



PRODUCCIÓN DE LECHUGA HIDROPÓNICA (*LACTUCA SATIVA* L.) EN LA PROVINCIA DE MENDOZA

ING. AGR. PAULA LIS GIMENEZ PEPA

**Especialización en Riego y Drenaje
MAESTRÍA EN RIEGO Y DRENAJE**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

Director: Mgtr. Ing. Agr. Leandro Damián Martín

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivo estudiar la aplicación de sistemas hidropónicos en el cultivo de “lechuga” (*Lactuca sativa L.*) haciendo hincapié en la técnica hidropónica NFT (Nutrient Film Technique); y analizar su adaptación a las condiciones productivas de la provincia de Mendoza. Esta modalidad de cultivo fue seleccionada debido a su eficiencia en el uso del recurso hídrico —particularmente limitado en la región— y a la adecuación a un ambiente agroclimático caracterizado por baja humedad relativa y elevada amplitud térmica diaria.

El sistema NFT permite la recirculación controlada de la solución nutritiva, asegurando una nutrición homogénea, adecuada oxigenación radicular y un desarrollo uniforme de las plantas, lo que se traduce en un producto final de alta calidad comercial e inocuidad sanitaria. Para el presente trabajo, se realizaron dos visitas técnicas a establecimientos locales referentes en la producción de lechuga hidropónica, lo que permitió comparar el diseño de los sistemas utilizados y los resultados productivos obtenidos.

Asimismo, el trabajo contempla la estimación económica de la inversión inicial necesaria para la implementación del sistema hidropónico NFT en invernadero, analizando su viabilidad productiva. En conclusión, la producción de lechuga bajo sistema hidropónico NFT se presenta como una alternativa viable, sustentable y rentable, contribuyendo al uso eficiente del agua y a la intensificación productiva hortícola en la región.

Palabras claves: Sistema NFT; Cultivo sin suelo; Solución nutritiva; Producción en invernadero; Eficiencia en el uso del agua.

ABSTRACT

The present study aims to analyze the application of hydroponic systems in the production of *Lactuca sativa* L. ("lettuce"), with emphasis on the NFT (Nutrient Film Technique) system, and evaluates its adaptation to the productive conditions of Mendoza Province. This method was selected for its water efficient use - particularly water scarce region - and its suitability for an agroclimatic environment characterized by low relative humidity and high daily thermal amplitude.

The NFT system allows for the controlled recirculation of the nutrient solution, ensuring homogeneous nutrient distribution, adequate root aeration, and uniform plant development, resulting in a final product of high commercial quality and safety. For the development of this study, two technical visits were conducted to local reference enterprises dedicated to hydroponic lettuce production, allowing for the comparison of system designs, management practices, and productive outcomes.

Additionally, the work includes the economic estimation of the initial investment required for the implementation of the NFT system in a greenhouse, evaluating its technical and financial feasibility. In summary, the production of lettuce using the NFT hydroponic system represents a viable, sustainable, and profitable alternative, contributing to efficient water use and the intensification of horticultural production in the region.

Keywords: NFT system; Soilless cultivation; Nutrient solution; Greenhouse production; Water use efficiency.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
2. FUNDAMENTACIÓN DE LA PROPUESTA	8
2.1 Ventajas	8
2.2 Limitaciones	9
3. OBJETIVOS.....	9
3.1 Objetivo General.....	9
3.2 Objetivos Específicos	9
4. ANTECEDENTES.....	9
4.1 Situación de la producción de hidroponía a nivel mundial, nacional y provincial.....	9
4.2 Calidad del agua	11
4.3 Nutrición de plantas y fertirriego	12
4.4 Clasificación de los cultivos sin suelo	16
4.4.1 Cultivos hidropónicos (en agua) o sin sustrato.....	17
4.4.2 Componentes del sistema hidropónico	20
4.4.3 Sistema aeropónico: una variante del sistema hidropónico.....	21
4.4.4 Cultivos en sustrato	22
4.5 Cultivo de lechuga hidropónica.....	24
4.5.1 Origen y características principales	24
4.5.2 Ecofisiología del cultivo	24
4.5.3 Tipos comerciales existentes en el mercado son:	25
4.5.4 Principales plagas y enfermedades:.....	26
4.5.5 Etapas del cultivo hidropónico de lechuga.....	27
5. EXPERIENCIAS EN EMPRESAS PRODUCTORAS DE LECHUGA CON SISTEMAS HIDROPÓNICOS EN MENDOZA.....	28
5.1.“Finca El Sauce”, La Primavera, Guaymallén.....	28
Comentarios.....	34
5.2.“UCO hidroponía”, Vista Flores, Tunuyán.....	34
Comentarios.....	39
5.3.Análisis comparativo de los emprendimientos productivos	39
6. COSTOS DE INVERSIÓN DEL SISTEMA NFT.....	41
6.1 Invernadero	41
6.2 Sistema hidropónico NFT	42
7. CONCLUSIÓN GENERAL	46
8. BIBLIOGRAFIA	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Rangos de valores CE por variedad de lechuga (Urrestarazu, 2015)	11
Tabla 2: Soluciones nutritivas recomendadas (Gilsanz, 2007).....	13
Tabla 3: Distribución de nutrientes en tanques de solución nutritiva (González, 2024)	15
Tabla 4: Formulación nutritiva para cultivo de lechuga en hidroponía (González, 2024)	15
Tabla 5: Clasificación de los sistemas de producción más utilizados.	19
Tabla 6: Granulometría de los sustratos más utilizados en hidroponía.	22
Tabla 7: Análisis comparativo entre los establecimientos visitados.....	40
Tabla 8: Costos de producción del sistema de hidroponía “NFT” en un ciclo de cultivo de lechuga.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tanques de plástico (tipo barril) para elaboración de solución madre.....	14
Figura 2: Esquema del proceso de fertirrigación (Cadahía, 2005).....	16
Figura 3: Esquema de sistemas y medios para cultivos sin suelo.....	17
Figura 4: Cultivo de lechuga en sistema NFT. (González, 2024).....	18
Figura 5: Esquema de sistema NFT (Castañares, 2020).....	18
Figura 6: Cultivo de lechuga en sistema raíz flotante (Castañares, 2020).....	19
Figura 7: Sistema aeropónico (Escuderos et al., 2017)	22
Figura 8: Sustratos inorgánicos: perlita, vermiculita, lana de roca, arena y grava.....	23
Figura 9 Sustratos orgánicos: aserrín, turba, cáscara de arroz, fibra de coco, corteza (Álvarez, 2016).....	23
Figura 10: Invernadero de plantines de distintas variedades de lechuga. Fuente: Elaboración propia.	28
Figura 11: Invernadero con producción de lechugas en sistema raíz flotante Fuente: Elaboración propia.	29
Figura 12: Producción de lechuga escarola morada en sistema raíz flotante. Fuente: Elaboración propia.	29
Figura 13: Producción de lechuga en sistema raíz flotante. . Fuente: Elaboración propia.	29
Figura 14: Cabezal de riego (bomba doble turbina de 3 HP y filtro de malla. Fuente: Elaboración propia.	30
Figura 15: Nave de producción de lechuga bajo el sistema NFT. Fuente: Elaboración propia.....	30
Figura 16: Nave de producción de lechuga bajo el sistema NFT y soporte metálico de camas (Izquierda). Cañerías de recuperación de solución madre (derecha). Fuente: Elaboración propia.	31
Figura 17: Tablero eléctrico del equipo de bombeo (Izquierda). Cisterna y sondas de pH, CE y temperatura (derecha). Fuente: Elaboración propia.....	32
Figura 18: Cabezal de riego (bombas + cisterna con solución madre), Fuente: Elaboración propia.	32
Figura 19: Equipo de Fertirriego Automático + Tanques de solución madre, Finca el Sauce. Fuente: Elaboración propia.....	33
Figura 20: Tanques con criaderos de truchas (izquierda). Filtros de mallas en distintos lugares del sistema y filtrado grueso a la salida del sistema NFT al sistema recolector de Solución madre (derecha).	33
Figura 21: Producto empacado para la venta (planta con raíz).	34
Figura 22: Cultivo de lechuga en sistema NFT. Elaboración propia	35
Figura 23: Conductos de recolección de solución diluida. Fuente: Elaboración propia.....	35
Figura 24: Camas de madera de 7 líneas de caños rectangulares de polipropileno. Fuente: Elaboración propia	36
Figura 25: Sala de agroquímicos. Fuente: Elaboración propia.....	37
Figura 26: Cisterna con solución nutritiva. Fuente: Elaboración propia	37
Figura 27: Microtubos de riego. Sistema NFT. Fuente: Elaboración propia.....	38
Figura 28: Plantines adquiridos en su vivero de confianza. Fuente: Elaboración propia.....	38

Figura 29: Invernadero con sistema de generadores frío/calor.	39
Figura 30: Invernadero Modelo IRIE 7.1, IRIE Hnos.SRL.	42
Figura 31: Esquema de Sistema Hidropónico NFT para la producción de lechuga bajo invernadero....	44
Figura 32: Perfil hidroponía fase final PVC, Colector PVC y accesorios de sistema NFT (arriba). Mesada de germinación 2m x 0,618m y caballete PVC (abajo).	44
Figura 33: Tanque de polietileno 5000 L. Bomba autocebante Elektrim Puelche 0,75 HP, 14.000L/h. Caños de PVC y polietileno.	45

1. INTRODUCCIÓN

Se entiende por cultivo sin suelo a cualquier sistema que no emplea el suelo para su desarrollo, pudiéndose cultivar en una solución nutritiva, o sobre cualquier sustrato con adición de solución nutritiva. La terminología es diversa, aunque originalmente la denominación es la de cultivos hidropónicos, que es como coloquialmente más se lo conoce (Baixauli, 2002).

La hidroponía es parte de los sistemas de producción llamados Cultivos sin Suelo, con estas técnicas de cultivo es posible obtener hortalizas de excelente calidad y sanidad, permitiendo un uso más eficiente del agua y los nutrientes (Beltrano & Gimenez, 2019).

En estos sistemas el medio de crecimiento y/o soporte de la planta está constituido por sustancias de diverso origen, orgánico o inorgánico, inertes o no inertes es decir con tasa variable de aportes a la nutrición mineral de las plantas. Desde sustratos como perlita, vermiculita o lana de roca, materiales que son consideradas propiamente inertes y donde la nutrición de la planta es estrictamente externa, a medios orgánicos realizados con mezclas que incluyen turbas o materiales orgánicos como corteza de árboles picada, cáscara de arroz etc. que interfieren en la nutrición mineral de las plantas (Gilsanz, 2007, INIA).

La palabra hidroponía deriva del griego hydro (agua) y ponos (labor o trabajo) y significa trabajar en el agua. Es una técnica ancestral llevada a cabo por distintas civilizaciones como medio de subsistencia en países como China, India, Egipto y algunos de América (cultura maya). En la actualidad es utilizada comercialmente en países con limitaciones serias de suelo y agua (Barbado, 2005).

Esta técnica se remonta a la época de la antigua Babilonia (año 600 A.C.) en los famosos jardines colgantes que se conocen como una de las siete maravillas del mundo antiguo. Éstos fueron considerados muchos siglos más tarde como el primer cultivo hidropónico hecho por el hombre del que la humanidad tenga algún conocimiento. Los aztecas, en Centroamérica, fueron la primera civilización en utilizar la agricultura hidropónica como sistema de producción y supervivencia, a través de los llamados jardines flotantes, sobre la superficie del lago Tenochtitlán en México. Éstos construían balsas de cañas y/o palos, colocaban tierra del fondo del lago rica en materia orgánica sobre las mismas, permitiéndoles el cultivo de frutas, hortalizas y flores en la superficie. De igual forma, los jardines flotantes de China son considerados ejemplos hidropónicos. También, existen jeroglíficos egipcios, de cientos de años A.C. que describen el cultivo de plantas en agua a lo largo del Nilo a través de un primitivo esquema hidropónico (Álvarez, 2016).

A fines de la década del 30, el doctor William F. Gericke de la Universidad de California, obtuvo hortalizas cosechadas a partir de un sistema hidropónico a gran escala, siendo considerado el fundamento en el que sustentan todas las formas de cultivo en agua. Con el tiempo el sistema se fue modificando, recibiendo aportes de estudios de fisiología vegetal (que estudian la nutrición de las plantas, sus exigencias y la forma en que esto se realiza) y posteriormente empleándose el uso de plásticos en la agricultura. Esto produjo un gran avance, surgiendo técnicas de cultivo que pretendían dar solución a distintos problemas, tales como la necesidad de alimentos en zonas desérticas, la contaminación de suelos afectados por el uso de herbicidas y agroquímicos, la imposibilidad de realizar cultivos en climas adversos, la necesidad de contar con alimentos frescos durante viajes espaciales o las extensas travesías por tierra o por aire (Barbado, 2005).

Desde el punto de vista comercial, esta técnica de cultivo tiene aproximadamente entre 70 y 80 años de antigüedad, logrando un gran crecimiento y expansión en el mundo a partir de 1950, en países como Italia, España, Francia, Inglaterra, Alemania, Suecia, Rusia e Israel. Con el tiempo, han ido surgiendo numerosas aplicaciones comerciales, pudiéndose llevar a cabo en invernaderos en todos los climas.

2. FUNDAMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

La horticultura es esencial y muy importante para el desarrollo de la vida humana debido a que es una de las principales actividades agrícolas que aporta alimentos y bienes primarios, a partir de los cuales se pueden generar otras combinaciones de alimento. La lechuga es una de las hortalizas de hoja más cultivada a nivel mundial. Esto demanda un rápido manejo y distribución del producto hacia los puntos de venta, siendo su comercialización marcadamente regional y de cercanías.

La hidroponía es una alternativa de producción agrícola que utiliza aproximadamente el 20% del recurso hídrico comparado con las producciones en suelo bajo sistemas de riego superficial tradicionales.

Los diversos sistemas de producción hidropónica de lechuga permiten ahorro de agua y acortar el ciclo de producción de cultivo, logrando además un producto final con buen estado sanitario y de mayor ternura.

Es de gran importancia considerar los distintos tipos de sistemas hidropónicos empleados en la producción de lechuga a nivel mundial, haciendo hincapié en la experiencia local. En el presente trabajo, se pretende investigar la importancia del sistema hidropónico en el cultivo de *Lactuca sativa* L. "lechuga", estudiando sus características, analizando las ventajas y limitantes que puede llegar a presentar, evaluando económicamente la factibilidad de su uso como una alternativa de mejora en cuanto al rendimiento del cultivo y el ahorro de agua.

Según Castañares (2020), entre las ventajas y limitantes estudiadas en el sistema hidropónico se encuentran:

2.1 Ventajas

- Optimización del uso del agua.
- Riego con solución nutritiva controlada.
- Posibilidad de producción en zonas donde no hay tierra disponible y/o los suelos son de baja calidad para la agricultura.
- Reducción del requerimiento de espacio.
- Producción en invernadero bajo condiciones controladas:

El autor señala que la combinación invernadero + hidroponía permite un mejor control de factores ambientales (luz, temperatura, humedad, CO₂) y de la nutrición radicular, traduciéndose en mayor rendimiento, mejor calidad y menor riesgo sanitario, refiriéndose al potencial técnico del sistema. Si bien no habría un control activo real de todas las condiciones ambientales, se podría actuar sólo de forma pasiva en muchos casos (sombreado o ventilación natural), destacando las

limitaciones prácticas reales de los emprendimientos del país, donde se recurre predominantemente al empleo de medidas pasivas.

- Sanidad adecuada de los cultivos.
- Mínimo descarte de producto.
- Cultivo en las cercanías de los centros urbanos

2.2 Limitaciones

- Mayor Inversión inicial.
- Personal altamente capacitado.
- Dependencia energética.
- Requerimiento de agua de buena calidad:

Si bien se considera la calidad del agua como una limitación técnica y operativa, también es posible utilizar aguas que no tengan buenos parámetros, contando con una solución tecnológica activa tal como ósmosis inversa, permitiendo ampliar la aplicabilidad de la hidroponía a zonas con fuentes hídricas deficientes, compensando la limitación señalada por Castañares.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Estudiar la aplicación de sistemas hidropónicos en el cultivo de *Lactuca sativa* L. “lechuga” y su adaptación a las condiciones productivas de la provincia de Mendoza.

3.2 Objetivos Específicos

- Describir los antecedentes existentes del cultivo de lechuga hidropónica a nivel mundial, nacional y provincial.
- Clasificar los sistemas de producción sin suelo e identificar las principales ventajas y desventajas.
- Describir los componentes de los sistemas hidropónicos más utilizados a nivel local.
- Realizar visitas técnicas a dos empresas del medio referentes en la producción de lechuga hidropónica comparando los sistemas utilizados y resultados productivos obtenidos.
- Calcular el costo económico de la inversión inicial requerido para la producción de lechuga bajo un sistema hidropónico.

4. ANTECEDENTES

4.1 Situación de la producción de hidroponía a nivel mundial, nacional y provincial

La producción hidropónica se ha consolidado como una tecnología de reconocida eficiencia y de masiva implementación en países desarrollados y altamente tecnificados como Japón, Holanda,

España y EE UU. En el artículo Hidroponía: la producción de cultivos sin suelo está en auge (2020), se afirma: “la superficie mundial de cultivos bajo este sistema de producción (hidroponía y sustrato) en 2015 fue de 40.000 ha, siendo Holanda el país con mayor superficie cubierta con 5.000 ha, seguido por España con 2.500 ha, Bélgica y el Reino Unido con 2.000 ha, Japón (1.500 ha), China y Francia (1.000 ha), Israel (750 ha), Canadá (500 ha) y Estados Unidos (250 ha)” (Puerta, 2020).

En Argentina, el sistema hidropónico comenzó a implementarse hace más de 20 años en el sector ornamental, y creció considerablemente en los últimos 5 años, extendiéndose a otros sectores como el hortícola, cítrico y hasta para la producción de forraje verde. Las producciones de mayor relevancia en el sistema hidropónico corresponden a hortalizas de hoja, como lechuga, rúcula y acelga. En el sistema en sustrato se destaca el cultivo de tomate, frutilla y en menor medida el pimiento. Actualmente, hay producciones de este tipo en todas las provincias del país y no sólo en áreas tradicionales de producción, sino que hay un crecimiento masivo en áreas urbanas. Existen producciones comerciales y de autoconsumo desde el norte hasta el sur del país, incluso experiencias promisorias para el abastecimiento en la Antártida Argentina (INTA, 2020).

La Asociación Hidropónica Argentina, creada en el 2023, nuclea a productores del país, comprometidos con la producción sostenible de alimentos vegetales. Es un espacio de divulgación técnica, experiencia e innovación para fortalecer y potenciar el sector hidropónico argentino. Dentro de los objetivos principales de trabajo, se encuentran fomentar la comercialización de productos hidropónicos en todo el ámbito nacional, difundir los beneficios para la salud y el medio ambiente de los productos hidropónicos e impulsar el mejoramiento de los métodos de producción hidropónica.

Según una encuesta realizada a nivel nacional por la Asociación Hidropónica en el 2023, existen 127 establecimientos de 138 que producen lechuga mediante algún sistema hidropónico, siendo el sistema NFT notablemente el más utilizado. Aproximadamente, el 62% de los encuestados posee una superficie productiva de hasta 500 m², el 82% hasta 1000 m² y el 93% hasta 5000 m². Sólo un 7% tiene una superficie productiva mayor a 5000 m². Las variedades utilizadas son aquellas que no forman cabeza, que se adapten mejor a la zona de producción y según lo demande el mercado, en general lo que mayor se produce son variedades de lechugas mantecosas verdes.

Según un ensayo realizado por el INTA EEA de Santa Cruz, en hortalizas de hoja (lechuga y acelga), la calidad y rendimiento de producto obtenido con la tecnología NFT sobre todo en el cultivo de lechuga fue superior a la obtenida respecto al cultivo tradicional. Además, se destaca el buen estado sanitario de los cultivos y la terneza de las hojas de las verduras obtenidas. Por otro lado, el sistema facilita las labores culturales y permite el acceso a la horticultura a personas de edad avanzada o con problemas de motricidad al trabajar con mesadas en altura (Birgi, 2015).

Mendoza ocupa el segundo lugar en el país en la producción de hortalizas, y dentro de las actividades agrícolas de la provincia, la horticultura ocupa el tercer lugar, después de la vid y los frutales. Uno de los principales inconvenientes para el desarrollo de esta actividad productiva se relaciona con la escasa o ausente dotación de agua para riego en diferentes zonas de la provincia, situación que se ha agravado durante la última década (IDR, 2022).

El Departamento General de Irrigación en el pronóstico de Caudales de los ríos de Mendoza para la temporada 2022-2023 revela que la situación hidrológica de los ríos más importantes de la provincia es crítica, encontrándose en sequía hidrológica extrema y severa. Es por ello que es de vital relevancia lograr una alta eficiencia en el uso del recurso hídrico destinado a la agricultura,

incursionando en sistemas de producción que utilicen menos agua que la agricultura tradicional (Irrigación, 2022).

Dada la situación hídrica de la provincia de los últimos años, la hidroponía es una alternativa de producción agrícola que utiliza aproximadamente el 20% del recurso hídrico comparado con los sistemas de riego superficial tradicionales. El sistema de producción hidropónico de lechuga, además del gran ahorro de agua, permite acortar el ciclo de producción, pudiendo tener una lechuga de excelente calidad e inocuidad a los 40- 45 días posteriores a la siembra.

Desde hace unos años, el empleo del sistema hidropónico ha ido en aumento en Mendoza, sobre todo en la producción de hortalizas de hoja (lechuga, espinaca, y acelga). Además, otros cultivos son producidos en sustratos como frutilla, tomate y pimiento y la producción hidropónica de forraje para alimento de vacas, caballos y aves. La superficie destinada a la producción hortícola bajo el sistema hidropónico en la provincia es alrededor de 20.000 m² (IDR, 2022).

4.2 Calidad del agua

Es de suma importancia evaluar la calidad del agua de riego para el cultivo hidropónico en un laboratorio especializado. Así como en los sistemas convencionales la calidad del suelo es determinante del éxito, en los sistemas hidropónicos la calidad del agua es esencial tanto desde el punto de vista microbiológico como en su calidad química (Gilsanz, 2007). Conocer si el agua es apta para su uso, si necesita de correcciones o no, y si posee nutrientes y de qué tipo, es relevante al momento de formular la solución madre.

Hay dos tipos de análisis básicos: microbiológico y fisicoquímico. El primero consiste en determinar la presencia o ausencia de microorganismos potencialmente perjudiciales para la salud (como *Escherichia coli* o *Salmonella* entre otros). El análisis fisicoquímico considera la medición del pH, la conductividad eléctrica (CE), la alcalinidad total, la concentración de bicarbonatos (HCO₃⁻), carbonatos (CO₃⁻²) y sulfatos (SO₄⁻²), elementos indeseables como sodio (Na⁺), cloro (Cl⁻) y boro (B⁺) y otros elementos tales como arsénico (As⁺), plomo (Pb⁺²), selenio (Se⁺), cromo (Cr⁺²), entre otros.

El pH ideal para hidroponía es entre 5,5 y 6,5; siendo este rango el óptimo para asegurar la máxima disponibilidad de nutrientes. Lo habitual es tener que realizar correcciones con ácidos aptos para uso agrícola. Los más usados son ácido fosfórico, nítrico y sulfúrico.

La CE está estrechamente relacionada con la cantidad de sólidos disueltos en el agua, principalmente Na⁺, Mg⁺², Ca⁺², SO₄⁻² y Cl⁻ que provienen de la alteración de las rocas originales. Es conveniente que inicialmente la fuente de agua cuente con el nivel más bajo posible de conductividad eléctrica con valores son adecuados entre 0,7 hasta 1,2 mS/cm. Luego del agregado de sales (al formular la solución), la CE dependerá del cultivo y el estado de crecimiento. El cultivo de lechuga tiene márgenes bajos para su desarrollo (entre 1,5-2,3 mS/cm según variedad), con un rango óptimo entre 1 hasta 1,6 mS/cm. Esto se deberá tener en cuenta a la hora de realizar la formulación de la solución madre, ya que puede limitar la absorción de agua y nutrientes (solución nutritiva diluida).

En la siguiente tabla se detallan los rangos de CE por variedad de lechuga:

Tabla 1: Rangos de valores CE por variedad de lechuga (Urrestarazu, 2015)

Variedad o tipo	CE ideal (mS/cm)	Comentarios técnicos
Mantecosa (Butterhead)	1,4 – 1,8	Requiere soluciones equilibradas; sensible al exceso de sales.
Criolla / Francesa	1,6 – 2,0	Tolera algo más de concentración; ideal para sistemas flotantes.
Romana (Cos)	1,8 – 2,2	Mayor vigor y área foliar; demanda más nutrientes.
Lollo Rossa / Lollo Bionda	1,4 – 1,8	Prefiere CE medias, buena aireación y temperatura estable.
Batavia	1,6 – 2,0	Buena respuesta a CE estable, sin fluctuaciones bruscas.
Iceberg	1,8 – 2,3	Exigente en nutrientes, pero sensible a altas temperaturas.

La alcalinidad del agua se define como la capacidad para neutralizar ácidos. Está representada principalmente por CO_3^- , HCO_3^- e hidróxidos (OH^-). Los iones responsables de la alcalinidad pueden neutralizarse, total o parcialmente, mediante el agregado de ácidos. Su valor puede expresarse en ppm o mg/L de CO_3^- , HCO_3^- , HCO^- o carbonato de calcio (CaCO_3).

En el caso que se deba mejorar la calidad fisicoquímica de la misma, se pueden realizar dos prácticas, una es la recirculación del agua en equipos de ósmosis inversa previo al riego y otra opción es la recolección de agua de lluvia. El agua obtenida, de alta calidad, puede emplearse para sustituir total o parcialmente a la que se utilizará en la preparación de la solución concentrada (Castañares, 2022).

4.3 Nutrición de plantas y fertirriego

Las plantas necesitan para su crecimiento y desarrollo, una serie de elementos químicos considerados como nutrientes: macroelementos (N, P, K, S, Mg, Ca) y microelementos (Fe, Cu, Mn, B, Mo, Cl, Zn y Ni). En hidroponía los nutrientes para el crecimiento y el normal desarrollo de las plantas cultivadas son suministrados por medio de las soluciones nutritivas. (INTA, 2002).

Lo que refiere a los macronutrientes para la fertilidad hidropónica, se ha observado que manejar de manera adecuada la tasa de fertilidad de Nitrógeno en las distintas etapas del cultivo de lechuga tiene mayor impacto sobre el peso seco de la planta respecto al resto de los macronutrientes. También, hay que tener en cuenta otros elementos como el Azufre, ya que pueden presentar limitados o nulos síntomas visuales cuando son deficientes, provocando una disminución significativa en el peso seco. Es importante ajustar las tasas de fertilidad de cada macroelemento para permitirle a los productores reducir los costos de insumos y los impactos negativos ambientales (Veazie et al., 2022)

A la hora de aplicar un plan nutritivo de manera correcta, es necesario tener algunas consideraciones a saber:

- oxigenación constante de la solución nutritiva,
- densidad adecuada de plantación,
- conocer los tiempos de trasplante (cada 40 días aproximadamente),
- realizar controles periódicos del nivel de la solución nutritiva (pH y CE) y
- controlar el estado sanitario de las plantas, ataque de plagas y enfermedades.

Existen numerosas formulaciones de soluciones nutritivas adaptadas a diferentes cultivos, sustratos y climas. Las más comunes son de carácter general y son utilizadas en forma aceptable por la mayoría de las plantas; luego, a través de la experiencia y la práctica, se van especializando para un cultivo, para una etapa del cultivo y/o variedad. En el siguiente cuadro se muestra una variedad de soluciones nutritivas a ser utilizadas.

Tabla 2: Soluciones nutritivas recomendadas (Gilsanz, 2007).

Elemento	H. y Arnon	Hewit	Fao	Jensen	Larsen	Cooper	Steiner
Concentración en ppm							
N	210	168	150-225	106	172	200-236	167
P	31	41	30-45	62	41	60	31
K	234	156	300-500	156	300	300	277
Mg	34	36	40-50	48	48	50	49
Ca	160	160	150-300	93	180	170-185	183
S	64	48		64	158	68	
Fe	2,5	2,8		3,8	3	12	2-4
Mn	0,5	0,54	0,5-1	0,81	1,3	2	0,62
B	0,5	0,54	0,-0,4	0,46	1	0,3	0,44
Cu	0,02	0,064	0,1	0,05	0,3	0,1	0,02
Zn	0,05	0,065	0,1	0,09	0,3	0,1	0,11
Mo	0,01	0,04	0,05	0,03	0,07	0,2	

Fuente: FAO, *La Empresa Hidropónica de Mediana Escala, La técnica de la solución Nutritiva Recirculante (NFT)*, (1996)

El control de las soluciones nutritivas de un cultivo sin suelo se realiza mediante mediciones de pH y CE de la solución de entrada al sistema y del drenaje. Los dispositivos empleados para medirlos son peachímetros y conductímetros respectivamente. Otro parámetro importante es la temperatura de la solución nutritiva, ya que puede afectar en la actividad de las raíces e influir en la absorción de agua y nutrientes por falta de oxigenación de estas. En general, para especies de hojas cultivadas en hidroponía, se recomienda que la temperatura esté entre 18°C y 24°C. Existe instrumental para medir el oxígeno disuelto de la solución denominado oxímetros. Se puede mejorar los niveles de este último mediante el empleo de bombas hidráulicas, bombas de aire y/o compresores. No obstante, es fundamental la observación de la coloración de las raíces, debiendo ser blancas brillantes para su correcta actividad. (Castañares, 2022).

4.3.1 Preparación de las soluciones nutritivas

En los sistemas hidropónicos, los fertilizantes se disuelven en distintos tanques para evitar reacciones químicas indeseadas. El sulfato de magnesio debe colocarse en un tanque separado del nitrato de calcio, ya que ambos reaccionan formando precipitados insolubles.

Hay dos formas de preparar las soluciones nutritivas: diluidas o concentradas (solución madre), siendo éste el caso más común.

La solución madre concentrada es una mezcla de fertilizantes disueltos en agua en altas concentraciones, utilizada como base para preparar la solución nutritiva final que se aplicará a las plantas. Se prepara en tanques pequeños (por ejemplo, de 10 L o 100 L) con altas dosis de fertilizantes. Se elaboran varias soluciones madre (generalmente A, B y C) para evitar reacciones químicas entre fertilizantes incompatibles. Su concentración suele ser de 50 a 100 veces mayor que la solución nutritiva de aplicación, y se diluye automática o manualmente antes del riego mediante dosificadores.

La solución nutritiva final o solución diluida es la que llega a las raíces de las plantas después de mezclar las soluciones madre con agua. Contiene los niveles adecuados de nutrientes según las necesidades del cultivo y se aplica directamente al sistema hidropónico.



Figura 1: Tanques de plástico (tipo barril) para elaboración de solución madre.

Para lograr que la planta tome los nutrientes en forma óptima, es necesario que éstos se encuentren en concentraciones y relaciones adecuadas en la solución nutritiva (González, 2024).

En la Tabla 3 se observa un ejemplo de fórmula nutritiva para lechuga (*Lactuca sativa* L.). En este caso se sugiere preparar la solución concentrada para 1000 L de solución nutritiva, distribuyendo los fertilizantes en tres tanques de 10 L.

Cada tanque debe llenarse hasta la mitad con agua (5 L), luego se incorpora el fertilizante correspondiente, y finalmente se completa el volumen con agua. La distribución de los fertilizantes se realiza del siguiente modo:

Tabla 3: Distribución de nutrientes en tanques de solución nutritiva (González, 2024)

Tanque	Fertilizantes que contiene	Nutrientes aportados	Razón de separación / observaciones
Tanque A	Nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$)	Calcio (Ca^{2+}), Nitrógeno nítrico (NO_3^-), Hierro (Fe)	No debe mezclarse con sulfatos o fosfatos porque precipita (forma yeso o fosfato de calcio).
	Quelatos de hierro (Fe-EDDHA, Fe-DTPA)		
Tanque B	Sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	Magnesio (Mg^{2+}), Azufre (S), Potasio (K^+), Fósforo (P), Nitrógeno nítrico (NO_3^-)	Compatible entre sí. El sulfato de magnesio va aquí para evitar reacción con el calcio del tanque A.
	Nitrato de potasio (KNO_3)		
	Fosfato monopotásico (KH_2PO_4)		
	Sulfato de potasio (K_2SO_4)		
Tanque C (opcional)	Micronutrientes (B, Mn, Zn, Cu, Mo)	Micronutrientes varios	Se usa para un ajuste más preciso y para evitar interacciones entre microelementos y macronutrientes.
	Ácidos para ajuste de pH (ácido nítrico o fosfórico)		

El sulfato de magnesio se coloca en el Tanque B, junto a los fertilizantes compatibles, y nunca se mezcla en estado concentrado con el nitrato de calcio (Tanque A). Las soluciones A y B se combinan solo en la línea de riego o tanque de dilución final.

Como se mencionó anteriormente, es importante considerar la calidad del agua de riego antes de preparar la solución, evaluando la concentración natural de nutrientes (Ca^{+2} , Mg^{+2} , HCO_3^- , etc.) para ajustar o descontar dichos valores de la formulación final (Castañares, 2022).

Tabla 4: Formulación nutritiva para cultivo de lechuga en hidroponía (González, 2024)

Fertilizante	g / 1000 L de solución final
Nitrato de potasio	520
Nitrato de calcio	750
Fosfato monoamónico	150
Sulfato de magnesio	430
Ácido bórico	2,5
Sulfato de cobre	1,2
Sulfato de manganeso	2
Sulfato de cinc	0,9
Molibdato de sodio	0,15
Quelato de hierro (6 % Fe) EDDHA	30

Con respecto a la reposición y renovación de la solución nutritiva, se produce un descenso de la solución nutritiva como consecuencia del consumo hídrico de las plantas. La pérdida media diaria de agua puede variar entre 5% hasta 30%, dependiendo de la unidad de cultivo y del tipo y número de plantas. Se debe compensar esta pérdida diaria o semanalmente según la experiencia del productor mientras se utilice la solución (Resch, 1982).

Considerando que el consumo de agua es mayor que el de nutrientes, es natural que aumente la

concentración de éstos, con el consecuente aumento de la CE. Sumado a lo anterior, y dado que los distintos elementos esenciales son absorbidos en diferentes cantidades y velocidades, ocurren desbalances entre los mismos. Además, al producirse la absorción de nutrientes, las raíces liberan iones hidrógenos (H^+) e hidróxidos (OH^-), lo que explica los cambios en el pH de la solución. Esta es la razón por la cual deben realizarse correcciones periódicas en el nivel de la solución de la CE y el pH.

En caso de que el agua utilizada fuera de mala calidad, los iones indeseables presentes, tales como sodio, bicarbonatos, entre otros; tienden a acumularse en la solución, provocando efectos nocivos (toxicidad, competencia con otros elementos, dificultad de regular el pH, etc.); por lo que deben realizarse renovaciones más frecuentes de la totalidad de la solución nutritiva. No sucede lo mismo al emplearse agua de buena calidad, que admite el uso por tiempo más prolongado, atendiendo a las correcciones diarias mencionadas. (Castañares, 2022)

En sistemas automatizados se tiene un diseño como se muestra en la figura 2.

En primer lugar, se encuentran los tanques con soluciones concentradas de fertilizantes, los que se extraen mediante un inyector. Se deben programar tiempos y diluciones con el agua de riego, controlando pH y CE. La disolución fertilizante obtenida, después del filtrado llega al sistema de microtubos para alimentar a las plantas (Cadahía, 2005).

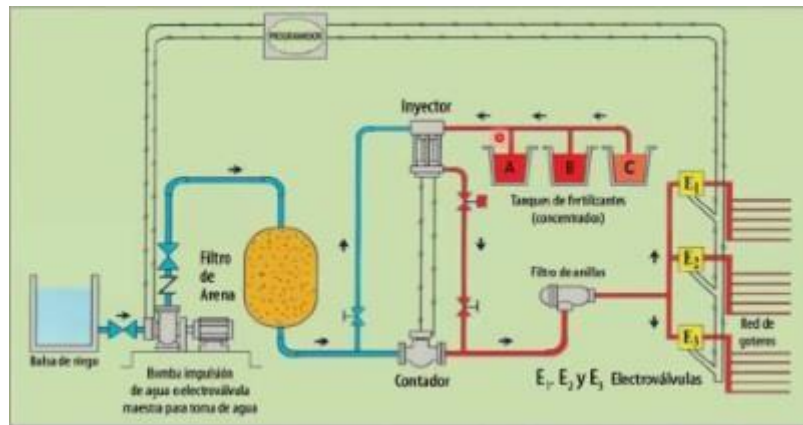


Figura 2: Esquema del proceso de fertirrigación (Cadahía, 2005).

4.4 Clasificación de los cultivos sin suelo

Como se mencionó anteriormente, en los sistemas de producción hidropónicos, el medio de crecimiento y/o soporte de la planta está constituido por sustratos de diverso origen (orgánico o inorgánico, inertes o no inertes) es decir con tasa variable de aportes a la nutrición mineral de las plantas. A continuación, se presenta una breve clasificación de estos, con materiales que pueden ser utilizados como sustratos (Gilsanz, 2007).

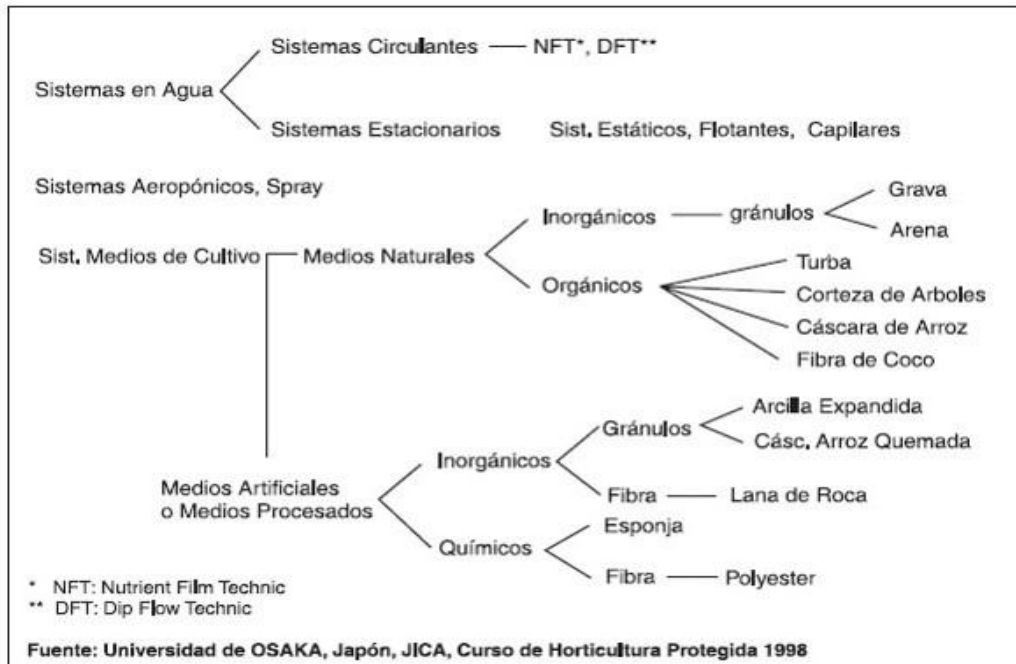


Figura 3: Esquema de sistemas y medios para cultivos sin suelo.

4.4.1 Cultivos hidropónicos (en agua) o sin sustrato

Los sistemas más utilizados son:

- **NFT (Nutrient Film Technique) o Técnica de la película nutriente**

Este sistema al principio se aplicó a la producción de hortalizas de calidad y fue muy difundido en todo el mundo. Actualmente es utilizado para especies de hoja igual que el sistema anterior, obteniendo plantas de color intenso y homogéneo; textura crujiente y hojas firmes (lechuga), tamaño y peso uniforme, ausencia de tierra o residuos y menor daño foliar gracias al ambiente protegido del invernadero.

El mismo se basa en la circulación de una fina lámina de solución nutritiva que circula por canales de tubos de PVC chatos de distinta sección, según el tamaño de la planta que se cultive. Existen en el mercado de 6,5 cm x 5 cm de prof. y otros menos profundos de 6,5 cm de ancho x 3 cm de prof. y caños más angostos de 4,5 cm de ancho x 5 cm de profundidad.

En la parte superior de los canales de PVC de sección rectangular, se hacen orificios para colocar las plantas a distancias variables según el cultivo y su etapa de crecimiento. Los canales están soportados por una mesada o banco que puede ser de hierro galvanizado, plástico o madera. Las raíces de la lechuga se desarrollan a lo largo del canal. El canal tiene una pendiente desde 2 a 4-5% que permite el flujo de la solución nutritiva a lo largo del mismo con una altura de lámina de 4-5 mm, siendo conducida a un recipiente tanque reservorio de plástico. Luego, a través de una bomba se impulsa y reutiliza. (Álvarez, 2016).



Figura 4: Cultivo de lechuga en sistema NFT. (González, 2024)

La solución nutritiva circula en intervalos intermitentes de tiempo que se establecen según el tipo de cultivo y la etapa del ciclo. El caudal de circulación sugerido es entre 1 y 2 L/min, para que de esta forma se evite el arrastre de plantas y a su vez pueda permitir la correcta absorción de solución de las raíces (Castañares, 2020).

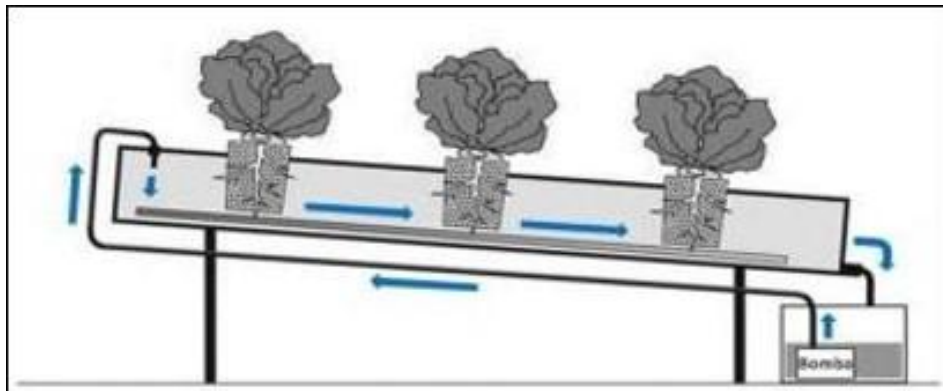


Figura 5: Esquema de sistema NFT (Castañares, 2020).

- **Sistema de raíz flotante (Floating system).**

Este sistema, es una técnica empleada en hortalizas de hoja, en países como Canadá, Japón, Estados Unidos, Italia, Venezuela y otros de Sudamérica (Álvarez, 2016). Las plantas se encuentran con sus raíces sumergidas en la solución nutritiva, la cual se remueve con una bomba de aire o agua, sostenidas por alguna estructura flotante (por lo general, placas de poliestireno expandido perforadas) (Castañares, 2020). Es importante remover la solución nutritiva para asegurar la oxigenación adecuada del medio líquido.

El contenedor que aloja la solución nutritiva debe ser opaco para impedir la entrada de luz y el desarrollo de las micro algas y hongos en su interior. Asimismo, debe evitarse que queden áreas sin cubrir en la superficie de la solución. Antiguamente, se usaban mesadas de hormigón pintadas

con material bituminoso y posteriormente bancadas forradas de plástico negro. Pueden utilizarse mesadas de madera con coberturas de plástico negro de 150 micrones de espesor, pero lo más común son bateas o bancadas de 1,2 a 3 m de ancho, con un largo variable de 8 a 50 m y 20 a 40 cm de profundidad, con una altura de la solución nutritiva de aproximadamente 9 cm (Álvarez, 2016).



Figura 6: Cultivo de lechuga en sistema raíz flotante (Castañares, 2020).

Estos sistemas se pueden clasificar según el movimiento de la solución nutritiva; pudiendo ser “estática” o “estacionaria”, donde la solución permanece quieta y las raíces flotan o se sumergen parcialmente, como por ejemplo en el Sistema DWC; o “con solución circulante”, donde la solución fluye o se bombea continuamente, como por ejemplo el Sistema NFT.

Además, según la recirculación de la solución nutritiva los sistemas se clasifican en “abiertos”, cuando la solución nutritiva no se reutiliza; o “cerrados”, cuando la solución se recoge, ajusta y recircula. En la siguiente tabla se clasifican los sistemas mencionados:

Tabla 5: Clasificación de los sistemas de producción más utilizados.

Sistema	Principio de funcionamiento	Tipo de flujo	Características principales
NFT (Nutrient Film Technique)	Lámina delgada de solución circulante bajo las raíces	Cerrado	Alta oxigenación, ahorro de agua, requiere control constante.
DWC (Deep Water Culture) o Sistema de raíz flotante	Raíces sumergidas en solución oxigenada	Cerrado o estático	Ideal para cultivos de hoja.

4.4.2 Componentes del sistema hidropónico

Existen diversos materiales que pueden ser utilizados en la instalación de un sistema hidropónico y múltiples técnicas de producción. En este documento se desarrollará con mayor profundidad solo el sistema de producción Nutrient Film Technique (NFT) de lechuga, por ser el más utilizado en la zona. Se trata de un sistema cerrado con recirculación de la solución nutritiva

En primer lugar, se debe contar con una fuente de agua en cantidad y calidad. La producción se puede realizar a campo o bajo cubierta. En el primer caso existen lugares donde se produce al aire libre o con una malla para evitar una caída de lluvia o insolación excesiva. En el caso de la provincia de Mendoza, se necesita una estructura de invernadero para poder llevar a cabo la producción, monitoreando la temperatura y humedad continuamente. Estos parámetros se miden con termómetros e higrómetros dentro del invernáculo. Además, en el caso de disponer de plantines propios, se debe asignar un sector de la estructura para realizar la siembra y posterior cuidado de los plantines (plantinera).

Dentro de los componentes principales y equipamiento básico necesario se encuentran: bombas centrífugas, equipo de filtrado, tanques de almacenamiento de solución nutritiva, tuberías de distribución del agua de riego, camas o bateas (caballetes) de producción con líneas de PVC. Se debe contar con un sistema eléctrico en condiciones, un generador eléctrico por posibles cortes de luz y timers analógicos o digitales para poder actuar sobre el sistema de control de flujo de la solución nutritiva, intermitencia de esta, etc. (Birgi, 2015).

A continuación, se describen los elementos más importantes a tener en cuenta al momento de comenzar con la producción hidropónica de lechuga:

- **Perfiles**

Son canales con perforaciones que sostienen las plantas en el sistema NFT. Los materiales más comunes son PVC y polipropileno. La sección puede ser circular (caño) o rectangular (canal). Es muy importante que el material tenga un buen espesor para evitar el pasaje de luz, con la consecuente formación de microalgas y hongos

Los diámetros y distancias entre orificios varían según la especie y la etapa de crecimiento del cultivo.

- **Tanques**

Es el lugar donde se aloja la solución nutritiva diluida que circula por los perfiles, abastecida por diferentes tanques de formulación que poseen los distintos nutrimentos. El sistema de producción se puede diseñar con un solo tanque de gran volumen que abastezca todo el sistema (un grupo de mesas) o un tanque por mesa de cultivo individual, según el grado de tecnología y/o automatización del emprendimiento.

La primera alternativa se adapta bien cuando son superficies de cultivo muy grandes, disminuyendo tiempos de monitoreo y reposición de la solución, reduciendo el riesgo de calentamiento de esta en épocas de verano por el gran volumen de agua que se maneja. Por otro lado, la segunda opción es tener tanques individuales, permitiendo manejar distintas soluciones nutritivas por mesa, y en caso de ocurrir algún problema sanitario, se puede aislar y controlar fácilmente.

Los tanques que comúnmente se utilizan en hidroponía son de polietileno o PVC, ya que tienen alta resistencia a la corrosión y a los nutrientes, son livianos, fáciles de mover, son económicos, no reaccionan químicamente con la solución nutritiva y se encuentran disponibles en el mercado en distintos volúmenes. También se utilizan tanques de polietileno de alta densidad (PEAD), fibra de vidrio y/o acero inoxidable.

- ***Equipo de bombeo***

Se suelen utilizar bombas tipo centrífugas con capacidad para impulsar grandes volúmenes de agua. Deben ser capaces de movilizar solución nutritiva desde el tanque de solución hacia los perfiles (caños) de los que el cultivo toma para su nutrición (en sistema NFT) (Castañares, 2022).

- ***Invernadero***

Es una estructura de protección que permite obtener un microclima adecuado para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Básicamente, está compuesto por dos partes: la estructura y la cobertura. Los elementos más comunes para la estructura son madera y metal (acero galvanizado) o una combinación de ambos, según el costo y la vida útil.

Para la cobertura, el material más utilizado es el polietileno larga duración con tratamiento térmico, cuyo espesor varía entre 100 y 150 micrones, siendo la vida útil entre los dos a tres años.

- **Mallas**

Su objetivo es reducir la radiación que llega al cultivo y con ello disminuir la temperatura. Las más utilizadas son media sombras negras. El porcentaje de sombreo debería rondar entre el 30% y 50%.

Existen mallas tipo “aluminizadas” que son muy eficientes en bajar la temperatura, dado que reflejan parte que la radiación, así como también las mallas de media sombra blancas,

- ***Cobertura de suelo***

Debe ser de un material permeable para permitir el drenaje de agua, tales como rafia, geotextil o piedras. Evita el crecimiento de malezas, que pueden hospedar plagas y enfermedades perjudiciales para el cultivo, facilitando además la higiene de las instalaciones.

4.4.3. Sistema aeropónico: una variante del sistema hidropónico

En este sistema, la raíz permanece en el aire, en un contenedor que la mantiene en la oscuridad. Allí se aplica la solución nutritiva en forma de niebla (microaspersión) de forma intermitente. Según el tipo de flujo es un sistema cerrado, posee máxima eficiencia y alto costo tecnológico.

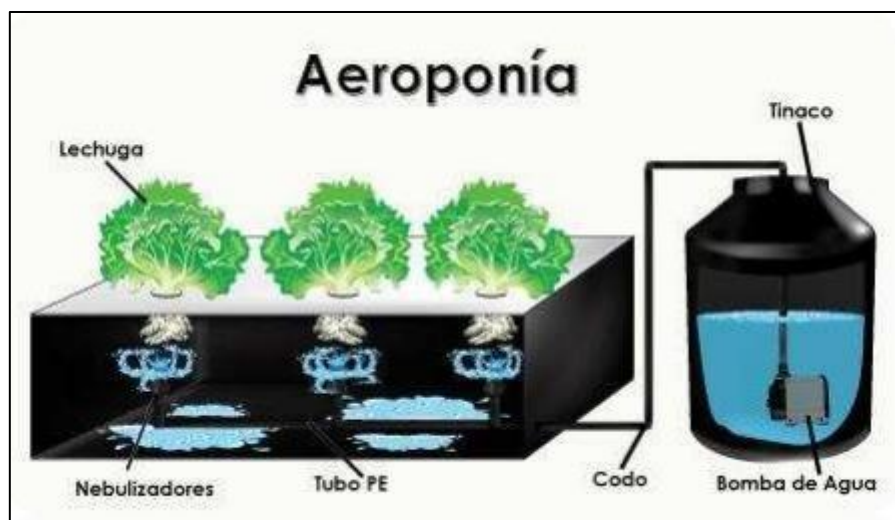


Figura 7: Sistema aeropónico (Escuderos et al., 2017)

4.4.4. Cultivos en sustrato

En este sistema se utilizan recipientes-contenedores de distintos tamaños y formas en los cuales se llena con materiales (sustratos), de distinto origen (mineral, orgánico o sintético) que puede ser usado de forma pura o en mezcla, sirviendo de soporte y anclaje a las raíces de las plantas para contener el agua y facilitar los nutrientes que las plantas necesitan. Este sistema es utilizado, en la mayoría de los casos, para la producción de plantines hortícolas ya que permite reducir la presencia de patógenos del suelo y mejorar la uniformidad de germinación y crecimiento.

Una característica importante es la granulometría del sustrato, siendo ideal aquella que permiten una circulación del aire entre 15% a 35 % y un 20 % a 60% de agua respecto del volumen total (Álvarez, 2016). La siguiente tabla muestra la granulometría de los sustratos más utilizados en hidroponía

Tabla 6: Granulometría de los sustratos más utilizados en hidroponía.

Sustrato	Granulometría típica (mm)	Propiedades principales	Usos comunes
Perlita expandida	1–6 mm	Ligera, aireada, drena rápido	Mezclas y sustratos puros (tomate, pimiento)
Vermiculita	0,5–3 mm	Alta retención de agua, baja densidad	Mezclas con perlita o turba
Lana de roca	Fibras finas (<1 mm)	Excelente capacidad de aire y agua	Producción intensiva (tomate, pepino, flores)
Fibra de coco	0,2–6 mm (según grado de cribado)	Alta retención, buena aireación	Frutilla, flores, hortalizas

Grava o piedra pómez	3–10 mm	Inerte, drenante, duradero	Cultivos de fruto o recirculantes
Arena silíceo	0,5–2 mm	Pesada, drenaje medio, barata	Mezclas básicas o soporte de macetas
Cascarilla de arroz carbonizada	1–4 mm	Ligera, aireada, biodegradable	Mezclas hortícolas y viveros

Algunas características del sustrato ideal según (Castañares, 2020) son:

- Fácil obtención.
- Bajo costo.
- Adecuada retención de agua.
- Buena oxigenación.
- Libre de contaminantes y patógenos.
- Alta vida útil.
- Estabilidad



Figura 8: Sustratos inorgánicos: perlita, vermiculita, lana de roca, arena y grava



Figura 9 Sustratos orgánicos: aserrín, turba, cáscara de arroz, fibra de coco, corteza (Álvarez, 2016).

4.5 Cultivo de lechuga hidropónica

4.5.1 Origen y características principales

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una de las 300 especies del género *Lactuca*, perteneciente a la familia de las Asteráceas (anteriormente Compuestas). La importancia del cultivo de la lechuga ha ido incrementándose en los últimos años, debido tanto a la diversificación de tipos varietales como al aumento de la cuarta gama (procesado de hortalizas y frutas frescas limpias, troceadas y envasadas para su consumo; manteniendo sus propiedades naturales y frescas) (López Bilbao, & Frezza, 2022).

4.5.2 Ecofisiología del cultivo

- **Luz**

La lechuga es un ejemplo de una hortaliza sensible a la alta radiación, teniendo un valor de radiación óptima para su desarrollo.

En los cultivares de verano, al incrementar la temperatura y la radiación, aumentan las tasas de crecimiento, el número de hojas y la biomasa. En consecuencia, expresan un incremento en el rendimiento.

El daño originado por el exceso de radiación afecta al aparato fotosintético y es denominado fotoinhibición. Uno de los efectos de la alta radiación es el quemado del borde de la hoja o “tipburn” (necrosis, considerada como la enfermedad de origen abiótico más importante de la especie).

En caso contrario, cuando hay un sombreado excesivo, es común que ocurra en las plántulas el ahilamiento (alargadas y fusiformes), la falta de coloración y el desarrollo de hojas más pequeñas. En condiciones de sombreado se observa un menor número de hojas, pero de mayor tamaño.

- **Temperatura**

La temperatura influye sobre el crecimiento y desarrollo en todo el ciclo del cultivo y en consecuencia en la productividad de la cosecha. Sin embargo, para que la planta crezca en condiciones óptimas, todos los factores ambientales deberían estar equilibrados (luz, dióxido de carbono, humedad del aire, agua, nutrientes, etc.).

El cultivo de lechuga en invernadero presenta una mayor temperatura media del aire con respecto al cultivo de campo, incrementando las plantas el número de hojas por unidad de tiempo, la acumulación de biomasa y los rendimientos. Según la zona, anualmente se pueden realizar 6 o 7 ciclos de cultivo.

Se estima, que la temperatura óptima para el crecimiento vegetativo se encuentra cercano a los 18 °C, pudiendo ser en variedades de invierno entre los 14 y 18 °C.

Una temperatura menor a 6 °C detiene el crecimiento de la planta y a los -6 °C se hiela. El cultivo puede tolerar heladas inferiores al umbral de congelamiento si existe una alta humedad relativa en el ambiente. Si bien existen variedades de invierno que toleran varios grados bajo cero (intensidad), el daño por congelamiento también depende del tiempo de exposición a las bajas temperatura. Tanto la intensidad como la frecuencia afectan las características organolépticas del

producto, es decir, pierde calidad al presentar daños o regiones necróticas en las hojas.

En lechuga, las temperaturas óptimas son distintas según la fase de crecimiento, requiriendo también una alternancia térmica entre el día y la noche.

- **Humedad**

La lechuga contiene entre un 94-95 % de agua, fundamental para la estructura de la planta, debido a que le otorga turgencia y rigidez a tallos y hojas. La humedad relativa óptima para el crecimiento de la planta se encuentra entre el 60 y 80 %.

En cultivo en invernadero suele originar un aumento notorio en la humedad relativa, pudiendo incrementar la incidencia de enfermedades originadas por hongos y bacterias. Es conveniente planificar un buen sistema de ventilación para evitar este problema.

Por otro lado, humedades relativas bajas pueden originar marchitamiento foliar y necrosis (tipburn). En invernadero es conveniente incrementar la humedad relativa realizando un riego al cultivo o en los pasillos, permitiendo además una disminución de la temperatura de este.

- **Requerimientos de suelo**

El cultivo de lechuga requiere de suelos ligeros, con buenos contenidos de materia orgánica, capacidad de retención de agua, buen drenaje y una adecuada estructura. No se desarrollará este tema en profundidad por no ser pertinente al tema de estudio.

Algo importante a tener en cuenta es el sistema radicular de la lechuga, por ser muy reducido en relación con su parte aérea; siendo muy susceptible al déficit hídrico. Además, es un cultivo poco tolerante al exceso de sales, provocando una disminución en sus rendimientos. En general, la conductividad eléctrica del agua de riego para lechuga debería mantenerse en valores menores a 0,9 dS m⁻¹ ya que con una CE de 1,4 dS m⁻¹ el rendimiento potencial del cultivo disminuye un 10 %.

4.5.3 Tipos comerciales existentes en el mercado son:

- ***Lactuca sativa* var. longifoli “lechuga cos” “romana” o “latina”**: Son lechugas que forman roseta de hojas, de hojas consistentes y aspecto brillante. Se reconocen por el carácter erguido de la planta, por lo alargado de sus cabezas y de sus hojas, estas son tiernas, dulces y sabrosas. Variedades: criolla de invierno o gallega, etc.
- ***Lactuca sativa* var. capitata “repollada”**: Son las que forman cabeza compacta, las hojas son de textura quebradiza y apretadas. Tipo Imperial y grandes lagos Resisten el transporte a largas distancias. Dentro de estas variedades se pueden distinguir 2 clases:

De hoja consistente: Crespas, capuchinas, iceberg o batavias: con cabezas bien firmes, muy resistentes al transporte.

De hoja mantecosa: Mantecosa, aceitosa o crasa: forman cabezas flojas. Sus hojas son anchas y de textura suave, de aspecto aceitoso. No son adecuadas para el transporte a largas distancias ya que se rompen y magullan con gran facilidad.

- **Lactuca sativa hoja de roble:** verdes como Kribrille RZ, Kristine RZ y rojas como Rouxai RZ.

4.5.4 Principales plagas y enfermedades (López Bilbao, & Frezza, 2022).

En cuanto a plagas, se encuentran:

- Mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*): Es un insecto muy polífago que se alimenta y multiplica en numerosos hospedantes alternativos (berenjena, acelga, espinaca, apio, tomate, pimiento, zapallito de tronco, pepino, chaucha, etc.). Ocasiona daños directos (corresponden al debilitamiento (amarillamiento y marchitez) de la planta debido a su hábito alimenticio chupador-suctor permitiendo succionar los jugos celulares la savia elaborada) e indirectos (indirectos se puede mencionar la reducción del área fotosintéticamente activa, reduciendo la respiración de la hoja por el establecimiento de un complejo de hongos denominado vulgarmente como fumagina).
- Trips del tomate y la lechuga (*Frankliniella shultzei*): Insectos amarillo/parduscos, muy pequeños. Hexápodos, con 2 pares de alas muy finas con flecos. Posee aparato bucal succionador y transmiten virosis. Atacan hojas y flores dejando manchas plateadas al raspar la superficie. Es una de las plagas de mayor perjuicio en cultivos de lechuga.
- Pulgón de la lechuga (*Hyperomyzus lactucae*): Ataca las hojas y transmite virosis; insectos chupadores, pequeños, blandos.

Las enfermedades más comunes del cultivo de lechuga son:

Hongos

- Mildiu de la lechuga (*Bremia lactucae*): en la cara superior de las hojas se observan manchas claras (verde amarillentas) que luego se vuelven marrones. En la cara inferior se puede ver la eflorescencia blanca del hongo.
- *Alternaria* sp.: se observan manchas foliares.
- *Stemphylium botryosum*: produce manchas de color marrón claro en las hojas externas de la planta.
- *Sclerotinia sclerotiorum*: podredumbre blanca acuosa que se diferencia de las bacteriosis por la presencia de micelio blanco. Amarillamiento de las hojas más viejas y marchitez de toda la planta.

Bacterias

- *Pseudomonas marginalis* y *Pseudomonas cichorii*. Son las más importantes durante la fase de producción comercial. Los síntomas son el marchitamiento marginal seguido de una desecación gradual del tejido.

Virus

- Mosaico de la lechuga (*Marmor lactucae*) (LMV): hojas con veteado o mosaico verde- amarillento.

Enrollamiento de las hojas. Es una enfermedad importante en los cultivos para semilla. Control de trips y pulgones. Se deben extraer las plantas enfermas.

- Virus del amarillamiento de la lechuga (Lettuce Necrotic Yellow Virus): se produce la necrosis de algunas hojas y clorosis severa, con menor crecimiento en altas temperaturas. Con temperaturas menores las plantas vegetan, las hojas inferiores se amarillean, se secan y las nuevas son pequeñas y cloróticas, sin valor comercial. Se transmite por áfidos.
- Virus de la peste negra del tomate (Tomato Spotted Wilt Virus): los síntomas son mosaico, encrespamiento y menor desarrollo de un lado de la hoja, enanismo. Es transmitido por trips.
- Nervadura gruesa o “Big Vein”: las hojas presentan abullonamientos y deformaciones, las nervaduras se vuelven amarillas y quedan enmarcadas por una franja también amarilla, que contrasta con el color normal del resto de la hoja y su complexión rugosa que le da un aspecto más grueso que lo normal. Se transmite por un hongo.

Fisiopatías: como el tip-burn (quemadura de punta) por deficiencia de calcio en lechuga.

4.5.5 Etapas del cultivo hidropónico de lechuga

Las especies de hoja, como la lechuga, se cultivan en el sistema raíz flotante o NFT, y su ciclo comúnmente se suele dividir en 3 etapas, a saber:

- ***Siembra- trasplante***

La duración de esta etapa es de 15 a 28 días, se recomienda que la siembra se realice en espumas fenólicas o bandejas (plugs) llenas con sustratos, colocando 1 semilla por alveolo. El trasplante se realiza cuando las plantas tienen de 3 a 4 hojas verdaderas.

Para el caso de producción en NFT, (sistema considerado en este trabajo)

- ***1º Etapa o fase 1***

Puede durar entre 21 a 28 días, según la época del año. Se utiliza un distanciamiento entre plantas entre 10 a 15 cm, pudiendo en el sistema NFT utilizar caños de menor diámetro (60 mm). Cuando aumenta el tamaño de la planta se debe trasplantar a la siguiente etapa.

- ***2º Etapa o fase 2***

La duración de esta etapa también varía entre 21 a 28 días, según la época del año. Ésta abarca desde el trasplante de la etapa anterior a la cosecha. Al tener un mayor tamaño las plantas se debe aumentar los distanciamientos entre las mismas alrededor de 25 cm. En el sistema NFT se deben utilizar mayores diámetros de caños (80 a 110 mm)

Esta variación de la distancia entre plantas según a su tamaño permite optimizar el uso del espacio, aumentando el rendimiento por unidad de superficie. En caso de especies de hoja de menor tamaño, como albahaca, rúcula, puerro, etc., se suele utilizar un único distanciamiento entre plantas (12 a 15 cm), sin realizar trasplantes durante el desarrollo del cultivo. Lo anterior aplica también para especies cultivadas en sustrato, en donde se realiza trasplante de los plantines a la distancia definitiva (25 a 30 cm dependiendo de la especie). (Castañares, 2022).

5. EXPERIENCIAS EN EMPRESAS PRODUCTORAS DE LECHUGA CON SISTEMAS HIDROPÓNICOS EN MENDOZA.

5.1. “Finca El Sauce”, La Primavera, Guaymallén

El productor trabaja con el sistema hidropónico desde el año 2008. La finca cuenta con agua surgente, por turno de riego y 3,5 ha de invernaderos distribuidos en distintas naves. Se realiza principalmente el cultivo de lechuga, Se producen 9 variedades de lechuga tipo Salanova ,2 var. de escarola, 3 var. hoja de roble, 2 var. rulito o crespita o francesa y 2 var. mantecosa en dos sistemas hidropónicos: “raíz flotante” y “NFT”. Además, se produce tomate bajo el sistema hidroponía con sustrato y distintas hortalizas “babies”.

Proceso productivo

El ciclo de cultivo inicia con la siembra de la semilla en bandejas de 128 alveolos, las cuales permanecen durante 30 días en un invernadero para ese fin, posteriormente se trasplantan al sistema seleccionado de producción, ya sea raíz flotante o NFT. En el sistema raíz flotante, en verano, a los 35 días desde trasplante se obtiene una planta terminada (altura aproximada de 20 cm, peso entre 200-220 g/planta, entre 25- 30 hojas y raíces sanas) y en invierno a los 60 días. El sistema NFT es más dinámico, permitiendo obtener en verano una planta lista a los 25 días desde trasplante y en invierno a los 50 días.



Figura 10: Invernadero de plantines de distintas variedades de lechuga. Fuente: Elaboración propia.

En dos naves se producen lechuga mediante el sistema hidropónico raíz flotante. La primera nave tiene 3.000 m² de superficie, albergando alrededor de 60.000 plantas de lechuga, distribuidas en 7 bateas y en la segunda nave la producción se realiza en 8 bateas. En total, este sistema de producción se lleva a cabo en 15 bateas de 3 m de ancho x 50 m de largo x 40 cm de profundidad. Las mismas están realizadas de madera -placa fenólica cubierta por un polietileno bicolor (blanco-negro), las que previamente fueron tratadas la cara exterior con aceite y la cara interior con alquitrán para su aislamiento. Este sistema se sostiene mediante patas de hierro cementadas dispuestas cada 1 m de distancia, rodeando toda la batea. En cada batea se producen alrededor de 3.000 plantas de lechuga de distintas variedades.



Figura 11: Invernadero con producción de lechugas en sistema raíz flotante Fuente: Elaboración propia.



Figura 12: Producción de lechuga escarola morada en sistema raíz flotante. Fuente: Elaboración propia.



Figura 13: Producción de lechuga en sistema raíz flotante. . Fuente: Elaboración propia.



Figura 14: Cabezal de riego (bomba doble turbina de 3 HP y filtro de malla. Fuente: Elaboración propia.

Las plantas se disponen sobre placas de poliestireno expandido de alta densidad (Telgopor) a las que se realizan cierta cantidad de orificios según la variedad de lechuga, de 12 a 15 plantas y otras de 8 a 10 plantas según el tamaño comercial de cada variedad. Éstos se reúsan varias veces, y una vez terminado el ciclo de cultivo, se dejan secar, se raspan, se aplica un tratamiento antifúngico, quedando listo nuevamente para su uso. En todas las bateas la solución nutritiva circula 8 veces por día, manteniéndose siempre el mismo nivel de SN. La temperatura y humedad relativa del invernadero se maneja a través de la apertura/cierre de ventanas laterales de manera manual y el uso de media sombras. El productor comenta que el sistema tiene una vida útil aproximada de 20 años.

En la segunda nave se produce lechuga mediante el sistema hidropónico NFT. Son plantas de menor tamaño y sistema radical que las producidas en el sistema raíz flotante. El sistema está formado por canales de PVC de sección rectangular, y caños de sección circular con orificios cada 10 cm de longitud. Algunos se agrupan de a 12 caños y otros de a 5 caños, formando camas de producción. Tienen 15 m de largo por 1,2 m de ancho. Están montados sobre una estructura metálica la cual tiene una pendiente del 1,5 % para que pueda circular de un extremo al otro la solución nutritiva. La solución nutritiva, ingresa por un microtubo en cada caño, circula hasta el otro extremo, donde se recolecta para volver a la cisterna de solución diluida, previo filtrado grueso de algún resto vegetal, o suciedad que pueda haber ingresado al sistema.



Figura 15: Nave de producción de lechuga bajo el sistema NFT. Fuente: Elaboración propia.



Figura 16: Nave de producción de lechuga bajo el sistema NFT y soporte metálico de camas (izquierda). Cañerías de recuperación de solución madre (derecha). Fuente: Elaboración propia.

La solución nutritiva proviene de una gran cisterna con 90.000 L de capacidad, ubicada en la sala de riego y es común a ambos sistemas de hidroponía. La misma se encuentra constituida por macronutrientes N-P-K (19-19-19), ácido fosfórico, fungicidas, Ca, y micronutrientes. A la misma, se le controla de manera permanente la temperatura, la CE y el pH a través de sondas. Para un óptimo desarrollo del cultivo, la temperatura del agua debe ser mayor a 6°C y menor de 28°C, la CE debe estar entre 1600 y 1800 $\mu\text{mhos}/\text{cm}^2$ en invierno y hasta 2000 $\mu\text{mhos}/\text{cm}^2$ en verano y el pH entre 6,1 y 6,5.



Figura 17: Tablero eléctrico del equipo de bombeo (Izquierda). Cisterna y sondas de pH, CE y temperatura (derecha). Fuente: Elaboración propia.



Figura 18: Cabezal de riego (bombas + cisterna con solución madre), Fuente: Elaboración propia.



Figura 19: Equipo de Fertirriego Automático + Tanques de solución madre, Finca el Sauce. Fuente: Elaboración propia

En el lugar también se crían truchas (Acuaponia), en unas piletas ubicadas en la nave donde se encuentra la producción de plantines. Los mismos aportan Nitrógeno a la solución nutritiva a través de la conexión con una manguera que alimenta la solución nutritiva. Todo el sistema está automatizado. Es de suma importancia para el correcto funcionamiento y durabilidad de este, tener filtros en óptimas condiciones en todo el sistema de producción.



Figura 20: Tanques con criaderos de truchas (izquierda). Filtros de mallas en distintos lugares del sistema y filtrado grueso a la salida del sistema NFT al sistema recolector de

Solución madre (derecha).

El productor mencionó que no hay grandes problemas de plagas. Lo que refiere a las plagas comenta la presencia de trips, para lo cual se realizan aplicaciones con productos orgánicos. Respecto a los hongos, cuya presencia es puntual, se elimina la planta del sistema y se maneja la ventilación del invernadero de manera manual.

Todo el sistema está automatizado, y es de vital importancia la provisión de energía eléctrica en todo momento. La empresa cuenta con paneles solares y un generador de corriente, el cual, ante un corte de luz, trascurridos 3 segundos, se enciende dándole continuidad al funcionamiento de la producción.

Comentarios

- El sistema hidropónico para producción de lechuga es sumamente interesante, por su practicidad y dinamismo, la excelente calidad, inocuidad y sanidad del producto final en tiempos relativamente cortos.
- La limitante existente es que se debe contar con una gran inversión inicial y una continua provisión de energía.
- Es fundamental el control de la temperatura, CE y pH de la solución madre y la fuente de agua utilizada; y también de la temperatura y humedad del ambiente para el desarrollo óptimo del cultivo.



**Figura 21: Producto empacado para la venta (planta con raíz).
Fuente: Elaboración propia.**

5.2. “UCO hidroponía”, Vista Flores, Tunuyán

El productor realiza hidroponía desde hace 2 años, produciendo únicamente dos variedades de lechuga: tipo mantecosa y rizada, con el sistema hidropónico NFT.

El predio cuenta con 4 naves de invernadero de 432 m² cada una (48 m x 9 m) y 6.050 plantas de lechuga por nave. En cada nave, dispone de 8 camas de cultivo de 24 m de longitud cada una y una pendiente del 3% para asegurar una adecuada circulación de solución nutritiva. Cada cama

está formada por 7 líneas de cañerías, sostenidas por caballetes de madera y varillas de metal dispuestas transversalmente. En la mitad de cada cama, se recolecta la solución nutritiva circulante con un caño colector de PVC, retornando a la cisterna de solución madre, y nuevamente vuelve a circular por el sistema.



Figura 22: Cultivo de lechuga en sistema NFT. Elaboración propia



Figura 23: . Conductos de recolección de solución diluida. Fuente: Elaboración propia



Figura 24: Camas de madera de 7 líneas de caños rectangulares de polipropileno. Fuente: Elaboración propia

El caudal que circula por cada cañería es de 1,5 L/min, de manera continua. Cada nave tiene una bomba de 1,5 Hp, para independizar los sectores de producción, facilitando el manejo del productor.

La solución nutritiva se elabora en la sala de riego, y se aplica concentrada en forma manual en 4 piletas de 18.000 L de capacidad cada una (1 por cada nave) siendo la misma en todos los casos, durante todo el ciclo del cultivo. Cada cisterna es llenada hasta cierto nivel con agua de pozo, única fuente de agua con la que cuenta la propiedad. Para su elaboración posee 3 contenedores de 200 L, con rotulación A, B y C. En el contenedor A, se encuentran los nitratos de calcio y magnesio, en el B, otros nitratos y fosfatos y en el C Sulfato de cobre,

manganeso, cobalto y hierro. Anteriormente la solución concentrada se preparaba y se enviaba bombeada hacia las cisternas que alimentan el sistema, pero el productor menciona que como se demoraba mucho este proceso, decidió hacer la operación manualmente.

Para regular el pH utiliza ácido nítrico, el cual lo aplica diluido directamente en cada pileta. Algo que me llamó la atención, es la ausencia de equipos de filtrado en todo el sistema. En la solución nutritiva se controla 2 veces al día la temperatura, la conductividad eléctrica y el pH de manera manual. Para el óptimo desarrollo del cultivo, el productor menciona que la temperatura del agua debe ser mayor a 5°C y menor de 25°C, la CE entre 1400 y 1500 $\mu\text{mhos}/\text{cm}^2$ todo el año y el pH entre 5,5 y 6,5; siendo el pH de 5,7 con el que mejor trabaja.



Figura 25: Sala de agroquímicos. Fuente: Elaboración propia



Figura 26: Cisterna con solución nutritiva. Fuente: Elaboración propia

El ciclo de cultivo inicia con el trasplante del plantín al sistema de cultivo NFT, donde permanecerá hasta la cosecha. En invierno a los 40 – 45 días desde el trasplante se obtiene una planta terminada, con calefacción, si no el plazo se alarga a 60 – 65 días sin calefacción. En primavera a los 35 días desde trasplante y en verano a los 20- 25 días desde el trasplante.



Figura 27: Microtubos de riego. Sistema NFT. Fuente: Elaboración propia



Figura 28: Plantines adquiridos en su vivero de confianza. Fuente: Elaboración propia

En el invernadero se controla continuamente la temperatura del ambiente, contando con 2 equipos de generadores aire frío/calor; y la humedad, mediante la circulación de aire con la apertura/cierre de ventanas laterales de manera manual y el uso de telas media sombras.



Figura 29: Invernadero con sistema de generadores frío/calor.

Fuente: Elaboración propia

El productor mencionó que no tiene problemas con plagas. Lo que refiere a las plagas, se realizan aplicaciones preventivas contra larvas de lepidópteros con productos orgánicos como *Bacillus thuringiensis* y con respecto a los hongos, no ha tenido presencia y lo ha controlado manejando la ventilación de los invernáculos.

El sistema está semi automatizado, y es de vital importancia la provisión de energía eléctrica en todo momento. La empresa cuenta con un generador de corriente, el cual, ante un corte de luz, se enciende dándole continuidad al funcionamiento de la producción.

Comentarios

- Esta empresa es más reciente y de menor tamaño que la anterior, contando con menos tecnología, sin embargo, el producto obtenido es de excelente calidad y sanidad en tiempos relativamente cortos según la época del año.
- Algo para tener en cuenta aquí es el clima del Valle de Uco (gran amplitud térmica), por lo que cuenta con 2 equipos de frío/calor cuando las temperaturas ambientales están fuera del rango óptimo de crecimiento de la lechuga.
- Se debe contar con una gran inversión inicial (naves, equipos sistema de refrigeración) y una continua provisión de energía.
- Es fundamental el control de la temperatura, CE y pH de la solución madre y la fuente de agua utilizada; y también de la temperatura y humedad del ambiente para el desarrollo óptimo del cultivo.

5.3. Análisis comparativo de los emprendimientos productivos

En la siguiente tabla se muestra un análisis comparativo de los establecimientos productivos visitados: Finca “El Sauce” (Guaymallén) y “UCO Hidroponía” (Tunuyán).

Tabla 7: Análisis comparativo entre los establecimientos visitados.

Aspecto	Finca El Sauce (Guaymallén)	UCO Hidroponía (Tunuyán)
Año de inicio	2008	2022 (2 años de experiencia)
Superficie cubierta	3,5 ha de invernaderos	4 naves de 432 m ² (1.728 m ² totales)
Sistemas utilizados	Raíz flotante, NFT y Acuaponía	NFT únicamente
Principales cultivos	Lechugas salanova, escarola, roble, rulito y mantecosa, tomate y hortalizas baby	Lechugas mantecosa y rizada
Estructura y materiales	Madera fenólica + polietileno bicolor; estructura de hierro cementado, Cañales cañerías de PVC, caballetes de hormigón	Cañerías de PVC, caballetes de madera y varillas metálicas
Volumen del sistema	Cisterna general de 90.000 L	4 cisternas de 18.000 L
Control de pH y CE	Automático (pH 6,1–6,5; CE 1600–2000 µmhos/cm ²)	Manual (pH 5,5–6,5; CE 1400–1500 µmhos/cm ²)
Temperatura del agua	6–28 °C	5–25 °C
Automatización	Total	Semi-automatizado
Energía	Paneles solares + generador automático	Generador de respaldo
Tiempo de ciclo (lechuga)	Verano: 25–35 días; Invierno: 50–60 días	Verano: 20–25 días; Invierno: 40–65 días
Control ambiental	Ventilación manual y media sombra	Ventanas manuales + equipos frío/calor
Plagas y enfermedades	Trips y hongos (puntuales)	Sin plagas; preventivos con <i>Bacillus thuringiensis</i>

Innovaciones	Acuaponía con truchas (aporte de N)	Independencia por naves y control térmico
Limitantes	Alta inversión y energía continua	Falta de filtrado y automatización limitada
Producto final	Alta calidad e inocuidad	Excelente calidad, menor escala

El establecimiento productivo finca “El Sauce” presenta una trayectoria consolidada con automatización total y diversificación de cultivos, mientras que UCO Hidroponía es un emprendimiento reciente, de menor escala, pero con resultados de alta calidad.

Finca “El Sauce” se destaca por su sistema raíz flotante y NFT combinados, uso de cisterna central automatizada y energía solar de respaldo, garantizando estabilidad operativa. UCO Hidroponía, aunque semiautomatizada, optimizó la modularidad de sus naves y el control térmico para adaptarse al clima riguroso del Valle de Uco.

En cuanto a sanidad, ambos emprendimientos reportan baja incidencia de plagas; “El Sauce” maneja trips y hongos de forma puntual, mientras “UCO Hidroponía” emplea control biológico preventivo con *Bacillus thuringiensis*. El manejo ambiental y la energía son factores críticos en ambos casos.

En conclusión, ambos modelos son viables y representan distintas etapas de madurez tecnológica: Finca “El Sauce” como modelo consolidado y tecnificado, y “UCO Hidroponía” como emprendimiento emergente con gran potencial productivo.

6. COSTOS DE INVERSIÓN DEL SISTEMA NFT

Se diseña un proyecto que contempla la instalación de un sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique) en invernadero, seleccionado por su eficiencia en el uso del agua, adaptabilidad a las condiciones agroclimáticas de la zona y óptimo desarrollo de cultivos de hoja como el de lechuga, asegurando una producción estable y uniforme.

Los presupuestos utilizados para este trabajo son de enero y febrero de 2024 a las empresas AgroAzul e IRIE hnos SRL.

A continuación, se describen los componentes estructurales y la inversión a realizar, considerando una nave de invernadero en su máxima capacidad de producción (1 ciclo de cultivo).

6.1 Invernadero

- ✓ El invernadero tiene orientación N-S, consiste en 2 naves de 7,1 m de ancho cada una adosadas en batería (14,2 m) y 48 m de largo. La superficie aproximada a cubrir es de 682 m². (Medida estandarizada según este proveedor. IRIE SRL.)
- ✓ Las cabeceras, postes y arcos son de acero galvanizado con 4 ventanas frontales tipo guillotina, 2 sistemas de ventilación cenital por enrollamiento y 1 puerta corrediza en chapa

galvanizada y chapa plástica blanca.

- ✓ La cobertura será de polietileno, y se incluye en el precio de costo. La media sombra y malla anti-áfidos no se incluyen en el precio total.
- ✓ El costo aproximado es 45,6 USD/m², siendo de 31.115 USD + IVA para la superficie proyectada (presupuestos de enero y febrero de 2024).



Figura 30: Invernadero Modelo IRIE 7.1, IRIE Hnos.SRL.

6.2 Sistema hidropónico NFT

Debido a que Mendoza posee un clima árido y semiárido, con baja humedad relativa y amplitud térmica diaria muy marcada, se selecciona el sistema de producción hidropónico NFT para el cultivo de lechuga, por ser el más difundido, y el que mejor se adapta en esta zona. El mismo se caracteriza por utilizar menos volumen de solución nutritiva que otros sistemas, permite recircular el agua y los nutrientes de forma controlada, facilita el ajuste preciso de la CE y el pH, esenciales en zonas donde el agua suele tener alta conductividad eléctrica o contenido de sales como lo es esta.

El sistema seleccionado tiene las siguientes características:

- ✓ 18 bancadas simples de producción = 10 m largo x 1,8 m de ancho, constituidas por 9 perfiles de PVC (fase final), uniéndose en la mitad con un colector de solución, la cual será transportada hacia el tanque de solución madre para ser recirculada en el sistema. El caudal de trabajo será de 2 L/min de flujo continuo por canaleta, de esta manera permite regular temperatura del cultivo y favorecer la oxigenación de la solución.
- ✓ Las bancadas de producción estarán sostenidas por caballetes plásticos cada 1,2 m lineal, necesitando 8 caballetes por bancada. Cada bancada tendrá una pendiente del 5% para asegurar la óptima circulación de la solución.
- ✓ Los perfiles (canaletas) serán de PVC, con orificios de 50 mm de diámetro, dispuestos cada 20 cm, distanciados 25 cm cada perfil. En total el sistema está diseñado para producir 8.100 plantas en simultáneo (por ciclo de producción).
- ✓ El sistema se conforma por 2 sectores; el sector Norte formado por 10 bancadas simples

de producción y el sector Sur formado por 8 bancadas simples de producción. Cada sector tendrá 1 bomba centrífuga de 0,75 HP y 1 tanque de 5.000 L de solución madre.

- ✓ Se dispondrá de un generador de corriente, el cual alimentará a todo el sistema en caso de cortes de energía.
- ✓ En un sector del invernadero se ubicará una mesada de siembra de 6 m x 0,62 m ya sea para producción propia de plantines o para disponer los plantines comprados a alguna plantinera de la zona. La misma se realizará sobre espuma fenólica con riego tradicional.

Al inicio del proyecto se plantea la compra de plantines en una plantinera de confianza, en un futuro se planea la producción propia de plantines, dejando un sector proyectado dentro del invernadero. El precio presupuestado de la bandeja de 288 alveolos, cuyo rendimiento considerando un buen porcentaje de germinación (93%) es de alrededor de 5,6 USD/bandeja más IVA. A ese valor hay que sumarle el precio de la semilla. Se considera una variedad de lechuga mantecosa a 8,50 USD/1000 semillas. El costo de los plantines para la totalidad de la capacidad productiva de este diseño sería de 250 USD más IVA (para 1 ciclo productivo) (31 bandejas de plantines con semilla incluida).

- ✓ Número de plantas cosechadas 8100 sin descarte (por ciclo), altura aproximada de 18-20 cm, peso entre 200-220 g/planta, entre 25- 30 hojas peso por unidad aproximado (se comercializa por unidad).
- ✓ Además, se considera la compra de un generador eléctrico, todo el sistema de conducción de cañerías de PVC y polietileno. No se incluye en el cálculo el sistema eléctrico.
- ✓ La formulación de la solución nutritiva considerada para el cultivo de lechuga, para 10.000 L de solución tiene un costo de 334 USD más IVA.
- ✓ El costo del sistema de producción hidropónica descrito de alrededor USD 16.280 sin IVA (se considera 1 ciclo de producción)

En el siguiente esquema se detalla lo descrito anteriormente:

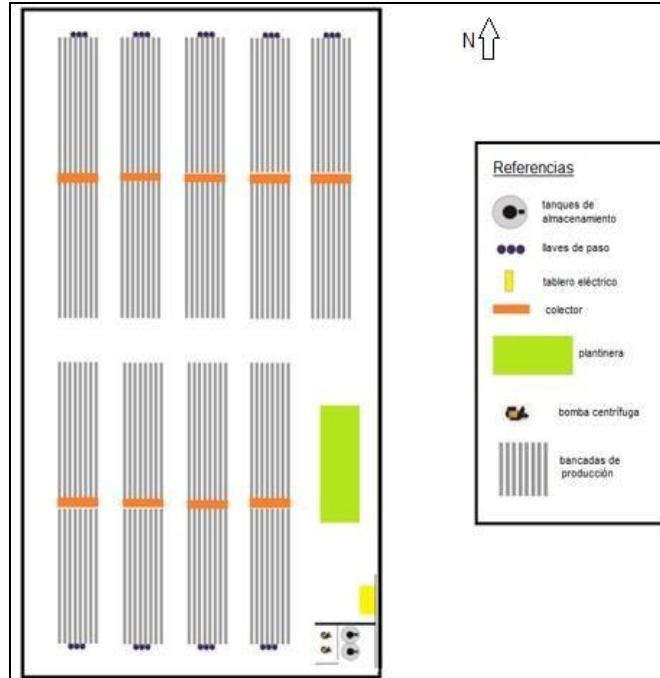


Figura 31: Esquema de Sistema Hidropónico NFT para la producción de lechuga bajo invernadero.



Figura 32: Perfil hidroponía fase final PVC, Colector PVC y accesorios de sistema NFT (arriba). Mesada de germinación 2m x 0,618m y caballete PVC (abajo).



Figura 33: Tanque de polietileno 5000 L. Bomba autocebante Elektrim Puelche 0,75 HP, 14.000L/h. Caños de PVC y polietileno.

En resumen, el costo para Sistema de producción NFT en lechuga es: -

Tabla 8: Costos de producción del sistema de hidroponía “NFT” en un ciclo de cultivo de lechuga.

Ítem		Precio en USD sin IVA
Invernadero	Estructura (14,2m x 48m)	29505
	cobertura: rollo de polietileno 150 micrones filtro UV	1610
	subtotal	31115
Sistema NFT	NFT perfil 5 m fase final	7296,5
	NFT drenaje por 1,8m 9 posiciones	691,05
	NFT soportes para perfil	466,65
	NFT conector tubin	38,9
	NFT accesorios	591,5
	NFT caballetes	851,2
	Mesada de siembra	584,5
	Tanque polietileno tricapa 5 L	1835,95
	Bomba autocebante 0,75 Hp	458,7
Timers	22	

Generador de electricidad	2547,1
Caños PVC	423,6
Rollo de polietileno de 200 m	346,4
Solución nutritiva (10.000 L)	334
Plantines + semilla	250
subtotal	16279,4
Total sin IVA	47394,4
IVA 21%	9953
Total IVA incluido	57347,4

7. CONCLUSIÓN GENERAL

La implementación de un sistema hidropónico NFT en invernadero para la producción de lechuga presenta una alternativa altamente eficiente y adaptable a las condiciones agroclimáticas de Mendoza. La técnica permite optimizar el uso del agua, recurso especialmente limitado en la región; obteniendo plantas con alta uniformidad, óptima calidad comercial e inocuidad, características fundamentales para su inserción en mercados con demanda creciente de productos frescos y seguros

Si bien la inversión inicial resulta significativa, el sistema demuestra rápida recuperación de capital, debido a la elevada densidad de plantación, los ciclos de producción cortos y la posibilidad de planificar cosechas continuas durante todo el año. La correcta gestión de parámetros como la conductividad eléctrica, pH, temperatura de la solución nutritiva y ventilación del invernadero es clave para evitar problemas sanitarios y fisiológicos, asegurando la estabilidad del sistema y la sustentabilidad productiva en el tiempo.

En síntesis, el sistema hidropónico NFT constituye una opción viable y sostenible, capaz de contribuir al uso responsable del agua, la intensificación productiva y el abastecimiento constante de hortalizas de calidad en la región.

8. BIBLIOGRAFIA

Álvarez, M. (2016). Hidroponía. Guía esencial para el cultivo en agua de frutas, hortalizas, flores y aromáticas. Editorial Albatros, 1^{era} edición mejorada, Buenos Aires.

Asociación hidropónica Argentina. (s.f). Recuperado el 02 de febrero de 2024, de <https://asociacionhidroponica.com.ar/>

Baixauli, C., Aguilar, J. (2002). Cultivo sin suelo de hortalizas. Aspectos prácticos y experiencias. Generalitat Valenciana.

Barbado, J. L. (2005) Hidroponía. Su empresa de cultivos de agua. Editorial Albatros. 1^{era} Edición. Buenos Aires.

Beltrano, J., & Giménez, G. (2019). Producción hortícola periurbana: Aspectos técnicos y laborales.

Birgi, J.A. (2015). Producción hidropónica de hortalizas de hoja. Área de producción agrícola. Estación experimental agropecuaria INTA Santa Cruz.

Cadahía, C. (2005). Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. 3era edición ampliada. Ediciones Mundi- Prensa. Madrid, Barcelona, México.

Castañares, J. L. (2020). ABC de la hidroponía. INTA. Agencia de Extensión Luján. Luján, Buenos Aires.

Castañares, J. L. (2022). Hidroponía para hortalizas de hojas. Fundamentos. EEA MBA. INTA. Agencia de Extensión Luján.

Departamento General de Irrigación (DGI) (2022). Pronóstico de caudales de los ríos de la provincia de Mendoza para la temporada 2022-2023.

El Cordillerano. (2020, 21 de diciembre). Hidroponía: la producción de cultivos sin suelo está en auge. INTA organiza el simposio internacional en 2021. <https://www.elcordillerano.com.ar/noticias/2020/12/21/100705-hidroponia-la-produccion-de-cultivos-sin-suelo-esta-en-auge>

Escuderos, Y., Gálvez, L., Garrido, M., Muñoz, D., Romero, E., Stoute, K., & Sevillano, F. (2017). Cultivo hidropónico. Universidad de Panamá.

FAO. (2019). Water use efficiency in sustainable cropping systems. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Gilsanz J. (2007). Hidroponía. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. INIA. Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología Andes 1365, Piso 12. Montevideo - Uruguay. <http://www.inia.org.uy>

González M. (2024), "Los 3 errores principales que cometen las personas al hacer hidroponía... (¡y cómo evitarlos!)" [Webinar]. Crear Hidroponía. <https://crearhidroponia.com/>.

IDR (2020). Lechuga, la soberana de las ensaladas. Cartilla LECHUGA. Disponible en <https://www.idr.org.ar/lechuga-la-soberana-de-las-ensaladas/>. Consulta: Julio 2023.

IDR (2020). Instituto de Desarrollo Rural Hidroponía en Mendoza, Libro digital 1° edición, Mendoza. ISBN 978-987-47538-1-6. ((IDR), 2020)

IDR (2022). Instituto de Desarrollo Rural. Estimación de la superficie cultivada con hortalizas de verano en Mendoza. Temporada 2021-2022. Gobierno de Mendoza, Ciudad de Mendoza. Disponible en https://www.idr.org.ar/wp-content/uploads/2022/04/estimacion_hortalizas_verano_2021_2022.pdf. Consulta: Julio 2023.

IDR (2022). Instituto de Desarrollo Rural. Estimación de la superficie hortícola invernada cultivada. Mendoza Temporada 2022. Gobierno de Mendoza, Ciudad de Mendoza. Disponible en: https://www.idr.org.ar/wp-content/uploads/2022/11/Estimacion_superficie_horticola_invernada_2022.pdf. Consulta: Julio 2023.

INTA (2002). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro Tecnológico de Flori- Fruti- Horticultura (CETEFFHO). Introducción al cultivo hidropónico.

INTA. (2020). Hidroponía: Producción eficiente y manejo del recurso hídrico. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

INTA (2020) Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. INTA Informa. Disponible en: <https://intainforma.inta.gob.ar/cultivo-en-sustrato-e-hidroponia-una-tecnologia-en-auge/>. Consulta 3 agosto, 2023.

López Bilbao, M., & Frezza, D. (Comp.). (2022). Lechuga. Ediciones INTA.

Puerta, A. (2020, 21 de diciembre). Hidroponía: la producción de cultivos sin suelo está en auge. El Cordillerano. Recuperado de <https://www.elcordillerano.com.ar/noticias/2020/12/21/100705-hidroponia-la-produccion-de-cultivos-sin-suelo-esta-en-auge>

Resh, H. M. (1982). Cultivos Hidropónicos. Ediciones Mundi- Prensa. Castelló, 37. Madrid.

Urrestarazu, M. (2015). Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía. Mundi-Prensa.

Veazie, P., Pandey, P., Young, S., Ballance, M. S., Hicks, K., Whipker, B. (2022). Impact of Macronutrient Fertility on Mineral Uptake and Growth of *Lactuca sativa* 'Salanova Green' in a Hydroponic System. *Horticulturae*, 8(11), 1075