

Rastrojo de arroz (*Oryza sativa* L.) en sistemas de siembra directa: alternativas de manejo

Stubble rice (*Oryza sativa* L.) in direct sowing systems: handling alternatives

Ramón J. Hidalgo ¹, Guido F. Botta ^{2,3}, Alfredo Tolón Becerra ⁴, Oscar R. Pozzolo ⁵, José F. Dominguez ¹, Emiliano Serafini ¹

Originales: Recepción: 01/10/2013 - Aceptación: 16/09/2014

RESUMEN

Los objetivos principales del presente trabajo fueron: a) Estudiar cuál es el uso adecuado de las distintas herramientas para mejorar la mineralización del rastrojo de la cosecha de arroz (*Oryza sativa* L.) bajo siembra directa y b) Determinar, para períodos cortos, la cantidad de rastrojo depositado superficialmente y su tiempo de mineralización al utilizar las distintas técnicas de manejo del mismo. Los tratamientos fueron: cosechadora con desparramador deflector (T1DD), cosechadora sin desparramador triturador (T2SDT), cosechadora con desparramador centrífugo de caucho (T3DC) y cosechadora con desparramador metálico (T4DM). Alternativas implementadas: a) desmalezado b) rolo cuchilla y c) quemado de rastrojo. En las primeras dos alternativas, se aplicaron tres dosis de urea. Los resultados principales fueron: a) La T2SDT produjo, una mayor deposición de material en el centro de la máquina (21680 kg ha⁻¹), b) la distribución de rastrojo de la (T3DC) fue más uniforme que para los otros tratamientos. Las principales conclusiones fueron: 1) Los desparramadores centrífugos de caucho y metálico produjeron mejor distribución del

ABSTRACT

The main purposes of this study were to: a) Find out how tools (deflectors, spreaders and choppers) can be used best for improving mineralization of stubble from harvesting rice (*Oryza sativa* L.) grown under direct sowing and b) Determine, for short periods, the amount of crop residues deposited on the surface and its mineralization time with various management techniques. The treatments were: harvester with spreader (T1DD), harvester without spreader (T2SDT), harvester with rubber centrifugal spreader (T3DC) and harvester with metal spreader (T4DM). Implemented alternatives: a) rotary weed cutter b) blade roller and c) burning crop residues. In the first two alternatives, three doses of urea were applied. The main results were: a) The harvester without spreader (T2SDT) deposited more material in the center of the tail (21680 kg ha⁻¹), b) when distribution of crop residues from the (T3DC) was more uniform compared with the other treatments. The main conclusions were: 1) the rubber centrifugal spreader and metal spreader produced better distribution of the stubble, 2) The use of rotary weed cutter or blade roller on stubble distributed by harvesters T3DC and T4DM treatments

- 1 Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste (UNEE), Sargento Cabral 2138 (3400) Corrientes, Argentina. rhidalgo@agr.unne.edu.ar
- 2 Universidad Nacional de Luján, Dpto. de Tecnología, Ruta Nac. 5 y Av. Constitución (6700) Luján, Buenos Aires. Argentina. gfbotta@agro.uba.ar
- 3 Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires (UBA), Av. San Martín 4453, Buenos Aires, Argentina.
- 4 Universidad de Almería. Ctra. Sacramento s/n. La Cañada de San Urbano. 04120. Almería, España.
- 5 Instituto de Ingeniería Rural - INTA. Castelar. Av. Pedro Díaz 1798 (1686), Hurlingham Provincia de Buenos Aires.

material, 2) El uso de desmalezadora o rolo cuchilla sobre rastrojo de los tratamientos T3DC y T4DM aceleró la mineralización de los mismos. 3) Las dosis de urea causó poco incremento en la mineralización del rastrojo.

caused accelerated mineralization of the same, 3) Urea doses caused little increase in mineralization of the rice stubble.

Palabras clave

mineralización • desparramadores • cosechadoras

Keywords

mineralization • spreaders • harvesters

INTRODUCCIÓN

Los cultivares de arroz utilizados en La Argentina tienen en la actualidad un potencial de rendimiento en grano cercano a 9.500 kg ha^{-1} (1) y para esta producción en granos se produce una cantidad de materia verde de aproximadamente $16.000 \text{ kg ha}^{-1}$ sin contar las raíces (Kramer, comunicación personal) ¹.

El rastrojo de arroz es una fuente de nutrientes muy importante, debido a que la paja contiene el 70% del potasio y casi la totalidad del silicio que la planta absorbe.

El silicio ayuda a aumentar las defensas de la planta frente a enfermedades y a su vez impide su vuelco.

El potasio favorece el llenado de granos y otros procesos metabólicos (2). Al dejar el rastrojo en superficie para que se descomponga lentamente se van a liberar al suelo tanto el potasio como el silicio que contiene. Esto significa que las reservas de estos nutrientes se incrementarían satisfaciendo la demanda de la planta, lo cual produciría, según indicaciones de los análisis químicos, un ahorro de dinero en fertilizantes.

El rastrojo en superficie, mencionado anteriormente, puede dificultar, por su volumen, la siembra directa del cultivo de arroz.

Estudios realizados por Hidalgo *et al.* (2007) señalan que una cantidad de rastrojo de arroz al momento de la siembra de la próxima campaña superior a 600 kg/ha , provocará inconvenientes en la siembra e implantación del cultivo posterior aún sin detección de enfermedades fúngicas.

Por lo tanto, una práctica muy común, del productor arrocero en nuestro país, para terminar con el rastrojo en superficie, es la quema del mismo (9).

1 Ing. Agr. (M. Sc.) Alejandro Kramer. Especialista en arroz. Técnico de la Estación Experimental Corrientes del INTA.

Hill *et al.* (2000) indican como posible ventaja de la quema el control eficaz de dos de las enfermedades más graves del arroz, la podredumbre del tallo (*Sclerotium orizae* Catt.) y la mancha plana (*Rhizoctonia oryzae-sativae* S.). Sin embargo, esta metodología produce una alteración en la capa superficial del suelo ya que la reposición de nutrientes a través de la mineralización del rastrojo es prácticamente nula.

Cuando se quema el rastrojo, el fuego acaba con la vida de la mayoría de los microorganismos que ayudan a transformar la materia orgánica en minerales que las plantas pueden absorber y al destruirlos, se disminuye la fertilidad del suelo (10), además, provoca la emisión de grandes cantidades de contaminantes del aire, especialmente finas partículas (7).

En la actualidad, se da más importancia al cuidado del medio ambiente y los recursos naturales. Es por este motivo que la práctica de quemar los rastrojos es cada vez más resistida y en ciertos lugares del mundo tales como Estados Unidos, está limitado o prohibido.

En el estado de Texas solo está permitido quemar el rastrojo de arroz en un 30% de su área. Asimismo, en Brasil se está estudiando una ley que limite el uso de esta metodología (8).

Existen variantes para el manejo del rastrojo de arroz, tal como su incorporación al suelo a través de labranza utilizando implementos como arado de discos, rastras de discos, rastras de dientes o labranza vertical mediante el uso de cinceles (11). Estas prácticas son realizadas en sistemas de labranza convencional y en labranza mínima o anticipada (12).

Una técnica muy usada en la región arrocera, fundamentalmente en Argentina y Brasil, es el uso de rolo cuchilla posterior a la cosecha, en condiciones de suelo anegado para la labranza convencional o reducida, no siendo apropiado su utilidad en un sistema de siembra totalmente directa.

Hay una alternativa al rolo cuchilla y a la quema, es la utilización de urea en dosis medias, el efecto de la amonificación, no muy utilizado en nuestro medio por su costo, es facilitar la descomposición del rastrojo de arroz

Finalmente, para nuestro país, según la bibliografía consultada, no se encontró información abundante acerca de posibles legislaciones que limiten o prohíban la quema del rastrojo considerada perjudicial para el medio ambiente pero como es una tendencia mundial hacer hincapié en este tema es lógico suponer que existan leyes que la tengan en cuenta. Por esto, es de importancia tener conocimiento de técnicas alternativas que reemplacen a la quema del rastrojo, siendo actualmente la práctica más utilizada por el sector productivo.

Objetivos

- Estudiar cuál es el uso adecuado de las distintas herramientas (deflectores, desparramadores y trituradores) para mejorar la descomposición y mineralización del rastrojo de arroz conducido bajo siembra directa.
- Determinar, para períodos cortos, la cantidad de rastrojo depositado en superficie y su tiempo de descomposición al utilizar las distintas técnicas de manejo del mismo.
- Lograr la mejor distribución efectuada por un desparramador-esparcidor para que el rastrojo esparcido en el suelo sea uniforme y que no supere los 600 kg ha⁻¹ sabiendo que valores superiores a esa cantidad de material afectará la siembra e implantación del cultivo.

HIPÓTESIS DE TRABAJO

El tipo y material de construcción de los desparramadores-esparcidores de la cosechadora no inciden en la distribución del rastrojo de arroz.

El uso de desmalezadoras y/o rolos cuchillas favorece la mineralización del rastrojo de arroz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo fue realizado en la provincia de Corrientes durante la etapa de cosecha, repitiéndose dos años (2010 y 2011) en las mismas fechas para que no hubiera diferencias en los datos y pudieran ser comparables. Se utilizaron tres tipos de desparramador-triturador montados en tres diferentes cosechadoras disponibles, New Holland TC 57 con desparramador deflector, John Deere 1175 con desparramador centrífugo de caucho y John Deere CTS Maximizer con desparramador centrífugo metálico (figura 1).



Figura 1. Desparramadores: a) desparramador con deflector. b) desparramador centrífugo de caucho. c) desparramador metálico.

Figure 1. Spreaders: a) Harvest with spreader b) Rubber rotary spreader c) Metal rotary spreader.

Es importante aclarar que a la cosechadora John Deere 1175 con desparramador centrífugo de caucho se le quitó el mismo y fue utilizada como cosechadora sin desparramador (T2SDT).

El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados, realizándose cuatro pasadas por parcela de las cosechadoras con cada tipo de desparramador - triturador y cuatro pasadas con la cosechadora sin desparramador - triturador, confeccionándose, de esta manera, los distintos tratamientos en macro-parcelas de 50 x 50 m de lado.

Los diferentes tratamientos de cosecha respondieron a cuatro tratamientos principales y fueron: cosechadora con desparramador deflector (T1DD), cosechadora sin desparramador triturador (T2SDT), cosechadora con desparramador de caucho (T3DC) y cosechadora con desparramador metálico (T4DM).

Sobre los tratamientos principales mencionados, se implementaron las alternativas (subtratamientos) del uso de desmalezadora, rolo cuchilla y quema. Solamente, en las dos primeras alternativas se aplicaron tres dosis de urea: 1) 50 kg ha⁻¹, 2) 70 kg ha⁻¹ y 3) 100 kg ha⁻¹ aplicados tres días luego de la cosecha y el pasaje, tanto del rolo cuchilla cuanto de la desmalezadora, se realizó a los 5 días luego de la aplicación de las distintas dosis de urea.

La no utilización de desparramador-espargidor-triturador y posterior quema del rastrojo es la metodología más utilizada por productor arrocero en nuestro país, por lo tanto el tratamiento sin desparramador-espargidor (T2SDT) es considerado el punto de partida calificándolo como testigo.

El proceso de mineralización del rastrojo se evaluó desde el comienzo del ensayo durante ocho meses, la toma de muestras del material distribuido por la cosechadora fue repetida cada 30 días hasta el momento de siembra la cual se realizó, aproximadamente a mediados de septiembre.

La distribución se determinó mediante la utilización de aros de alambre de 0,56 m de diámetro (1/4 de metro cuadrado) tomándose siete determinaciones luego del paso de la cosechadora.

Partiendo del centro de la cola de la máquina se colocaron los aros cada 0,86 m a la izquierda y derecha del aro ubicado en el centro de cola hasta los 2,86 m cubriendo todo el ancho de labor de 5,72 m (figura 2, pág. 168) recogiendo todo el rastrojo que se encontraba dentro del aro para contabilizar la cantidad de materia seca realizándose tres repeticiones por tratamiento.

Se realizó durante todo el período de ensayo la evolución del contenido de materia seca para determinar la mineralización del rastrojo.

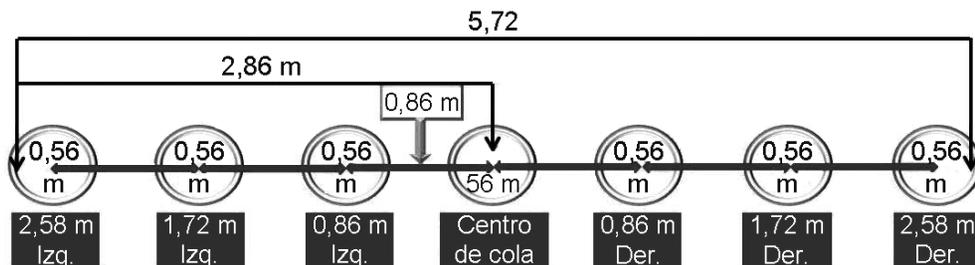


Figura 2. Ilustración de los puntos de muestreo para la evaluación de la distribución del rastrojo de arroz.

Figure 2. Illustration of sampling points for evaluation of rice stubble distribution.

El análisis estadístico de las variables fue realizado mediante un modelo de ANOVA independiente con el programa Statgraf 7.1.

Las diferencias entre tratamientos se expresaron empleando el test de rango múltiple de Duncan. Este test es uno de los más potentes cuando se usa el mayor nivel de significancia ($P < 0,01$), es decir que, empleando este test la probabilidad de aceptar una hipótesis cuando es falsa se minimiza (3).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A pesar de diferenciarse estadísticamente todos los tratamientos entre sí (tabla 1 y figura 3, pág. 169), la cosechadora sin desparramador-esparcidor (T2SDT) produjo, como era esperable, una mayor deposición de material en el centro de la cola ($21.680 \text{ kg ha}^{-1}$) disminuyendo hacia los laterales, esta tendencia es significativa registrándose valores cercanos a 750 y 660 kg ha^{-1} a los 2,58 m a la izquierda y derecha, respectivamente (tabla 1 y figura 3, pág. 169).

Tabla 1. Distribución del rastrojo (kg ha^{-1}) para todos los tratamientos.

Table 1. Stubble ditribution (kg ha^{-1}) for all treatments.

Sitio	Desp. Deflector T1DD	Sin trit./Desp. TS2T	Desp. Caucho T3DC	Desp. Centrifugo T4DM
2,58 m izq.	3480 r	750 t	5830 m	5640 o
1,72 m izq.	6800 i	1970 s	6100 l	5700 n
0,86 m izq.	8800 d	8720 e	6400 k	7200 h
Centro cola	10330 b	21680 a	7230 h	7560 g
0,86 m der.	8310 f	9800 c	6600 j	6230 l
1,72 m der.	3840 p	1980 s	6820 i	6680 j
2,58 m der.	3680 q	660 u	6710 ij	6400 k

Diferente letra en sentido horizontal denotan diferencias significativas $P < 0,01$ (Test de rango múltiple de Duncan).

Different letters (horizontally) are significantly different $P < 0.01$ (Duncan's multiple range test).

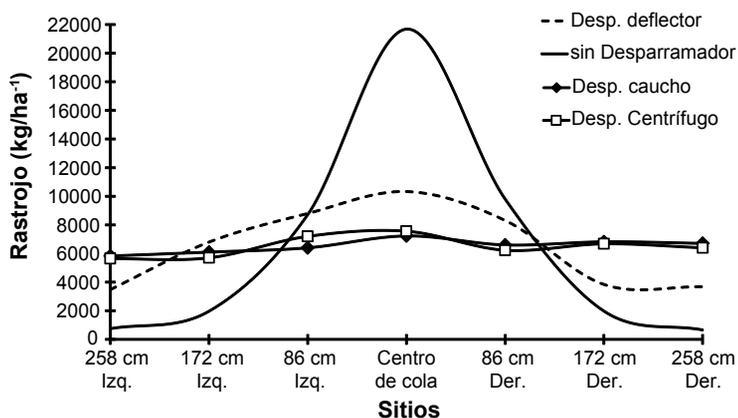


Figura 3. Distribución del rastrojo para todos los tratamientos.

Figure 3. Stubble distribution for all treatments.

La alta concentración de rastrojo en la cola podría perjudicar su mineralización afectando significativamente la siembra e implantación del cultivo posterior de acuerdo con estudios realizados por Hidalgo *et al.* (2007).

Al analizar la distribución de la cosechadora con desparramador deflector (T1DD) se observó una distribución desuniforme dejando mayor cantidad de material en la zona central de la máquina y extendiéndose hasta los 0,86 m a ambos lados del centro de la misma. En dicha zona central se recogieron cantidades superiores a 10.000 kg ha⁻¹ mientras que, las cantidades fueron de 8.800 y 8.300 kg ha⁻¹ a los 0,86 m del centro de la cola a izquierda y derecha, respectivamente, disminuyendo la cantidad de rastrojo sobre el terreno al alejarse de la zona central registrándose valores cercanos a 3.500 kg ha⁻¹ a ambos extremos del ancho total de corte de que fue de 5,72 m.

Una hipótesis que podría explicar esta variabilidad en la deposición del rastrojo en este tipo de desparramador es que, probablemente, el ancho de distribución del desparramador fue superior al ancho de corte del cabezal de la cosechadora lo que produjo que se depositaran restos de rastrojo sobre el cultivo sin cosechar incidiendo en las pérdidas de pre cosecha. En estas condiciones la distribución desuniforme podría afectar la mineralización del rastrojo y, coincidiendo con el trabajo de Hidalgo *et al.* (2007), perjudicar también, por la cantidad acumulada del mismo, la siembra, emergencia y desarrollo del cultivo siguiente.

Siguiendo con la distribución realizada por la cosechadora con desparramador- distribuidor centrífugo metálico (T4DM) tuvo cierta similitud con el tratamiento T3DC lográndose una deposición un poco más uniforme en este último.

Según la tabla 1 (pág. 168) la diferencias entre el centro y los extremos del ancho de distribución de la T4DM fueron de 1920 y 1160 kg ha⁻¹ para los extremos izquierdo y derecho respectivamente, mientras que, el rastrojo depositado en el centro de la cola de la máquina fue de 7560 kg ha⁻¹.

Al evaluar la distribución de rastrojo de la cosechadora con desparramador de caucho (T3DC) se nota (figura 3, pág. 169 y tabla 1, pág. 168) que la deposición de rastrojo fue más uniforme comparándolo con los anteriores tratamientos.

Como se puede ver, la mayor diferencia en todo el ancho de distribución de rastrojo fue de 1400 kg ha⁻¹, siendo de 7230 y 5830 kg ha⁻¹ en el centro y el extremo izquierdo respectivamente.

Entre el centro y el extremo derecho la diferencia fue de 520 kg ha⁻¹. Esta mayor, uniformidad respecto de los otros tratamientos podría originar, coincidiendo con Hidalgo *et al.* (2009), una mejor mineralización del rastrojo pudiendo quedar cantidades en todo el ancho de corte, que no perjudicaría la implantación del cultivo posterior.

Respecto del quemado del rastrojo en cada tratamiento estudiado, no hubo diferencias significativas entre los mismos (tabla 2). Esta alternativa de manejo del residuo dejó una ínfima cantidad de material que no afectaría la implantación del próximo cultivo. Sin embargo, esta metodología acaba con la vida de la mayoría de los microorganismos que ayudan a transformar la materia orgánica en minerales y al destruirlos, se disminuye la fertilidad del suelo (10).

Tabla 2. Efecto de la quema del rastrojo de arroz (kg ha⁻¹) para todos los tratamientos
Table 2. Effect of burning rice stubble (kg ha⁻¹) for all treatments.

Sitio	Desp. Deflector T1DD	Sin trit./Desp. TS2T	Desp. Caucho T3DC	Desp. Centrifugo T4DM
2,58 m izq.	80 ef	120 abcd	100 bcdef	68 f
1,72 m izq.	100 bcdef	80 ef	90 def	75 ef
0,86 m izq.	98 cdef	100 bcdef	82 ef	84 ef
Centro cola	140 a	100 bcdef	100 bcdef	120 abcd
0,86 m der.	135 ab	120 abcd	140 a	68 f
1,72 m der.	110 abcd	110 abcde	130 abc	100 bcdef
2,58 m der.	65 f	90 def	70 f	78 ef

Diferente letra en sentido vertical y horizontal denotan diferencias significativas $P < 0,01$ (Test de rango múltiple de Duncan).

Different letters (vertically and horizontally) are significantly different $P < 0.01$ (Duncan's multiple range test).

Cosechadora sin desparramador triturador (T2SDT)

El uso de las distintas alternativas estudiadas para lograr la mineralización del rastrojo depositado en el suelo por la cosechadora sin desparramador-triturador, con el propósito de que al momento de la siembra de arroz de la siguiente zafra, bajo el sistema de siembra directa, hayan cantidades de residuos que no afecten la implantación del cultivo no fueron suficientes. En la última fecha de muestreo y próximo a la futura siembra en todos los casos se registraron valores superiores a 600 kg ha⁻¹ considerados críticos para el normal desarrollo del arroz (3).

El análisis estadístico arrojó diferencias significativas, tanto entre alternativas, cuanto entre sitios de muestreo, indicando un comportamiento diferencial entre alternativas y una distribución heterogénea del rastrojo.

El hecho de que la máquina sin ningún elemento desparramador no haya distribuido homogéneamente el residuo dejando mayor cantidad en el centro de la cola y zonas aledañas tuvo marcada incidencia en los resultados (tabla 3, pág. 172).

Cosechadora con desparramador deflector (T1DD)

El análisis comparativo muestra claramente que las distintas alternativas utilizadas sobre el rastrojo distribuido por la cosechadora con desparramador deflector no fueron suficientes para lograr cantidades inferiores a 600 kg ha⁻¹ consideradas críticas para la siembra e implantación del arroz.

Estadísticamente se determinaron diferencias entre alternativas y entre sitios de muestreo, este último indica la deficiente distribución por parte de este desparramador en las condiciones del ensayo.

La deficiente distribución debido a la necesidad de inclinar el desparramador hacia abajo y cerrar las aletas deflectoras para evitar que el material impacte sobre el cultivo no cosechado, incrementando las pérdidas de precosecha, tuvo incidencia en los resultados. Estas regulaciones fueron necesarias debido a que el ancho de corte era menor al ancho de distribución del rastrojo. Esta problemática indica que utilizar este tipo de desparramador en dichas condiciones no es apropiado para lograr un posterior manejo adecuado del residuo de cosecha (tabla 4, pág. 172).

Cosechadora con desparramador de caucho (T3DC)

Al analizar las distintas alternativas utilizadas sobre el rastrojo distribuido por la cosechadora con desparramador de caucho para acelerar la mineralización, de manera tal que, al momento de la próxima siembra de arroz no haya cantidades de residuo que afecten la implantación del cultivo, se observa (tabla 5, pág. 173) que el pasaje, tanto de la desmalezadora como, del rolo cuchilla fueron suficientes y necesarios para lograr el objetivo buscado. Las adiciones de urea, si bien incrementaron la mineralización, las diferencias con el uso de las dos herramientas fueron escasas no justificándose su aplicación. La distribución más homogénea del material tuvo incidencia en los resultados.

Cosechadora con desparramador centrífugo metálico (T4DM)

Las distintas alternativas estudiadas para lograr acelerar la mineralización del rastrojo esparcido por la máquina con desparramador centrífugo metálico, de manera tal que, al momento de la siembra de la siguiente campaña no haya cantidades de residuo que afecten la implantación del cultivo, se comportaron de forma similar que en el tratamiento de la cosechadora con desparramador de caucho. Se observó que con sólo pasar la desmalezadora o el rolo cuchilla se consiguió el propósito buscado de que hayan cantidades inferiores a 600 kg ha⁻¹ considerados críticos para la implantación del arroz de la siguiente zafra, aún con una deficiente distribución del punto de vista estadístico al hallarse diferencias significativas entre sitios de muestreo. De igual manera que en el tratamiento T3DC, no se justifica las adiciones de urea debido a que con la dosis menor (50 kg/ha) los valores fueron superiores al valor crítico y si bien con la dosis mayores (70 y 100 kg ha⁻¹) se logra un incremento en la mineralización de manera tal que al momento de la siguiente siembra hayan cantidades menores a 600 kg/ha⁻¹ económicamente significa un incremento innecesario en los costos (tabla 6, pág. 173).

Tabla 3. Distribución de rastrojo (kg/ha^{-1}) para las alternativas de desmalezado y rolo cuchilla en la T2SDT (cosechadora sin desparramador triturador).

Table 3. Stubble distribution (kg ha^{-1}) for rotary weed cutter and blade roller alternatives in the T2SDT (harvest without spreader).

Alternativas	Sitios							
	2,58 m izq.	1,72 m izq.	0,86 m izq.	Centro cola	0,86 m der.	1,72 m der.	2,58 m der.	
Sin Desparramador-triturador	160 p	200 o	3280 b	7280 a	3120 c	200 o	200 o	
Sin Desparramador-triturador+rolo	100 q	120 pq	1612 f	2920 d	1340 g	130 p	125 p	
Sin Desparramador-triturador+rolo+50 kg/ha urea	80 q	120 pq	1000 j	1870 e	960 jk	150 p	100 q	
Sin Desparramador-triturador+rolo+70 kg/ha urea	80 q	120 pq	1180 h	1200 h	980 j	400 n	160 p	
Sin Desparramador-triturador+rolo+100 kg/ha urea	70 q	100 q	1075 j	1130 i	960 jk	120 pq	120 pq	
Sin Desparramador-triturador+desmalezadora	1100 i	1000 j	1230 gh	989 j	1120 i	1000 j	990 j	
Sin Desparramador-triturador+desmalezadora+50 kg/ha urea	1000 j	1280 gh	1050	1260 gh	1300 g	1250 gh	970 j	
Sin Desparramador-triturador+desmalezadora+70 kg/ha urea	1000 j	880 i	840 i	760 m	840 i	1280 gh	1120 i	
Sin Desp.-triturador+desmalezadora+100 kg/ha urea	760 m	940 k	840 i	1000 j	880 i	970 j	1000 j	

Diferentes letras en sentido horizontal denotan diferencias significativas $P < 0,01$ (Test de rango múltiple de Duncan).

Different letters (horizontally) are significantly different $P < 0.01$ (Duncan's multiple range test).

Tabla 4. Distribución de rastrojo (kg ha^{-1}) para las alternativas de desmalezado y rolo cuchilla en la T1DD (cosechadora con desparramador deflector).

Table 4. Stubble distribution (kg ha^{-1}) for rotary weed cutter and blade roller alternatives in the T1DD (harvest with spreader).

Alternativas	Sitios							
	2,58 m izq.	1,72 m izq.	0,86 m izq.	Centro cola	0,86 m der.	1,72 m der.	2,58 m der.	
Desparramador deflector	1100 l	1120 l	3900 b	4000 a	3210 c	1420 g	1010 m	
Desparramador deflector+rolo	1000 m	1520 f	1870 d	1240 i	1650 e	1470 g	1410 g	
Desparramador deflector+rolo+50 kg/ha urea	1020 m	1100 l	1650 e	1050 m	1000 m	1540 f	1100 l	
Desparramador deflector+rolo+70 kg/ha urea	1000 m	1010 m	1000 m	1050 m	1280 i	1120 l	1320 h	
Desparramador deflector+rolo+100 kg/ha urea	680 r	860 o	710 q	840 o	700 r	630 r	520 s	
Desparramador deflector+desmalezadora	960 n	1500 f	1150 k	1620 e	1130 k	1600 e	1130 k	
Desparramador deflector+desmalezadora+50 kg/ha urea	1240 i	1000	1160 k	1240 i	1440 g	1240 i	1080 l	
Desparramador deflector+desmalezadora+70 kg/ha urea	1320 h	1400 g	1120 k	1200 j	1120 k	1360 h	1240 i	
Desp. deflector+desmalezadora+100 kg/ha urea	720 q	800 p	720 q	760 q	640 r	520 s	480 t	

Diferentes letras en sentido horizontal denotan diferencias significativas $P < 0,01$ (Test de rango múltiple de Duncan).

Different letters (horizontally) are significantly different $P < 0.01$ (Duncan's multiple range test).

Tabla 5. Distribución de rastrojo (kg ha⁻¹) para las alternativas de desmalezado y rolo cuchilla en la T3DC (cosechadora con desparramador centrifugo de caucho).

Table 5. Stubble distribution (kg ha⁻¹) for rotary weed cutter and blade roller alternatives in the T3DC (harvest with rubber centrifugal spreader).

Alternativas	Sitios							
	2,58 m izq.	1,72 m izq.	0,86 m izq.	Centro cola	0,86 m der.	1,72 m der.	2,58 m der.	
Desparramador de caucho	1210 b	987 c	1341 a	1300 a	1000 c	960 c	987 c	
Desparramador de caucho+rolo	500 f	460 g	610 d	580 e	400 h	560 e	600 d	
Desparramador de caucho+rolo+50 kg/ha urea	630 d	400 h	580 e	630 d	480 g	500 f	450 g	
Desparramador de caucho+rolo+70 kg/ha urea	450 g	500 f	475 g	400 h	510 f	400 h	380 h	
Desparramador de caucho+rolo+100 kg/ha urea	530 e	400 h	390 h	360 h	410 h	480 g	610 d	
Desparramador de caucho+desmalezadora	440 g	520 f	588 e	480 g	400 h	360 h	520 ef	
Desparramador de caucho+desmalezadora+50 kg/ha urea	596 d	600 d	580 e	520 ef	593 e	497 f	560 e	
Desparramador de caucho+desmalezadora+70 kg/ha urea	550 e	300 i	360 h	440 g	460 g	380 h	400 h	
Desp. de caucho+desmalezadora+100 kg/ha urea	420 gh	400 h	320 hi	440 g	360 h	400 h	340 h	

Diferentes letras en sentido horizontal denotan diferencias significativas P < 0,01 (Test de rango múltiple de Duncan).

Different letters (horizontally) are significantly different P < 0.01(Duncan's multiple range test).

Tabla 6. Distribución de rastrojo (kg ha⁻¹) para las alternativas de desmalezado y rolo cuchilla en la T4DM (cosechadora con desparramador centrifugo metálico).

Table 6. Stubble distribution (kg ha⁻¹) for rotary weed cutter and blade roller alternatives in the T4DM (harvest with metal spreader).

Alternativas	Sitios							
	2,58 m izq.	1,72 m izq.	0,86 m izq.	Centro cola	0,86 m der.	1,72 m der.	2,58 m der.	
Desparramador centrifugo metálico	1410 b	1200 c	2000 a	1000 d	962 d	1000 d	1390 b	
Desparramador cent. metálico+rolo	613 h	620 h	540 h	560 h	580 h	600 h	592 h	
Desparramador cent. metálico+rolo+50 kg/ha urea	900 e	760 f	850 e	700 g	820 ef	980 d	1000 d	
Desparramador cent. metálico+rolo+70 kg/ha urea	560 h	600 h	580 h	506 i	602 h	540 h	578 h	
Desparramador cent. metálico+rolo+100 kg/ha urea	540 h	560 h	420 j	590 h	600 h	600 h	576 h	
Desparramador cent. metálico+desmalezadora	587 h	600 h	563 h	489 i	592 h	498 i	563 h	
Desparramador cent. metálico+desmalezadora+50 kg/ha urea	840 e	800 f	1000 d	750 f	880 e	985 d	760 f	
Desparramador cent. metálico+desmalezadora+70 kg/ha urea	480 i	580 h	562 h	600 h	520 hi	467 i	530 h	
Desp. cent. metálico+desmalezadora+100 kg/ha urea	540 h	480 i	576 h	500 i	489 i	460 i	562 h	

Diferentes letras en sentido horizontal denotan diferencias significativas P < 0,01 (Test de rango múltiple de Duncan).

Different letters (horizontally) are significantly different P < 0.01(Duncan's multiple range test).

De lo discutido hasta aquí hubo desparramadores que distribuyeron mejor el rastrojo que otros y en esta diferencia, la constitución y tipo de desparramador esparcidor usado tuvieron marcada incidencia, tanto en la distribución como, en la mineralización del residuo. Esto significa que no existe evidencia válida para corroborar la hipótesis 1. Proporcionándose suficiente evidencia como para refutar la hipótesis 1.

Respecto de la hipótesis 2 cuyo enunciado es: El uso de desmalezadoras y/o rolos cuchillas favorece la mineralización del rastrojo de arroz. Por lo discutido hasta aquí se encontraron evidencias para validar a la misma.

CONCLUSIONES

Los desparramadores centrífugos de caucho y metálico produjeron mejores distribuciones del material en el suelo siendo recomendable su uso en la cosecha de arroz.

El uso de cosechadoras sin desparramador-esparcidor o con desparramador-deflector no es recomendable debido a la deficiente distribución y mineralización del rastrojo.

Los desparramadores centrífugos de caucho y metálico produjeron mejores distribuciones del material en el suelo siendo recomendable sus usos en la cosecha de arroz.

La utilización de la desmalezadora o del rolo cuchilla es recomendable cuando se trabaja con desparramador centrífugo o desparramador de caucho, no siendo apropiado su uso con máquinas sin desparramador-esparcidor y con desparramador deflector.

Se pudo observar en los resultados un efecto de mayor mineralización del rastrojo al emplear la mayor dosis de urea.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACPA 2011. Asociación Correntina de Plantadores de Arroz. Informe de producción mundial de arroz. Disponible en: acpaarrozcorrientes.org.ar.
2. Blevins, R. L.; Thomas, G. W.; Cornelius, P. L. 1977. Influence of no tillage and N fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn. *Agronomy Journal*. 69: 383-386.
3. Botta, G. F.; Tolón-Becerra, A.; Lastra-Bravo, X.; Tourn, M.; Balbuena, R.; Rivero, D. 2013. Continuous application of direct sowing: Traffic effect on subsoil compaction and maize (*Zea mays* L.) yields in Argentinean Pampas. *Soil & Tillage Research*. 134: 111-120.
4. Hidalgo, R.; Pozzolo, O. 2007. Cosecha. Guía de Buenas Prácticas Agrícolas para el cultivo de arroz en Corrientes. Convenio Asociación Correntina de Plantadores de Arroz (ACPA) - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 65-71.
5. Hidalgo, R.; Domínguez, F.; Pozzolo, O.; Botta, G.; Tourn, M.; Soza, E.; Ferrari, H.; Curró, C. 2009. Eficiencia en la siembra de arroz (*Oriza Sativa*): Incidencia de la constitución del tren de siembra y estado de la máquina. X Congreso de Ingeniería Rural y II del MERCOSUR. Rosario. Argentina. 8 p.
6. Hill, J. E.; Roberts, S. R.; Brandon, D. M.; Scardaci, S. C.; Williams, J. F.; Mutters, R. G. 2000. Rice Production in California (7/13), 18 p. Disponible en: <http://agronomy.ucdavis.edu/uccerice/product/rpic07.htm>. January 31.

7. Jenkins, B. M.; Bakker, R. R.; Williams, R. B.; Bakker-Dhaliwal, R.; Summers, M. D.; Lee, H.; Bernheim, L. G.; Huisman, W.; Yan, L. L.; Andrade-Sanchez, P.; Yore, M. 2000. Commercial feasibility of utilizing rice straw in power generation. Proceedings Bioenergy 2000, Omnipress, Madison, WI. 11 p.
8. Lavoura Arrozeira. 2006. Lei nova de impacto ecológico nisto queima isto de restolho de arroz. Vol. 7. 9 p. Brasil.
9. Pozzolo, O.; Hidalgo, R. 1996. Efecto del tránsito inundado. Rueda Pala. Congreso Internacional de Ingeniería Rural. Neuquén, Argentina, 20-25 de noviembre de 1996. 1: 130-135.
10. Torbert, H.; Reeves, D. 1995. Traffic and residue management systems: effects on fate of fertilizer N in corn. Soil & Tillage Research. 33: 197-213.
11. Van Kessel, K.; Horwath, W. 2000. Research on alternative rice straw management practices in California. 36 p. Disponible en: <http://agronomy.ucdavis.edu/ucceerice/STRAW/nflyer.htm>.
12. Vara, J.; Hidalgo, R.; Ojeda, S. 2007. Proyecto Desarrollo Arroceros Formosa. Convenio Ministerio de la Producción de la Provincia de Formosa - Consejo Federal de Inversiones (CFI). Argentina. 127 p.

Agradecimientos

Este trabajo fue llevado a cabo bajo el proyecto: Modelo de distribución territorial y sectorial de valores objetivos, para la evaluación de los progresos en la sostenibilidad mediante indicadores. Referencia: CTM2013-41750-P. Financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España.