determinó el efecto de la edad de corte y el nivel de maíz molido en la calidad fermentativa y nutricional de ensilados de maralfalfa (*Pennisetum sp.*). Dos edades de corte, 48 y 60 días después del rebrote (DDR) y cinco niveles de maíz molido (0, 5, 10, 15 y 20%) fueron evaluados en pH, nitrógeno amoniacal (N-NH₃), materia seca (MS), cenizas, proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), hemicelulosa y celulosa; como también digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS). Los datos obtenidos fueron analizados bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial (2x5, dos edades de corte y 5 niveles de maíz). En el ensilado de maralfalfa a 48 DDR y 5 % de maíz molido se obtuvo el más alto contenido de proteína cruda (12.2 %; $P \leq 0.05$) y se disminuyó el nivel de nitrógeno amoniacal (0.06 %; $P \leq 0.05$), mientras que el ensilado de maralfalfa 60 DDR and 0 % de maíz molido tuvo más alto contenido de cenizas (18.3 %; $P \leq 0.05$), también se observó en los ensilados de maralfalfa a 60 DDR que la adición de maíz molido incrementó la digestibilidad y disminuyó el contenido de celulosa. La adición de maíz molido a los ensilados mejoró las características fermentativas y nutricionales y redujo el pH y nitrógeno amoniacal en ensilados de maralfalfa, lo cual mejoró la conservación, calidad y digestibilidad. Los resultados indican que la producción de ensilado de maralfalfa más la adición de maíz molido pueden incrementar el contenido de proteína y digestibilidad, convirtiéndose en una opción para incorporar dentro de la alimentación del ganado.

Palabras clave

Maralfalfa • ensilado • proteína cruda • digestibilidad

INTRODUCTION

Livestock in the north of Mexico is one of the most important economic activities due to livestock inventory and economic spill-over that it generates, the main species exploited in extensive systems are ruminants (24).

The most practical and economical way to feed cattle herds during all the year is grazing of native pastureland (3, 21). However, the quality and quantity of forage available depends on environmental conditions and management, therefore, cattle generally have an adequate diet for short periods of time (4). This has resulted in a decline in livestock productivity (11).

An alternative for ruminant feeding when there is shortages of forage due to the dry season, may be the use of silage.

Maralfalfa (*Pennisetum sp.*) is a grass that is usually supplied fresh (11), which has a high biomass production and an acceptable protein content (5). It has been shown that maralfalfa is an option for forage production in the semiarid region of Mexico, provided that there is availability of irrigation (14).

Silage is a method for preserving fodder for feeding of ruminant mainly during periods of shortage during the year (11). Through this process the silage material preserves its nutrients, maintaining a good palatability to livestock (20). Production of maralfalfa silage increases the availability of livestock feed, reducing the deficit observed in the dry season, as well as production costs of herds. An important

variable to consider in the ensiling process is the moisture content to be carried out a favorable fermentation (13).

Nowadays, conservation methods are required that affect in the least nutritional and organoleptic properties and even improve them. Previous studies have shown that the inclusion of the additives to maralfalfa silage improved nutritional properties silage (15, 26, 27). A limited number of studies have been performed with respect to the effect of additives and cutting age on the nutritional composition of maralfalfa silage.

Therefore, the objective of this study was to determine the effect of cutting age and the addition of different levels of corn on nutritional and fermentative quality of maralfalfa silage.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was performed at the Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Juárez del Estado de Durango, located at 11.5 Km of the Durango-Mezquital highway, Durango, México. The site is located at coordinates 23°57' N latitude and 104°34' W longitude, altitude 1876 meters.

The climate of the region is temperate semi-arid with rainfall in summer; strong temperature variation [BS1 kw (w) (e)], an average annual temperature of 17.4°C (9) and the annual rainfall reaches 450 mm (16).

Experimental field where was planted maralfalfa in June 2014, covers an area of 5,499 m². In 2015 the crop (July 31) was fertilized with urea (46-00-00) at the rate of 60 kg ha⁻¹ and then irrigation to incorporate the fertilizer. On August 13, 2015 a cut was made to standardize the phenology of maralfalfa plants before starting the study of forage production. Seven days after cutting (regrowth) was

performed a nitrogen fertilization with urea at a dose of 80 kg ha⁻¹ and fertilizer was incorporated by irrigation. Subsequently, irrigations were applied every 15 days until the end of the experiment, in order to keep the soil above the 80% moisture and thereby avoid water stress in plants. Maralfalfa plants were cut at 48 and 60 days after regrowth (DAR), forage was allowed to dry in the sun for 48 h and then was chopped into small pieces.

The chopped forage was mixed with different proportions of ground corn grain (white, commercially obtained) for following treatments: T1 (maralfalfa 48 days + 0% ground corn), T2 (maralfalfa 48 days + 5% ground corn), T3 (maralfalfa 48 days + 10% ground corn), T4 (maralfalfa 48 days + 15% ground corn), T5 (maralfalfa 48 days + 20% ground corn), T6 (maralfalfa 60 days + 0% ground corn), T7 (maralfalfa 60 days + 5% ground corn), T8 (maralfalfa 60 days + 10% ground corn), T9 (maralfalfa 60 days + 15% ground corn) and T10 (maralfalfa 60 days + 20% ground corn). The experimental unit was a minisilo, with three replicates for each treatment included in the study.

The minisilo consisted of a rigid polyethylene container with 19 L capacity and covered inside with black polyethylene bag. In each container, forage was compacted manually, the bags were closed with an elastic band and the container capped.

Silages were stored at room temperature for a period of 36 days. Silos were opened to obtain samples of each treatment. The samples obtained were dried in a forced air oven at 55°C for 48 h, ground through 1mm screen, stored inside white polyethylene bottles; they were identified and stored at room temperature until analysis. The samples were analyzed for crude protein (CP), ether extract (EE), ash, and dry matter (DM), according to the methods described by the AOAC (2).

Proportions of neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and lignin (L) were estimated by the method of Van Soest *et al.* (1991) and from them were determined by difference cellulose (Cellulose = ADF - L) and hemicellulose (Hemicellulose = NDF - ADF) (21). The pH was measured according to the method described by Mier-Quiroz (2009) and the ammoniacal nitrogen (NH₃-N) evaluated by the method of Galyean (1980). In vitro dry matter digestibility (IVDMD) it was determined according to ANKOM method, including the use of equipment Daisy II Incubator (1).

The data obtained were subjected to an analysis of variance under an experimental design completely randomized with factorial arrangement (2 x 5), in which was worked with two cutting ages (48 and 60 DAR) and five levels of ground corn (0, 5, 10, 15 and 20%). For means comparison was employed Tukey test ($P \geq 0.05$) using the statistical package SAS View 9.0 (23).

RESULTS AND DISCUSSION

CP content in maralfalfa silage was different ($P \leq 0.05$) between cutting ages and levels of corn (table 1). T2 had the highest value of CP (12.2%), which corresponds to maralfalfa forage at 48 days and 5% ground corn in contrast to T6 and T7 showed the lowest values (6.7%).

The highest average of protein was recorded in the first cutting age (8.5%), while the lowest value was presented at the second cutting age (6.9%), this behavior can be explained to progress in phenology of forage (6). Similar results are reported, where the protein content in maralfalfa silage to the cutting age of 70 days, gave a value of 6.2% (11). This process allowed the production of a food that can be used as ruminants feedstuff (17).

Table 1. Nutritional content of maralfalfa silages elaborated with forage obtained at two cutting ages and different levels of ground corn grain.

Tabla 1. Contenido nutricional de ensilados de maralfalfa elaborados con forraje obtenido a dos edades de corte y diferentes niveles de grano de maíz molido.

¹ Trat	CP (%)	EE (%)	DM%	Ash (%)	Hcellulose (%)	Cellulose (%)
T1	7.3 ± 0.37 ² c	1.5 ± 0.26 e	20.4 ± 1.11 e	17.3 ± 0.15 b	27.6 ± 0.64 b	33.9 ± 0.09 a
T2	12.2 ± 0.23 a	2.9 ± 0.06 b	25.5 ± 1.75 bcde	13.1 ± 0.13 e	23.6 ± 0.73 c	26.7 ± 1.29 b
T3	8.5 ± 0.35 b	3.5 ± 0.02 a	30.2 ± 1.20 abc	9.7 ± 0.14 hg	22.8 ± 0.70 c	18.4 ± 1.68 c
T4	7.3 ± 0.35 c	2.8 ± 0.01 bc	32.1 ± 3.28 ab	10.2 ± 0.56 fg	28.7 ± 2.40 b	19.6 ± 0.16 c
T5	7.3 ± 0.29 c	2.4 ± 0.16 cd	36.1 ± 3.73 a	11.0 ± 0.14 f	34.9 ± 2.23 a	19.9 ± 0.46 c
	8.5	2.6	28.9	12.3	27.5	23.7
T6	6.7 ± 0.40 c	1.2 ± 0.03 e	21.5 ± 1.26 de	18.3 ± 0.28 a	27.3 ± 0.22 b	35.3 ± 0.45 a
T7	6.7 ± 0.31 c	1.5 ± 0.07 e	24.2 ± 0.87 cde	15.3 ± 0.45 c	29.3 ± 0.55 b	29.8 ± 0.17 b
T8	7.2 ± 0.15 c	2.1 ± 0.15 d	27.0 ± 1.54 bcd	14.2 ± 0.03 d	30.7 ± 0.59 b	29.0 ± 0.11 b
T9	6.9 ± 0.26 c	2.5 ± 0.02 c	34.2 ± 3.50 a	9.0 ± 0.50 h	36.2 ± 0.87 a	22.4 ± 0.95 c
T10	7.2 ± 0.10 c	2.7 ± 0.14 bc	26.6 ± 2.20 bcde	7.0 ± 0.06 i	28.6 ± 0.15 b	12.5 ± 0.06 d
	6.9	2.0	26.7	12.8	30.4	25.8

¹Trat = treatment, CP = crude protein, EE = ether extract, DM = dry matter, Hcellulose = hemicellulose; ²standard error of the mean. ^{a-h}Different letters within a column indicate significant differences ($P \leq 0.05$).

¹Trat = tratamiento, PC = proteína cruda, EE = extracto etéreo, MS = materia seca, Hcelulosa = hemicelulosa; ²Error estándar de la media. ^{a-h}Letras diferentes dentro de una columna indican diferencias significativas ($P \leq 0, 05$).

EE content in maralfalfa silage had significant differences ($P \leq 0.05$) between cutting ages and levels of addition of ground corn. The highest average value of EE was observed in the first cut (2.6%) and on this cut excelled the T3 that included cut forage at 48 DAR with 10% ground corn (3.5%) (table 1, page 348). The EE increased as increased corn content in silages which were elaborated with the forage obtained 60 DAR. Maza *et al.* (2011) reported a lower content of EE in silage at 100% maralfalfa and 60 DAR (2.2%), they also noted that increasing the proportion of cassava in the maralfalfa silage decreased values of EE. Guerra *et al.* (2015) also worked with maralfalfa silage at 100% and 70 DAR, and reported a value of 2.0% of EE, which is within the values observed in the present study with forage obtained 48 and 60 DAR. Corn grain increased the proportion of EE in maralfalfa silage and was observed a constant increase with forage obtained at 60 DAR. This increase is due to the ground corn grain provides EE content (3.5%) higher than maralfalfa at 60 DAR (1.7%).

DM content showed significant differences ($P \leq 0.05$) between the cutting ages and addition level of ground corn grain (table 1, page 348). Highest values of DM in silages were observed in treatments T5 (36.1%) and T9 (34.2%). In silages of both cuts DM content increased ($P \leq 0.05$) when increased the proportion of ground corn, except in the treatment T10 (26.6% of DM).

The increase in DM was possibly caused by the low moisture content of the corn, reducing the moisture content of silage, favoring optimum fermentation of forage. Maza *et al.* (2011) referred that the high moisture content of the forage, greater than 70%, causes pollution problems and loss of quality of the silage due to microbial activity (*Clostridium* sp.), and showed that the increase in the proportion of the

additive had a positive influence in the proportion of DM, which favored the elaboration of higher quality silages.

Ash showed significant differences ($P \leq 0.05$) between cutting ages and levels of addition of corn (table 1, page 348), which obtained the highest value, in T6 (18.3%). It was observed to decrease when increased the amount of ground corn grain, which was related with the mineral content of maralfalfa. A slight increase was also observed in the ash content when increased the number of days after the regrowth, possibly because of the phenological stage of the crop. These results coincide with those reported by Ramirez and Pérez (2006) with maralfalfa, in which were observed an increase in the ash between cutting ages, with values of 9.4% for 45 DAR and 11.8% for 60 DAR.

In the case of hemicellulose and cellulose, significant differences ($P \leq 0.05$) were observed between cuts and levels of ground corn (table 1, page 348). The highest values of hemicellulose were observed in silages with forage at 60 DAR, which showed a constant increase of this compound in maralfalfa due to increase cell wall during its development (6).

The T5 and T9 treatments showed the highest values of hemicellulose (34.9 and 36.2%, respectively). Early cutting dates in combination with low concentrations of corn had the lowest content of hemicellulose. The results presented by Vargas *et al.* (2014) were similar to observed in the present study. Higher average value of cellulose was presented at the second cut (25.8%). The increase in the proportion of corn in silage reduced levels of cellulose, which was more patent in the forage of second cut (60 DAR) where values decreased from 35.3% (T6 = 100% maralfalfa) until to reach 12.5% in the T10 treatment (80 % maralfalfa + 20% ground corn grain).

In both cuts the cellulose content decreased according to the increase of level of ground corn grain, for what was shown that the additive has a dilution effect of this compound.

The fermentation quality variables showed significant differences ($P \leq 0.05$) between cutting ages and levels of ground corn grain (table 2). The lowest average pH was presented at the first cutting age (4.4); while the second cut increased slightly (4.5) due to progress in the growth and development of the maralfalfa.

The addition of corn grain favored reducing the pH, especially in the forage harvested at 60 DAR. This was related to the contribution of soluble carbohydrates of corn favored a rapid lactic fermentation and reduced pH to safe levels (4 to 4.5) (28). So this decreased probability of microbial growth (*Clostridium spp.*) and protein degradation, as in the case of legumes silages that have high moisture content (28). In the present study was observed that the low pH values favored forage preservation (15) because of the samples no were observed putrescence or unpleasant odor in any of the silages. The level of ammoniacal nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$)

was lower in silages made with forage at 48 DAR (0.08%, average value) than those obtained 60 DAR (0.21%, average value). The results showed that the addition of corn to the maralfalfa silage reduced the formation of ammoniacal nitrogen, because the soluble carbohydrates in corn grain accelerated fermentation and prevented the degradation of the protein (28). The results are consistent with the work done by Vargas *et al.* (2014), in which was obtained values between 1.2 and 0.70% and was demonstrated that addition sugar cane vinasse reduced levels of ammoniacal nitrogen. It has been established that silage with ammoniacal nitrogen percentages below 7.0% can be considered excellent quality (7), because is avoided the proteolysis and undesirable fermentations (12).

IVDMD showed significant differences ($P \leq 0.05$) between cutting ages and levels of addition of corn (table 3, page 351). The highest average value was obtained in the first cutting age (78.5%) due to lower degree of lignification of maralfalfa stems at that age, also combined with the addition of ground corn (which provided soluble carbohydrates), favored forage digestibility (6).

¹ Trat	pH	$\text{NH}_3\text{-N/ total N \%}$
T1	4.5 ± 0.05 ² bcd	0.08 ± 0.009 d**
T2	4.4 ± 0.03 bc	0.06 ± 0.002 d
T3	4.3 ± 0.02 bcd	0.08 ± 0.004 d
T4	4.3 ± 0.02 cd	0.08 ± 0.011 d
T5	4.5 ± 0.09 bc	0.09 ± 0.011 d
	4.4	0.08
T6	4.7 ± 0.01 a	0.34 ± 0.03 a
T7	4.4 ± 0.05 bcd	0.19 ± 0.020 bc
T8	4.6 ± 0.03 ab	0.18 ± 0.009 c
T9	4.3 ± 0.04 cd	0.09 ± 0.011 d
T10	4.3 ± 0.05 d	0.23 ± 0.009 b
	4.5	0.21

Table 2. Fermentative parameters of maralfalfa silages at different cutting ages and levels of ground corn grain.

Tabla 2. Parámetros fermentativos de ensilados de maralfalfa a diferentes edades de corte y niveles de grano de maíz molido.

¹Trat = treatment; ²standard error of the mean.

^{a-d}Different letters within a column indicate significant differences ($P \leq 0.05$).

¹Trat = tratamiento; ²Error estándar de la media.

^{a-d}Letras diferentes dentro de una columna indican diferencias significativas ($P \leq 0, 05$).

¹ Treat	IVDMD (%)
T1	70.8 ± 0.11 ² ef
T2	75.4 ± 1.36 cde
T3	80.0 ± 0.08 abc
T4	84.7 ± 2.23 a
T5	81.5 ± 4.91 ab
	78.5
T6	69.9 ± 0.09 f
T7	73.1 ± 1.26 def
T8	74.8 ± 0.11 def
T9	77.4 ± 0.35 bcd
T10	84.3 ± 0.10 a
	75.9

Table 3. *In vitro* dry matter digestibility of Maralfalfa silages to different cutting ages and level of ground corn grain.

Tabla 3. Digestibilidad *in vitro* de materia seca de ensilados de maralfalfa a diferentes edades de corte y niveles de grano de maíz molido.

¹Trat = treatment, IVDMD = *in vitro* dry matter digestibility; ²standard error of the mean. ^{a-d}Different letters within a column indicate significant differences ($P \leq 0.05$).

¹Trat = tratamiento, DIVMS = Digestibilidad *in vitro* de materia seca; ²Error estándar de la media. ^{a-d}Letras diferentes dentro de una columna indica diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

The highest values of digestibility were observed in silages with higher amount corn grain as T4 (84.7%), T10 (84.3%), T5 (81.5%) and T3 (80.0%) treatments. This showed that the addition of corn increased the digestibility of silages from both cuts. Romney and Gill (2000) mention that forage with digestibility of 65% has good nutritional value.

CONCLUSION

The cutting age influences in the nutritional and fermentative characteristics of *Penisetum* sp. The results obtained in this study indicate that the cut to 48

days after the regrowth had the highest protein content and digestibility, and lower content of ammoniacal nitrogen and pH. Which are indicators of suitable fermentation and therefore conservation of forage.

The addition of ground corn to the maralfalfa silage improved its nutritional and fermentative characteristics and reduced the pH and ammoniacal nitrogen allowing a better forage conservation. The results indicate that silages of maralfalfa with the addition of ground corn are acceptable in protein content and digestibility, becoming in an option to feedcattle herds in Northern Mexico.

REFERENCES

1. ANKOM. 2008. Procedures for fiber and *in vitro* analysis.
2. AOAC. 1990. Association of Official Agricultural Chemist. Official methods of analysis. 15th ed. Washington, D.C. p. 69-88.
3. Calzada-Marín, J. M.; Enríquez-Quiroz, J. F.; Hernández-Garay, A.; Ortega-Jiménez, E.; Mendoza-Pedroza, S. I. 2014. Análisis de crecimiento del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp.) en clima cálido subhúmedo. Rev. Mex. Cienc. Pecu. 5(2): 247-260.
4. Cárdenas-Medina, J. V.; Sandoval-Castro, C. A.; Solorio-Sánchez, J. S. 2003. Composición química de ensilajes mixtos de gramíneas y especies arbóreas de Yucatán, México. Téc. Pecu. Méx. 41(3):283-294.

5. Citalán-Cifuentes, L.; Domínguez-Coutiño, B.; Orantes-Zebadúa, M. A.; Manzur-Cruz, A.; Sánchez-Muñoz, B.; De los Santos-Lara, M. C.; Ruiz-Rojas, J. L.; Cruz-López, J. L.; Córdova-Avalos, V.; Ramos-Juárez, J. A.; Nahed-Toral, J. 2012. Evaluación nutricional de maralfalfa (*Pennisetum spp*) en las diferentes etapas de crecimiento en el rancho San Daniel, municipio de Chiapas de Corzo, Chiapas. *Quehacer científico en Chiapas*. 1 (13): 19-23.
6. Clavero, T.; Razz, R. 2009. Valor nutritivo del pasto maralfalfa (*Pennisetum purpureum x Pennisetum glaucum*) en condiciones de defoliación. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 26:78-87.
7. De Haro-Martínez, J. E.; Reboloso-Fuentes, M. M.; García-Barroso, F.; Gull-Guerrero, J. L. 2001. Efecto de distintos tratamientos sobre los principios nutritivos, características fermentativas y digestibilidad *in vitro* de ensilados de subproducto de pimiento. *Archivos de Zootecnia*. 50 (191): 323-333.
8. Galyean M. L. 1980. *Techniques and procedures in animal nutrition research*. New Mexico State University. 124 p.
9. García, M. E. 1987. 4º Ed. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Ed. Instituto de Geografía-UNAM. 217 p.
10. Grilli, D.; Egea, V.; Paez Lama, S.; Carcaño, D.; Allegretti, L.; Sosa Escudero, M.; Arenas, G. N. 2015. Degradación y utilización de la hemicelulosa contenida en especies forrajeras por *Pseudobutyrvibrio ruminis* y *Pseudobutyrvibrio xylanivorans*. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 47(2): 231-243.
11. Guerra-Medina, C. E.; Partida-González, O. O.; Ley-de Coss, A.; Montañez-Valdez, O. D.; Silva-Luna, M.; Cárdenas-Flores, F. J.; García-Castillo, C. G. 2015. Respuesta productiva de becerros pos destete alimentados con ensilados de maíz (*Zea mays L.*) y maralfalfa (*Pennisetum sp. Schum.*). *AgroProductividad*. 8(6): 47-51.
12. Gutierrez, F.; Rojas-Bourrillon, A.; Dormond, H.; Poore, M.; Ching-Jones, R. W. 2003. Características nutricionales y fermentativas de mezclas ensiladas de desechos de piña y avícolas. *Agronomía Costarricense*. 27 (1): 79-89.
13. Hristov, A. N.; Sandev, S. 1998. Proteolysis and rumen degradability of protein in alfalfa preserved as silage, wilted silage or hay. *Animal Feed Science Technology*. 72: 175-181.
14. Jiménez, O. R.; Domínguez, M. P. A.; Rosales, S. R.; Nava, B. C. A.; Carrete, C. F. O. 2014. Rendimiento y calidad del forraje de maralfalfa. 1er. Congreso Internacional de Investigación Agropecuaria y Forestal. Edo. Méx. Méx. 188-195.
15. Maza, A. L.; Vergara, G. O.; Paternina, D. E. 2011. Evaluación química y organoléptica del ensilaje de maralfalfa (*Pennisetum sp.*) más yuca fresca (*Manihot esculenta*). *Rev. MVZ Córdoba*. 16(2): 2528-2537.
16. Medina, G. G.; Díaz, P. G.; López, H. J.; Ruiz, C. J. A.; Marín, S. M. 2005. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Durango (Período 1961-2003). Libro Técnico Núm. 1. SAGARPA-INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Dgo. México. 224 p.
17. Mejía-Haro, J.; Mejía-Haro, I. 2007. Nutrición proteica de bovinos productores de carne en pastoreo. *Acta Universitaria*. 17(2): 45-54.
18. Mier-Quiroz, M. A. 2009. Caracterización del valor nutritivo y estabilidad aeróbica de ensilados en forma de microsilos para maíz forrajero. Tesis de Master en Zootecnia y Gestión Sostenible. Universidad de Córdoba. Córdoba, España: 64 p.
19. Ramírez, Y.; Pérez, J. 2006. Efecto de la edad de corte sobre el rendimiento y composición química del pasto maralfalfa (*Pennisetum sp.*). *Rev. Unell. Cienc. Tec.* 24: 57-62.
20. Rendón-Correa, M. E.; Noguera, R.; Posada-Ochoa, S. L. 2013. Cinética de degradación ruminal del ensilaje de maíz con diferentes niveles de inclusión de vinaza. *Rev. CES Med. Zootec.* 8(2): 42-51.
21. Rojas García, A. R.; Hernández Garay, A.; Ayala, W.; Mendoza Pedroza, S. I.; Cancino, S. J.; Vaquera Huerata, H.; Santiago Ortega, M. A. 2016. Comportamiento productivo de praderas con distintas combinaciones de ovilla (*Dactylis glomerata L.*), ballico perenne (*Lolium perenne L.*) y trébol blanco (*Trifolium repens L.*). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 48(2): 57-68.

22. Romney, D. L.; Gill, M. 2000. Intake of forages. In: Givens, D. I.; Owen, E.; Axford, R. F. E.; Omed, H. M. (Ed.). Forage evaluation in ruminant nutrition. CAB International. 43-60.
23. SAS. 2002. Statistical Analysis System. User's Guide. Institute in Company. Cary, North Carolina.
24. SIAP. 2014. Leche de bovino. Producción, precio y valor 2014. Available in: <http://www.siap.gob.mx/ganaderia-resumen-estatal-pecuario/> (fecha de consulta: 22/04/2016).
25. Van Soest P. J.; Robertson, J. B.; Lewis, B. A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74: 3583-3588.
26. Vargas, S.A.; Noguera, R. R.; Posada, S. L. 2014. Inclusión de vinaza de caña y su efecto sobre el perfil de fermentación y calidad nutricional del ensilaje de pasto maralfalfa (*Pennisetum sp.*). Livestock Research for Rural Development. 26. Artículo #216. Recuperado Abril 23, 2016, de <http://www.lrrd.org/lrrd26/12/varg26216.html>
27. Vargas-Naranjo, S. A.; Rosero-Noguera, R.; Barahona-Rosales, R. 2015. Cinética de la degradabilidad *in vitro* de ensilajes de Maralfalfa (*Pennisetum sp.*) con diferentes niveles de inclusión y concentración de vinaza de caña (*Saccharum officinarum*). Rev. CES Med. Zootec. 10(2): 82-94.
28. WingChing-Jones, R.; Rojas-Bourrillón, A. 2006. Composición nutricional y características fermentativas del ensilaje de maíz forrajero. Agronomía Costarricense. 30 (1): 87-100.

ACKNOWLEDGMENT

We thank to CONACYT for providing a grant to Dr. Faviola Ortiz Robledo to perform her postdoc as well as at Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Juárez del Estado de Durango, México for allowing development of this research.

Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo

Normas para la presentación de artículos

La Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo publica trabajos originales e inéditos, escritos en inglés, cuya temática esté relacionada con la ingeniería agronómica, ciencias de los alimentos y los recursos naturales renovables.

Dichos trabajos pueden ser artículos de investigación, notas científicas y revisiones. Los primeros son el resultado de la investigación científica teórica, experimental o de campo y significan un aporte original al conocimiento; no deben superar las dieciséis páginas.

Las notas científicas, cuya extensión no debe superar las ocho páginas, son trabajos originales y cuyos resultados -aunque parciales- es importante difundir rápidamente. También entran en esta categoría la descripción de nuevas especies y cultivos, plagas, enfermedades y ajustes de metodologías.

Las revisiones serán elaboradas por especialistas destacados en las disciplinas que se abordan en la Revista. Las mismas serán solicitadas por el Comité Editorial y no deberán superar las veinte páginas.

Declaración de originalidad: los artículos deberán ser originales y no pueden ser presentados simultáneamente en otra revista para su publicación.

A partir del 1 de enero de 2016, para los autores extranjeros, cada página diagramada en blanco y negro, tendrá un costo de 30 dólares, la página a color 50 dólares y la página extra 70 dólares. Para los autores nacionales, los valores serán de 20, 40 y 60 dólares respectivamente. Se recomienda ajustarse al número de páginas establecido.

Los autores de los trabajos podrán pertenecer tanto a la institución editora como a otras facultades, centros de investigación u organismos en los cuales se lleven a cabo investigaciones vinculadas con las temáticas mencionadas precedentemente.

El material, acompañado de una nota solicitando su publicación, será remitido al Centro de Ediciones Académicas de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNCUYO: ccea@fca.uncu.edu.ar, de acuerdo con el modelo establecido para tal fin (Descargar nota modelo). El manuscrito deberá enviarse en procesador de texto Word, tamaño de página A4, a doble espacio, con tipografía Cambria, cuerpo 10 (los datos de: figuras, tablas y mapas deben escribirse con igual tipografía). Las líneas deberán enumerarse en el margen izquierdo y las páginas numeradas arriba y a la derecha.

Cada trabajo será sometido a referato: los especialistas (al menos dos), de reconocida trayectoria tanto en el ámbito nacional como internacional, recibirán dicho trabajo y la correspondiente planilla de evaluación. Su función consistirá en revisar críticamente el material presentado y dictaminar respecto de su publicación. El autor puede sugerir algunos evaluadores, quienes podrían ser considerados por el Editor en el proceso de evaluación. El origen de los evaluadores es externo al Comité Editorial, de procedencia nacional e internacional y el sistema de evaluación es "doble ciego". La pertinencia del original es decidida por el Comité Editorial en tanto que su aceptación o rechazo depende del dictamen de los evaluadores o del incumplimiento de la exigencia de originalidad del trabajo. Asimismo, el Editor devolverá a los autores, sin pasar por el proceso de arbitraje, aquellos manuscritos que no se ajusten a las normas de presentación de la Revista.

Para conferir unidad a la publicación, el Centro de Ediciones solicitará, de ser necesario, modificaciones en el título, hará correcciones de estilo y llevará a cabo el diagramado. Concluida esta etapa, se le enviará al primer autor de cada trabajo el PDF para su revisión. Dicho proceso de revisión no deberá superar los siete días corridos. Una vez impresa la Revista, al primer autor de cada artículo se le entregará diez separatas. Los trabajos, redactados con lenguaje claro, preciso, deberán exponer con rigor científico los contenidos y no podrán apartarse de las indicaciones que a continuación se consignan:

Título

En inglés y en español, con una extensión no superior a las veinte palabras. Asimismo, se requiere el título abreviado que resulta necesario para el diagramado.

Autores

Nombres y apellidos completos, pertenencia institucional, dirección postal y correo electrónico del primer autor.

Resumen

En inglés (abstract) y en español, con una extensión máxima de doscientos vocablos. De modo conciso y breve se planteará el tema del trabajo, la metodología, los resultados y las conclusiones. No deberán incluirse antecedentes del tema a tratar, ilustraciones ni citas bibliográficas.

Palabras clave

En inglés (keywords) y en español: se recomienda consultar los tesauros específicos.

Introducción

Deberá ser concisa, incluirá una revisión sintética del conocimiento del tema a la fecha, con las citas específicas que respaldan ese conocimiento y establecerá los aspectos aún no resueltos. Explicitará los objetivos e hipótesis tendientes a favorecer la claridad conceptual del trabajo.

Materiales y métodos

Se expondrá el diseño experimental, la toma de muestras y su tratamiento estadístico de forma tal que permita la reproducción del ensayo a otros investigadores.

Tablas

El título, en inglés y en español, debe ubicarse arriba de las mismas. Cada una debe ser autoexplicativa, vale decir que no exigirá leer el artículo para entenderla. No debe repetirse la misma información en tablas y figuras. No incluir en la tabla ninguna información que no se discuta en el texto. Deberán presentarse en formato MS Word, no como imagen. Cada campo o dato deberá separarse con tabulaciones, nunca con la barra espaciadora. El ancho total no debe exceder los 15 cm. Si hubiera referencias al pie, estas deberán estar en inglés y en español.

Figuras

El título, en inglés y en español, debe ubicarse debajo de las mismas. Si hubiera referencias al pie, deberán estar en inglés y en español. Deben ser autoexplicativas y se evitará la repetición de la información contenida en las tablas. Si la figura fue elaborada en Excel, Corel Draw, Statistica para Windows, etc., además de la versión en el procesador de textos, enviar el archivo original por separado. Otra posibilidad es enviar el archivo en formato Windows Metafile (wmf).

Fotos

Solo deben incluirse si proveen información que favorezca la comprensión del artículo. Deben ser nítidas, con alto contraste. Deben ser enviadas como archivos electrónicos tif o jpg, con no menos de 300 ppp. Si se dispone de foto en papel, enviar con el original; al publicar el artículo serán devueltas al autor.

Mapas

Solo deben incluirse si proveen información esencial para entender el artículo.

En el diagramado, se procurará que tanto las figuras que requieran color, las fotos color o los mapas en color se ubiquen en una página. Cabe señalar que de este modo se tiende a disminuir el costo que deberán asumir los autores por cada página color.

Resultados

Deberán presentarse en forma clara y concisa, utilizando tablas y figuras y destacando los aspectos más relevantes del trabajo.

Discusión

Interpretación de los resultados, con especial énfasis en coincidencias o diferencias con el marco teórico. Es opcional la autonomía de esta sección ya que puede formar junto con Resultados una sola estructura conceptual.

Conclusiones

Deben ser sintéticas y reflejar hallazgos, soluciones y/o aplicaciones concretas. Deben responder a los objetivos e hipótesis del trabajo.

Bibliografía

Deberá constar en el listado bibliográfico toda referencia citada en el texto. Se adoptará un sistema alfa-numérico, con listado ordenado alfabéticamente por el primer autor. En virtud de ello, en el texto la cita aparecerá con el número que tiene en el listado bibliográfico; dicho número se escribirá en el texto entre paréntesis.

Cada cita bibliográfica deberá constar de los siguientes datos (consultar ejemplos):

- Número correspondiente a la cita.
- Apellido e iniciales de los autores.
- Año de edición de la publicación. Se indicarán las posteriores a la inicial; por ej.: 2001. 3ra ed.
- Título completo de la publicación, en el idioma original. Si fuera una revista, primero se consignará el título del artículo y a continuación el nombre de la Revista, el volumen y/o número y las páginas del artículo.
- Ciudad de edición (país en caso necesario).
- Editorial.
- Número de DOI (Identificador de Objeto Digital), si la cita lo tuviera.

Cabe señalar que cuando se trate de una comunicación personal, se citará en el texto la fuente (nombre de la persona y año) pero no se incluirá en el listado bibliográfico.

Para citas tomadas de Internet: autor, año, título, URL (dirección: <http://www...>) y fecha de consulta.

Agradecimientos

Se hará una mención breve y concisa a cada persona o institución merecedora de dicho reconocimiento.

Los nombres científicos completos serán citados en su primera mención, luego podrá usarse solamente la inicial del género más la especie, sin agregar el clasificador. El nombre común deberá estar acompañado por el nombre científico en la primera mención. Las locuciones latinas deberán ir en itálica o cursiva (ej.: *et al.*, *in vitro*).

Se podrán utilizar símbolos químicos en el texto (Ej.: N por nitrógeno), pero no podrán emplearse las fórmulas químicas sino el nombre correspondiente (Ej.: agua y no H₂O). Se podrán utilizar abreviaturas de uso habitual, como ATP, ADN, etc.

Cuando en el texto se mencionen cantidades, se expresarán en letra del cero al nueve, excepto cuando estén acompañados de unidades de medida o se incluya números más grandes (Ej.: 2, 7 y 25 muestras). En idioma español los decimales se indican con coma y con punto en inglés.

Fotografía para visor

Para favorecer el proceso de gestión editorial y responder a los distintos sistemas de marcación de artículos requeridos por las bases de datos donde la Revista se encuentra indizada, es necesario que los autores envíen junto con el manuscrito del artículo, una fotografía representativa del tema que trata el trabajo. Debe ser enviada como archivo electrónico tif o jpg, con no menos de 300 ppp.

Se recomienda a los autores revisar la lista de control que figura en la versión on line, para verificar que se haya cumplido con todos los requisitos señalados: <http://revista.fca.uncu.edu.ar>