



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL
SANTA FE, ARGENTINA

ESPECIALIDAD EN CULTIVOS INTENSIVOS

TRABAJO FINAL

**Monitoreo, automatización y control remoto de cultivos de
lechuga en sistemas hidropónicos NFT: Una revisión**

VELAZQUEZ, EMILIANO TOMÁS

BOUZO, Carlos Alberto. Director

13 de mayo de 2021

Índice

<u>Introducción</u>	3
<u>Objetivos</u>	6
<u>Desarrollo</u>	7
El cultivo de lechuga: generalidades.....	7
La producción mediante hidroponía.....	8
Tipos de lechuga, manejo y fases de desarrollo del cultivo.....	14
Ventajas de la hidroponía respecto de los cultivos a campo.....	19
<u>Consideraciones finales</u>	22
<u>Bibliografía</u>	24

Introducción

La creciente urbanización, el crecimiento de la población, el deterioro del suelo y los fenómenos climáticos extremos ejercen presión sobre la seguridad alimentaria mundial, mientras que un tercio de la población mundial sufre de desnutrición, ya sea por obesidad, insuficiencia alimentaria o deficiencia de nutrientes (Wielemaker *et al.*, 2019). Se ha sugerido que la producción de alimentos dentro de los límites urbanos es una forma de abordar simultáneamente una amplia gama de problemas ambientales, sociales y de salud humana. Las investigaciones han demostrado que además de lograr un cierto grado de autosuficiencia (Clinton *et al.*, 2018), la mitigación potencial del cambio climático (Kulak *et al.*, 2013) y los beneficios al ecosistema (Wilhelm y Smith, 2017), la agricultura urbana tiene el potencial de aumentar la circularidad y la eficiencia de los recursos (Mohareb *et al.*, 2017), fomentar el desarrollo social y la cohesión comunitaria (Duchemin *et al.*, 2008). Esta situación se conjuga con una tendencia de la sociedad de buscar técnicas y métodos más eficientes y naturales que mejoren la calidad de los productos alimenticios de consumo, así mismo, de campañas de concientización de una alimentación saludable y el correcto manejo de los recursos naturales (King *et al.*, 2019). Además, el crecimiento poblacional, incrementa la demanda de alimentos, muchas veces limitado a espacios reducidos, dentro de los ejidos urbanos o en adyacencias a los mismos. Por otro lado, la sobreutilización de los acuíferos, las perforaciones mal realizadas y la contaminación determinan que el recurso agua comienza a tornarse limitante (INTA, 2013).

En las ciudades de los países en desarrollo se observa actualmente un acelerado proceso de urbanización debido, entre otras causas, al continuo movimiento migratorio del campo a la ciudad disminuyendo la población rural en forma constante (Wimberley & Fulkerson, 2007). Se estima que para 2030 el 61% de la población mundial vivirá en zonas urbanas (Cohen, 2006). La sobrepoblación de los grandes centros urbanos, trae consigo problemas de pobreza, desnutrición, malnutrición, con dietas excesivas en carbohidratos y pobres en proteínas, vitaminas y minerales (Baud, 2000; Orsini *et al.*, 2013).

Se estima que 200 millones de personas están empleadas en la agricultura urbana y empresas relacionadas, lo que contribuye al suministro de alimentos para 800 millones de habitantes urbanos y creando así nuevas oportunidades laborales (Smit *et al.*, 1996, Rajnai and Kocsis, 2017). De estos números se deduce que la agricultura urbana puede desempeñar un papel muy importante en el tratamiento de los problemas de seguridad alimentaria que inevitablemente se volverán cada vez más importantes con la tendencia hacia la urbanización de la sociedad (Zezza & Tasciotti, 2010, Islam *et al.*, 2020).

En Argentina se está dando un importante avance de la urbanización sobre las superficies agrícolas y ganaderas de las cuencas hidrográficas, principalmente las cuencas del Río Luján, del bajo Paraná y (Se ubica al oeste de las provincias de Entre Ríos y Corrientes, al sureste de Chaco e incluye una franja al noreste de Santa Fe) y corredor rioplatense (del Río de la Plata). Generando un desequilibrio territorial y de los recursos naturales, como la fertilidad de los suelos, la capacidad de regulación hídrica y la biodiversidad (Fernández *et al.*, 2010). Sumado a lo anterior, en las últimas décadas se ha acrecentado la degradación del suelo y contaminación del agua, debido a las inadecuadas prácticas agrícolas (Casas, 2001, Goites, 2020).

Entre las diferentes variantes de técnicas de agricultura urbana, el cultivo sin suelo a través de la hidroponía ha cobrado relevancia en los últimos años (Sheikh, 2006, Rufí-Salís *et al.*, 2020). Los cultivos hidropónicos bajo invernadero representan, además, una alternativa en la agricultura moderna y pueden ser utilizados tanto en las grandes explotaciones como en las pequeñas y medianas, sin la necesidad de profundos conocimientos agronómicos (Arcos *et al.*, 2011) donde Resh (2001) acota que, el aumento notorio de las cosechas con el cultivo hidropónico frente los cultivos normales (desarrollados en el suelo) es producido por ciertos elementos como: los casos en los que el suelo carece de los elementos o nutrientes necesarios o una pobre estructura que no le permite satisfacer las necesidades de un cultivo, la presencia de plagas que reducen de forma considerable la producción, lugares donde las condiciones ambientales no son favorables. Existen diferentes sistemas de producción como raíz flotante, Nutrient film technique (NFT) es decir: la técnica de la película de nutrientes, con sustratos, aeroponía, entre otros (Shongwe *et al.*, 2019).

El modernismo permitió la introducción de los más recientes avances de la electrónica, la informática (hardware y software) para el control y ejecución de actividades y de las nuevas tecnologías en comunicaciones e información geográfica, que han hecho de la automatización del cultivo hidropónico una realidad y una tendencia cada vez más generalizada con los consecuentes beneficios económicos y de manejo (Barrientos-Avenidaño *et al.*, 2019). Los productores agropecuarios pueden utilizar lo que se llama Internet de las Cosas, en inglés Internet of Things (IoT) que posibilita la interconexión y transmisión de datos entre objetos cotidianos e internet, para poder realizar un control mucho más meticuloso de su producción (Li *et al.*, 2015). Se pueden utilizar sensores que controlen las condiciones en que se está cultivando en tiempo real: humedad, temperatura o indicadores químicos, por ejemplo. Con el fin de detectar tanto determinados problemas, como tomar decisiones más acordes a la situación en un determinado momento.

La producción de hortalizas puede hacerse en forma intensiva en espacios reducidos tanto en áreas rurales como urbanas, utilizando tecnologías de producción que combinen sustratos inertes y soluciones nutritivas. La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una especie que se cultiva generalmente para el consumo de sus hojas. Se consume generalmente fresca, como complemento de otros alimentos. En nuestro país esta especie es generalmente cultivada en el suelo (Castagnino *et al.* 2020). La ventaja del sistema NFT, que se destaca en relación a otros sistemas hidropónicos, es la alta calidad obtenida de diferentes productos hortícolas en un corto período de cultivo como de rendimiento (Molyneux, 1989, Tabaglio *et al.*, 2020).

Los diferentes sistemas hidropónicos se realizan bajo cubierta. Al respecto y según una estimación del CAPP (Comité Argentino de Plásticos para la Producción Agropecuaria), en 2015 la superficie total de invernaderos en el país era de aproximadamente 6517 ha. De esa superficie más del 80% son destinadas a horticultura, siguiendo luego la floricultura y viveros con proporciones similares (Lenschak and Stavisky, 2016). A nivel nacional la tecnología para la producción bajo cubierta es insuficiente y existe poca información en lo referente a la influencia del tipo de estructuras más comunes en la Argentina y su relación con los factores ambientales internos. El manejo de los factores ambientales y del cultivo es totalmente empírico, en base a la experiencia de prueba y error de cada productor en particular (Lenschak *et al.*, 2019).

Objetivo

El objetivo de este trabajo es la realización de una revisión de la bibliografía relacionada con el monitoreo, automatización y control remoto del cultivo de lechuga con producción hidropónica mediante el sistema de lámina de nutrientes (NFT). En principio, la revisión sobre este tema está orientada a actualizar los conocimientos para su aplicación tecnológica en un emprendimiento - escala de prototipo- para la producción de lechuga con destino a la comercialización.

Desarrollo

El cultivo de lechuga: generalidades

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es considerada la hortaliza de hoja por excelencia, dada su alta calidad culinaria como ensalada fresca. Perteneció a la familia *Asteraceae*. Se cultiva en todo el mundo bajo diferentes sistemas de cultivo, al aire libre, bajo invernadero, en suelo y también en hidroponía. Es la principal especie de hoja cultivada en el sistema NFT, ya que es posible obtener lechugas de alta calidad en varias cosechas al año.

En Argentina este cultivo se siembra en casi todo el país, con una superficie de aproximadamente 40.000 ha (Barón, 2005, Castagnino *et al.*, 2020). Se la cultiva en los alrededores de los grandes centros urbanos, por eso constituye una hortaliza típicamente de los 'Cinturones Verdes', además de ser una de las especies más consumidas por los argentinos, junto con papa, cebolla, tomate y zanahoria (Galmarini, 2018). La lechuga es considerada como la más importante dentro del grupo de hortalizas de hoja y la tercera a nivel nacional después de la papa y el tomate. Se consume las hojas crudas en distintos tipos de ensaladas.

Para la germinación una temperatura de 16 a 18°C se considera apropiada. Luego de la germinación, para obtener una adecuada tasa de crecimiento se considera como óptima una temperatura de 25°C (Benton Jones, 2014), con registros menores durante el período nocturno para disminuir la tasa respiratoria, citándose un rango de 3 a 12°C (Wurr *et al.*, 1992).

Sin embargo, cuando la misma es muy baja y durante muchas horas, las hojas adquieren una coloración rojiza (Gazula *et al.*, 2005). A su vez, temperaturas altas inducen a la subida prematura ('bolting') produciéndose la floración en conjunción con fotoperiodos largos. Esta situación además de ser indeseable desde el punto de vista productivo, también provoca un sabor amargo en las hojas (Bouzo and Favaro, 2002). En los métodos convencionales de producción al aire libre, requiere de suelos francos ricos en materia orgánica y bien drenada, siendo de gran importancia el aporte de materia orgánica ya que además de suministrarle los nutrientes al suelo, se consigue mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Una adecuada fertilización dependerá del pH del suelo, que para el caso de esta especie se sitúa en un rango moderadamente ácido, entre 5,5 y 6,5 (Singh *et al.*, 2019). En la producción al aire libre, algunos datos locales permitieron establecer que los requerimientos de los principales nutrientes para obtener rendimientos superiores a 21.000 kg ha⁻¹. son los siguientes: 80 a 100 kg ha⁻¹ de nitrógeno, 35 kg ha⁻¹ de fósforo como P₂O₅, 150 a 200 kg ha⁻¹ de potasio como K₂O, 40 kg ha⁻¹ de calcio como OCa y 10 kg ha⁻¹ de magnesio como MgO (Scaglia *et al.*, 2004).

La producción mediante hidroponía

La hidroponía o agricultura hidropónica es un método utilizado para cultivar plantas usando disoluciones minerales en vez de suelo agrícola. Según la RAE (2021), la palabra hidroponía proviene de *hidro-* y un der. del gr. *πόνος* *pónos* 'labor'. La instrumentación adecuada de estos sistemas, permiten que las raíces reciban una solución nutritiva y equilibrada disuelta en el agua. De esta manera se proporcionan la totalidad de los elementos químicos esenciales para el desarrollo de las plantas (Son *et al.*, 2016), pudiendo constituir como medio de crecimiento una solución mineral únicamente, o bien mediante la utilización de un medio inerte. Dentro de estos últimos, se encuentran diversos tipos, tanto inorgánicos, orgánicos como sintéticos. Por citar algunos se encuentran arena, aserrín, arcilla, carbón, fibra de coco, cascarilla de arroz, espuma de poliuretano, espuma de poliestireno, espuma fenólica, entre otros, que logran efectos en la producción incluso mejores que en un cultivo tradicional realizado en suelo (Flórez, 2012).

Una primera clasificación de los sistemas hidropónicos consiste en dividirlos en sistemas de raíz con sustrato y subirrigación. La diferencia consiste en que el sustrato sin valor nutritivo le brinda soporte, aireación, escurrimiento y retención de humedad (Son *et al.*, 2015) respecto a los sistemas con subirrigación.

Dentro de los más utilizados se pueden mencionar (Brajovic, 2016; Furlaniet *al.*, 1999): recirculantes, raíz flotante, con sustrato, 'New GrowSystem' o multibanda y aeroponía.

-Recirculante (NFT): en inglés, 'Nutrient Film Technique', cuya traducción significa "técnica de la película de nutriente". También llamada sistema de recirculación continua. La técnica consiste en recircular continuamente la solución con los nutrientes adecuados. Las raíces están suspendidas dentro de canales y sólo sus extremos están en contacto con el flujo. La solución es recolectada y almacenada en un tanque. La recirculación es generada por una bomba, y la lámina de agua formada mantiene las raíces en permanente contacto, oxigenadas y nutridas. La magnitud de la lámina es conseguida mediante el ajuste de la pendiente de los tubos de conducción.

-Raíz flotante: Este sistema tiene la particularidad de que las raíces se encuentran sumergidas parcialmente en la solución nutritiva. A partir de planchas de polietileno expandido u otro material que sostienen una determinada cantidad de plantas sobre la solución nutritiva aireada. La disolución de oxígeno en el agua es obtenida por diferentes medios mediante la agitación mecánica de la solución nutritiva.

-Con sustrato: En este sistema se emplean diferentes recipientes rellenos con materiales inertes, tales como arena, piedras, perlita, vermiculita, lana de roca, espuma fenólica, entre otras. La solución nutritiva luego drena a través de estos materiales nuevamente al contenedor.

-'New GrowSystem' o multibanda: la solución recircula por diferentes canaletas favoreciendo la oxigenación de las raíces de las plantas.

-Aeroponía: la solución es asperjada sobre las raíces de las plantas, manteniéndose éstas suspendidas en el aire en un ambiente cerrado y oscuro, sujeto a la provisión de agua y nutrientes mediante dicha aspersión.

El sistema hidropónico tipo NFT (Figura 1) es el más usado para el cultivo de especies de hoja, dado que presenta una inversión razonable, es de fácil instalación y permite ahorrar agua y nutrientes debido a que es un circuito cerrado, con el consecuente bajo impacto ambiental (Asao, 2012). Este sistema depende del aporte de energía eléctrica que permite el funcionamiento de la bomba, por lo tanto, ante eventuales cortes en el suministro de energía eléctrica, se debe contemplar la incorporación de un generador eléctrico.

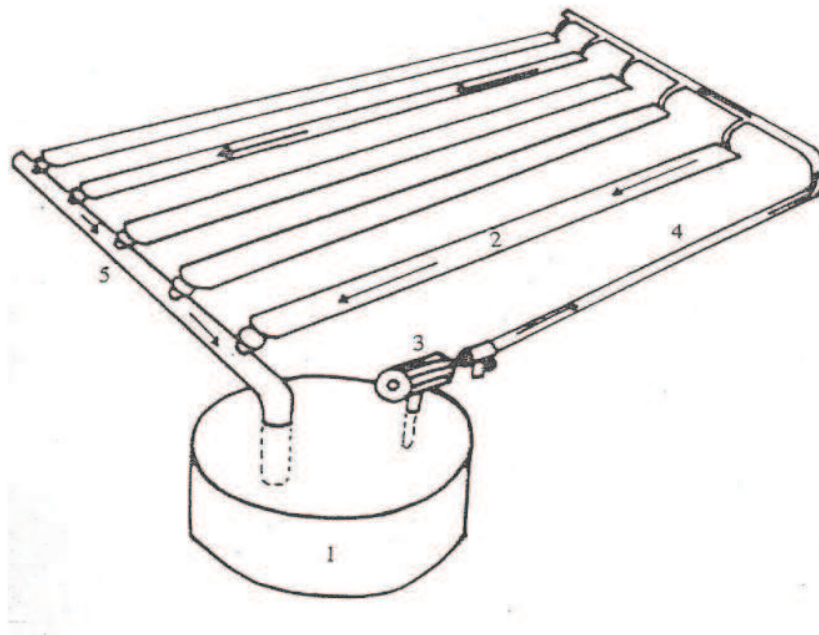


Figura 1: Esquema que representa un sistema de recirculación continua (NFT) y sus elementos constituyentes: 1. Tanque colector; 2. Canales de cultivo (con orificios u hoyos); 3. Bomba; 4. Red de distribución; 5. Tubería colectora. (FAO, 1996)

Son diversos los factores a tener en cuenta para el correcto funcionamiento del sistema NFT para posibilitar así un conveniente crecimiento y desarrollo de las plantas.

Calidad química del agua de riego: es importante realizar un análisis químico del agua a utilizar con anterioridad a la construcción de todo el sistema hidropónico, ya que puede ocurrir que la calidad de la misma haga inviable un proyecto de cultivo sin suelo. El agua es considerada apta para producir cuando su conductividad preferentemente no supera los 400 μScm^{-1} o los 100-150 ppm de STD. La lechuga, como ejemplo, es una especie que si bien no tiene elevadas necesidades nutritivas, es sensible a la salinidad elevada, a los desequilibrios nutricionales, y por su sistema radicular poco desarrollado, la afectan tanto la falta como el exceso de agua (Moraes *et al.*, 2020). Es sensible a la carencia de Boro y Molibdeno, como así también a la presencia excesiva de Cloruro en el agua de riego y a pH excesivamente bajos. En la Tabla 1, se pueden observar los valores críticos, rangos adecuados, valores máximos y valores tóxicos de macronutrientes para vegetales, entre ellos la lechuga (Hochmuth *et al.*, 1991).

Tabla 1. Valores críticos, rangos adecuados y valores de toxicidad de macronutrientes para lechuga (modificado de Hocmuth *et al.*, 1991).

Parte de la planta	Momento de muestreo	Estado	----- % -----					
			N	P	K	Ca	Mg	S
Hojas de reciente expansión	Estado de 8 hojas	Deficiente	<4.0	0.4	5.0	1.0	0.3	-
		Adecuado	4.0	0.4	5.0	1.0	0.3	0.3
			5.0	0.6	7.0	2.0	0.5	-
		Excesivo	>5.0	0.6	7.0	2.0	0.5	-
Hojas externas	Cabeza a medio desarrollo	Deficiente	<2.5	0.4	4.5	1.4	0.3	-
		Adecuado	2.5	0.4	4.5	1.4	0.3	0.3
			4.0	0.6	8.0	2.0	0.7	-
		Excesivo	>4.0	0.6	8.0	2.0	0.7	-
Hojas externas		Deficiente	>2.0	0.3	2.5	1.4	0.3	-
		Adecuado	2.0	0.3	2.5	1.4	0.3	0.3
			3.0	0.5	5.0	2.0	0.7	-
		Excesivo	>3.0	0.5	5.0	2.0	0.7	-

Formulación de la solución de riego: está constituida por macro y micronutrientes disueltos en el agua. Las soluciones nutritivas se formulan combinando fertilizantes solubles que existen en el mercado, de las cuales se conocen muchas soluciones. Una de las más utilizadas, principalmente en investigación es la solución de Hoagland y Arnon, como otras de tipo universal. Estas a su vez fueron posteriormente reemplazadas por formulaciones con composición, conductividad eléctrica y pH, adecuados a los requerimientos de cada especie cultivada, considerando en muchos casos también las condiciones de cultivo (invierno o verano) e inclusive la etapa de crecimiento de la planta (estado vegetativo, floración,

fructificación) (Resh, 1987). La solución de Hoagland y Arnon, es una muy buena solución universal, capaz de producir rendimientos en lechuga análogos a los posibles con una formulación reconocida y específica para la especie, como la de Sonneveld. Las soluciones nutritivas en general, consideran en su formulación aniones y cationes en sus formas absorbibles por la planta que son nitrógeno como Nitrato N-NO_3^- y como amonio N-NH_4^+ , fósforo como fosfato diácido H_2PO_4^- , azufre como sulfato, SO_4^{2-} , potasio como catión K^+ , y calcio y magnesio como cationes divalentes (Ca^{2+} y Mg^{2+} , respectivamente). El hierro deberá ser aportado en forma de quelato para favorecer su absorción por parte de la planta, y también impedir su precipitación

Para una adecuada absorción de nutrientes y, por lo tanto, para un buen crecimiento de la planta, debe existir una adecuada relación proporcional entre los iones integrantes de la solución nutritiva. Esto último constituye en sí un aspecto de muy delicado equilibrio, ya que la abundancia de un determinado catión o anión, puede constituirse por competencia en un elemento determinante de la deficiencia de otro (Oriol, 1993).

Por lo general, la preparación del medio de cultivo se inicia preparando soluciones concentradas (madre o soluciones *stock*) de uno o más compuestos. Determinado volumen de cada una de estas soluciones se mezclará más tarde para preparar el medio de cultivo final. La utilización de soluciones madre con antelación a su uso es recomendable para ahorrar el tiempo y el trabajo que implica pesar cada uno de los ingredientes cada vez que se prepara un medio de cultivo. La concentración de la solución madre debe ser un factor a considerar, atendiendo a la solubilidad máxima de las sales utilizadas y sus posibles incompatibilidades. Si la solución madre presenta precipitados es mejor descartarla ya que no poseerá el balance adecuado de sustancias, alguna proporción de éstas estará en el fondo con el precipitado. (Bouzo, 2018).

En la tablas 2 se muestran los principales fertilizantes utilizados para el aporte de macro y micronutrientes, respectivamente.

Tabla 2. Principales sales fertilizantes utilizadas para incorporar macroelementos en las soluciones nutritivas, con su riqueza, peso molecular y solubilidad para una temperatura de 20°C. (Bouzo, 2018)

Fertilizante	Fórmula	Riqueza (%)	Peso molecular	Solubilidad (g/L)
Nitrato cálcico	Ca (NO ₃) ₂ · 2 H ₂ O	15,5N; 19Ca	181	1,220
Nitrato potásico	KNO ₃	13N; 38K	101	316
Nitrato magnésico	Mg (NO ₃) ₂ · 6 H ₂ O	11N; 9 Mg	256	279
Nitrato amónico	NH ₄ NO ₃	34N	80	192
Fosfato monopotásico	KH ₂ PO ₄	23P;28K	136	230
Fosfato monoamónico	NH ₄ H ₂ PO ₄	27P;12N	115	294
Sulfato potásico	K ₂ SO ₄	45K; 18S	174	111
Sulfato magnésico	MgSO ₄ · 7H ₂ O	10Mg; 13S	246	700

Tabla 2 (continuación). Sales fertilizantes para proveer de micronutrientes la solución nutritiva.(Bouzo, 2018)

Fertilizante	Fórmula	% Riqueza	Peso Molecular
Sulfato de manganeso	MnSO ₄ ·H ₂ O	32 ME	169
Sulfato de zinc	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	23 Zn	287,5
Sulfato de cobre	CuSO ₄ · 5H ₂ O	25 Cu	249,7
Edta-Fe	-	13 Fe	-
Eddha-Fe	-	6 Fe	-
Dtpa-Fe	-	6-9 Fe	-
Edta-Mn	-	13 Mn	-
Edta-Cu	-	13 Cu	-
Edta-Zn	-	13 Zn	-
Tetra borato de sodio	Na ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O	11B	381,2
Ácido bórico	H ₃ BO ₃	17B	61,8
Molibdato de sodio	Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	40 Mo	241,9
Hepta molibdato amónico	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄	58Mo	1.163,3

pH es una medida de la actividad de protones, e indicativo del grado de acidez o basicidad de una solución. Su valor se relaciona con la disponibilidad de los nutrientes, debiendo encontrarse entre 5,5-6,5. La concentración dependen del cultivo y la etapa fenológica del mismo (Sapkota & Liu, 2019). Para medir este parámetro existen equipamientos manuales transportables y de fácil uso 'de bolsillo' denominados normalmente como 'peachímetros'. Debe garantizarse que al menos una vez a la semana el equipo pueda calibrarse, este procedimiento se hace generalmente de manera manual. Si el pH está por encima de 6,5 se debe agregar unas gotas de ácido fosfórico, u otro ácido que haga que este valor descienda,

luego del agregado medir nuevamente y asegurar que se encuentre en el rango. Sin embargo, la cantidad puede calcularse conociendo los aniones que deban compensarse, o bien por determinaciones mediante titulometría volumétrica. Si por el contrario el pH se encuentra muy por debajo del rango puede corregirse mediante una solución alcalina como por ejemplo hidróxido de potasio.

Conductividad eléctrica (CE) es una medida de la concentración de las sales disueltas. De manera deseable, debe mantenerse en un rango entre 1500 a 3000 μScm^{-1} . La concentración dependerá del cultivo y la etapa fenológica del mismo. Si se riega con agua con elevada conductividad, la planta se verá afectada ya que no podrá absorber de manera adecuada el agua y los nutrientes, lo cual, generará problemas de crecimiento y desarrollo. Si regamos con agua con muy poca cantidad de nutrientes observaremos síntomas de deficiencia y falta de crecimiento (Beltrano & Gimenez, 2015). Si la conductividad se encuentra por debajo del valor recomendado debemos agregar nutrientes hasta llevarla a 1400-1700 μScm^{-1} , aproximadamente (dependiendo el cultivo y su estado fenológico). Si la conductividad se encuentra muy por encima de ese valor, es recomendable diluir la solución mediante el agregado de agua sin sales disueltas, hasta conseguir el descenso hasta el valores situados dentro del rango óptimo (Benton Jones, 2014). Muchas veces se utiliza otro parámetro que indica también la concentración de sales, que son los Sólidos Totales Disueltos (STD), y en ese caso se procede de la misma manera, agregando nutrientes o agua si está por debajo o por encima de los valores recomendados. En ambos casos y al igual que con pH, existen instrumentales portables que permiten realizar las mediciones en poco tiempo. En los días muy calurosos puede ocurrir que el caldo nutritivo se concentre (suba su conductividad por encima de lo recomendado) por la transpiración de las hojas y la evaporación de agua lo cual es dañino para las plantas. Por lo que, en estos días, es recomendable agregar agua en este horario para evitar cambios bruscos de conductividad. Por esta razón también es recomendable, en verano, trabajar con conductividad en rangos inferiores para evitar la concentración de la solución por evapotranspiración. Los rangos de CE (mSm^{-1}) 0,8 - 1,6 y el pH entre 6,0 y 6,5 (Bouzo, 2018). Tasa de difusión de oxígeno: cuando se encuentra por debajo de los 4 mg L^{-1} se afecta el crecimiento radical. Uno de los primeros síntomas de la falta de aireación es el amarronamiento de las raíces y la disminución del crecimiento de las radical, lo que trae aparejado la aparición de microorganismos dañinos para el cultivo (Salas, 2020)

Existen diversas maneras de oxigenar el agua. Por burbujeo, este tipo de aireación se realiza con una bomba de aire conectada a una tubería con agujeros, o bien con un aireador del tipo utilizado en las peceras. Se puede colocar en el tanque de depósito en sistemas NFT,

provocando un salto del agua recirculante constantemente, por lo que en este sistema la oxigenación se logra cuando en el agua se produce una turbulencia originada por estos saltos físicos del flujo. Las burbujas que se generan en esa caída hacen que aumente la oxigenación. Los tiempos de corte son necesarios para mejorar la aireación de las raíces. Sin dudas uno de los factores que influye en un buen desarrollo del cultivo es manejar de manera adecuada los tiempos de corte y riego. Si el riego es excesivo puede afectar las raíces al no airearse lo necesario. Si por el contrario, la circulación del agua con nutrientes es escasa puede dañarse el cultivo y hasta en algunos casos producir efectos irreparables llegando hasta la marchitez permanente (Benton Jones, 2014). Es recomendable que los períodos de riego se encuentren reforzados en el horario del mediodía, debido a que por el balance de energía, el mayor calor de las plantas se compensa por la disipación de calor latente, lo que significa una mayor tasa transpiratoria, incrementándose así la demanda de agua. De igual modo, a medida que finaliza el período diurno, los riegos disminuyen su frecuencia y duración, siendo mínimos durante el período nocturno (Nicola *et al.*, 2020).

En los sistemas de NFT el caudal de riego debe estar entre 1 y 3 Lm⁻¹, para garantizar la absorción de nutrientes y favorecer la aireación (Alveal Concha, 2014).

Temperatura: es otro factor importante, afecta no solo la oxigenación de la solución nutritiva, sino también la fisiología de las plantas, al modificar el reparto de fotoasimilados entre la fracción de la masa aérea y la radical (Zhou *et al.*, 2020). Las altas temperaturas provocan la disminución del oxígeno en el agua y además afecta la absorción de los nutrientes. Por esta razón, la temperatura de la solución no debe ser inferior a 10 °C, como así tampoco superior de 25 °C. El rango recomendado es 20-25 °C.

Tipos de lechuga, manejo y fases de desarrollo del cultivo

Tipos de lechuga: en América Latina y el Caribe, entre los diferentes tipos de lechuga, las de cabeza del tipo "mantecosas" son las más cultivadas en este sistema hidropónico, ya que destaca su mejor calidad en relación a las cultivadas en suelo y al aire libre. Las lechugas "mantecosas" forman una cabeza central, no muy compacta, sus hojas son de textura suave de alta palatabilidad; son precoces en relación a otras variedades de lechuga, existiendo cultivares de otoño-invierno y primavera-verano. Las lechugas tipo "cos" o "romana" se caracterizan por sus hojas de mayor altura y forma oblonga. Se cultivan en menor escala en NFT por la dificultosa sujeción de las plantas en los días previos a la cosecha debido a su gran altura. Las

lechugas de hoja arrepollada, mal denominadas "escarolas", presentan grandes cabezas de hojas crespas, mayor resistencia a la emisión del tallo floral ("florecimiento o "subida") comparada a las "mantecosas" (Lizano Astorga, 2020).

Dentro de las lechugas de hoja suelta aptas para NFT, existen cultivares que tradicionalmente se han cultivado en el suelo, como lo son 'Milanesa' y 'Parker'. Sin embargo, es necesario tener presente que este tipo de lechuga es de menor precio de venta y por lo tanto hace menos rentable la inversión. Algunos productores tradicionales les amarran las hojas, sin embargo al cultivarlas en el sistema "NFT" no se hace necesario esta práctica, pues se sujetan unas con otras (Carrasco & Izquierdoz, 1996).

También existe la posibilidad de comercializar las hojas de éstas u otras lechugas en bolsas para ensaladas. Además, existen nuevos cultivares de hoja suelta que generalmente son conocidos y consumidos principalmente en países desarrollados, como elementos decorativos para platos junto a mariscos y pescados. Otras de hojas con bordes crespas, las cuales son conocidas como "oakleaf", de color de hoja verde o rojizo, se presentan como una alternativa atractiva como producto "gourmet"(Carrasco & Izquierdoz, 1996).

Manejo y fases de desarrollo: estas hortalizas se cosechan cuando aún están en etapa de desarrollo vegetativo, pues su parte comerciable es justamente la hoja; por lo tanto, la solución nutritiva debe adecuarse a las necesidades de esa etapa de crecimiento. En las pruebas realizadas en el sistema NFT del CPDIA (Campo de Prácticas Docentes e Investigación Agropecuaria de la Escuela de Agronegocios del TEC - Tecnológico de Costa Rica-), se cosechó a los 49 días; se obtuvieron lechugas con pesos de 217 g y diámetro de 42,5 cm, se sugiere dejar las plantas 24 horas en agua recirculante después del trasplante, para evitar el estrés en el sistema radicular, y luego iniciar la adición de la solución nutritiva en una concentración baja (no mayor de $1200 \mu\text{Scm}^{-1}$), para aumentarla paulatinamente hasta una concentración de $1500 \mu\text{Scm}^{-1}$ mantenerla durante la mayor parte de la etapa de desarrollo de la planta; puede elevarse hasta $1800 \mu\text{Scm}^{-1}$ hacia la última semana antes de cosecha (Brenes Peralta & Jiménez Morales, 2014).

El manejo del cultivo de lechuga en hidroponía NFT tiene las siguientes etapas o fases, explicadas brevemente:

Germinación: (tiempo aproximado, dos semanas) lo más recomendable es utilizar espuma fenólica como sustrato. Luego de la siembra humedecer y dejar en la sombra 1 o 2 días (garantizando la humedad), luego de los cuales necesitarán luz solar (Ormaechea & Ramírez, 2019).

La preparación de un almácigo de lechuga, espinaca, apio u otra hortaliza de hoja consiste, generalmente, en la siembra de semillas en cubos de poliuretano de baja densidad, aunque también es posible cultivar las plantas a raíz desnuda. La época de siembra de la almaciguera para el cultivo de lechuga abarca todo el año, sin embargo para lograrlo, se requiere utilizar diferentes cultivares de lechuga específicos para cada estación (Carrasco & Izquierdoz, 1996). La germinación de esta especie es rápida (más aún en días calurosos). Los plantines pueden trasplantarse en 15 días cuando la temperatura es óptima, aunque este período se alarga en días de frío. En la tercera o cuarta hoja verdadera deberán trasplantarse a los hoyos de los canales. Desde el día 10-12 comenzar el riego con nutrientes.

Crecimiento: (tiempo aproximado 45-60 días): lo recomendable es cultivarlos las primeras tres semanas en perfiles más pequeños (58mm de diámetro distanciados a 4cm entre sí y 10 cm entre hoyos) y luego pasarlos a perfiles de 80 mm de ancho con 14 cm de espaciamiento entre caños y 25 cm entre hoyos para que el sistema radicular se desarrolle mejor y no existan problemas de flujo de agua. Realizar monitoreo y mantener la conductividad en 1600-1700 μScm^{-1} pudiendo llegar hasta 2000 μScm^{-1} . Cuando la temperatura es muy baja el crecimiento se ve afectado y en muchos casos se detiene completamente, por el contrario, si las temperaturas son elevadas se induce la floración de manera precoz y su calidad disminuye drásticamente. Altas temperaturas producen la inducción del tallo floral de la lechuga, perdiéndose así su calidad comercial (Ormaechea & Ramírez, 2019).

Como se mencionó anteriormente el crecimiento está ligado a la temperatura del ambiente, en este sentido, si éstas son óptimas la cosecha se puede hacer desde los 40-45 días luego del trasplante, esto determina que puedan realizarse hasta 8 cultivos por año, como sucede en Brasil (Magalhães *et al.*, 2010)

Plagas y enfermedades: el objetivo de la producción es el consumo humano por lo que ante todo debe garantizarse que todo el sistema se encuentre libre de microorganismos que puedan afectar la salud, para disminuir así el riesgo de enfermedades transmitidas por alimentos (ETA), asegurando la inocuidad del producto (Barrantes y Achí, 2011)

Para garantizar el éxito en la producción debemos realizar controles de plagas de manera preventiva y/o curativa. Dentro de las primeras medidas a realizar se recomienda implementar un manejo integral de plagas (MIP), esto es utilizar los recursos disponibles para prevenir y controlar las enfermedades y plagas. Implica estrategias culturales, genéticas, biológicas y

químicas que se complementan para mantener las plagas a niveles inferiores de los que causan daños económicos a los cultivos (Arias, 2013).

La solución nutritiva una vez transcurrido un cierto tiempo, se transforma en un medio propicio para el desarrollo de algas que en algunos casos pueden liberar toxinas (sustancias tóxicas) o bien servir de sitio de proliferación de bacterias. Además, su proliferación puede originar inconvenientes de obstrucción en la circulación de la solución, al tiempo que representan organismos que hacen uso de los elementos minerales presentes, disminuyendo su disponibilidad para las plantas en crecimiento. Este problema puede prevenirse con diferentes medidas, e incluso con sistemas combinados como la acuaponía (Castro Carrión *et al.*, 2020). En la acuaponía se producen animales acuáticos y vegetales en sistemas hidropónicos.

Para evitar el crecimiento de las algas, se debe asegurar en principio que el tanque colector se encuentre correctamente tapado y evitar que la solución de riego se encuentre en contacto directo con la luz. Es decir, colocar mangueras de polietileno negras en la red de distribución, y evitar al máximo la entrada de luz sobre la solución nutritiva. Además de la luz, es importante la utilización de colores claros en los canales de cultivo para disminuir la temperatura del medio.

En hidroponía la raíz se encuentra constantemente sometida a condiciones en las cuales se ve favorecido el crecimiento de microorganismos que pueden perjudicar el cultivo. El más conocido de estos microorganismos es *Pythium*, éste es un parásito absorbente que se alimenta de materia orgánica muerta o en descomposición. Por este motivo es que si este oomiceto se encuentra presente en nuestro cultivo ocasiona la podredumbre radicular y puede terminar con las plantas. Además de ser muy dañino, las condiciones de hidroponía, donde el agua recircula constantemente, favorecen su multiplicación extendiéndose rápidamente en todo el sistema productivo afectando a la mayoría de las plantas. Una forma de evitarlo es mantener las condiciones de limpieza ya que puede provenir de materiales o herramientas contaminadas. Otra manera de prevenirlo es realizar el agregado semanal de peróxido de hidrógeno (agua oxigenada), la cual previene el desarrollo de este tipo de microorganismos. La dosis de la misma a agregar es de 33 mL cada 1000 litros de agua (Ormaechea & Ramírez, 2019).

En las hortalizas de hoja, según su variedad, las principales plagas que se presentan son los áfidos y los insectos cortadores usualmente en estado larval, y enfermedades producidas por bacterias como la *Erwinia* sp., y hongos como el *Fusarium* sp. y *Alternaria* sp. El manejo de estas radica principalmente en la introducción de plantas provenientes de un almácigo confiable en términos de sanidad, y la selección de variedades adecuadas al sitio de siembra, así como

Buenas Prácticas Agrícolas. Entre estas prácticas se pueden citar la desinfección del sistema, de equipos y de las personas que ingresen y manipulen alguna porción del sistema. Es importante propiciar una buena nutrición de las plantas, y manejar la temperatura y oxigenación de la solución nutritiva, así como la temperatura y humedad ambiental relativa, pues algunas de esas condiciones pueden favorecer el desarrollo de patógenos o bien, desencadenar afecciones fisiológicas en el cultivo. Igualmente, cuando existe un desbalance nutricional, además de ocasionar una mayor vulnerabilidad a plagas y enfermedades, pueden observarse fisiopatías propias de la deficiencia de nutrientes o de la toxicidad de estos (Brenes Peralta and Jiménez Morales, 2014). La limpieza del sistema de hidroponía puede iniciarse algunos días antes de la siembra, esta incluye el lavado exhaustivo de los tubos con jabón y agua. Es aconsejable pasar esponjas o cepillos por la superficie, de un extremo a otro de cada uno de los tubos. Esta acción se repite varias veces, con el fin de eliminar cualquier tipo de contaminación del sistema. Posteriormente se debe lavar el interior de los tubos preferiblemente con una hidrolavadora o a presión, así como el tanque donde se verterá la solución nutritiva. Luego, se llena el tanque con agua limpia a un 50% de su capacidad como máximo, para la desinfección con peróxido de hidrógeno al 3% y activación de la circulación por el sistema. Por último, el llenado del tanque con agua limpia a un 50% de su capacidad como máximo y activación de la circulación del sistema para su desinfección con cloro 5 %; ajuste del temporizador con el fin de hacer circular la solución para desinfección por 30 minutos y reposar por 30 minutos, también.

Consumo de agua: para el cultivo de lechuga desde el establecimiento de éste con 4 a 5 hojas verdaderas a roseta, una planta absorbe, por día, aproximadamente entre 50 y 100 mL de solución. Posteriormente, ya al alcanzar las plantas su tamaño comercial, absorben al día aproximadamente entre 200 y 300 mL de solución nutritiva. Además, se debe considerar un 25 % más del volumen requerido para que éste permanezca en el estanque colector y permita el funcionamiento constante de la bomba (Ormaechea & Ramírez, 2019).

Riego-cortes: Estudios preliminares realizados en lechuga confirmarían que sería posible detener la bomba por algunas horas durante la noche e incluso por períodos cortos a través del día, sin afectar el rendimiento y calidad de las plantas. Sin embargo, aún es necesario repetir estas experiencias en éste y otros cultivos, especialmente para el período estival (Carrasco & Izquierdoz, 1996).

Cosecha: se realiza a los cuarenta y nueve días o siete semanas después de que esta fue trasplantada, o bien tomando como indicador el tamaño, según la experiencia y los requisitos del mercado. Las actividades incluyen las siguientes: retiro de plantas enteras, con raíz, del

sistema y colocación en cajones plásticos limpios. Se debe evitar colocar más de dos capas de lechugas, para no ocasionar daños en las hojas. También se puede colocar en bolsas de plástico o plástico ecológico con una pequeña lámina de agua en el fondo, donde se sumergen las raíces, para aumentar la vida útil en góndola (Brenes Peralta & Jiménez Morales, 2014). En Lechugas *Lactuca sativa* L variedad Grand Rapid W. G. del tipo Crespa se obtuvieron rendimientos de 162,9 g planta⁻¹ (Mora, 2009) por lo tanto con un prototipo de 200 plantas se puede obtener un volumen de venta de 260,64 Kg considerando ocho cosechas por año en el mismo sistema con la misma estructura.

Costos: los costos para la puesta en funcionamiento de un prototipo con las características de la Figura 1 cuyas dimensiones, para 200 plantas de lechuga, son de 6 m de largo por 2 m de ancho son de \$74.900 (setenta y cuatro mil novecientos pesos, mayo 2020). Incluye 8 Perfiles de 6 m R80 con hoyos cada 0,25 m, medidor de STD, pHachímetro, Nutrientes para 200 L, temporizador analógico, soportes para caños, más los materiales para realizar el microtúnel sobre la estructura.

En un propuesta tecnológica de INTA para un invernadero de 240 m² construido en perfiles galvanizados, con recubrimiento de policarbonato alveolar de 6 mm, un depósito de soluciones de 1100 litros, un sistema de bombeo automático de 0,6 hp y líneas de producción construidas en hierro estructural y PVC circular de 100 mm, concluyeron que es factible y recomendable el proyecto de la producción hidropónica bajo cubierta de hortícolas de hoja, es sustentable en el tiempo y la posibilidad de réplica es admisible (Birgi *et. al.*, 2018). La inversión inicial es de \$550.718,50, los costos directos del primer año \$272.091,06, los costos directos del segundo año \$272.691,06. En ambos años, la mano de obra directa (sueldos y aportes) es el 84% de los costos directos. Costos indirectos del primer año \$41.279,20 y costos indirectos del segundo año \$41.195,84. El ingreso total por ventas directas \$334.400 de las verduras de hoja.

Birgi *et. al.*, 2018 concluyen que en la composición de los costos, los operativos son los que tienen mayor participación en la actividad productiva. Por otra parte, el resultado económico del primer año, y se observa que el margen bruto es positivo (\$62308,94) y con la capacidad de hacer frente a los costos indirectos. Y si bien el resultado neto es negativo (-\$5.233,57) para el primer periodo, es oportuno mencionar que las amortizaciones no representan salida de dinero para la actividad, y son recuperadas en los siguientes ejercicios económicos.

Ventajas de la hidroponía respecto a los cultivos a campo

Dentro de las ventajas existen: la reducción del requerimiento de espacio, higiene de los cultivos (menor contacto con el suelo), la comodidad de trabajar a una altura deseada y

elegida, la optimización del uso del agua si a campo no se utiliza un sistema de riego con alta eficiencia, posibilidad de producción en lugares donde no hay tierra o es de mala calidad e incluso en terrazas de edificios, se evita el laboreo con maquinaria agrícola, existe posibilidad de automatización y con esto el aceleramiento en el proceso del cultivo que se puede volver a cultivar en la misma estructura en sucesivas estaciones de crecimiento (no son necesarias las rotaciones). En los sistemas de cultivo en hidroponía el tiempo de desarrollo del cultivo de lechuga se acorta, donde a campo su ciclo antes de cosecha es de aproximadamente 3,5 meses, cuando en hidroponía, se puede cultivar en tan solo 1,5 meses a partir de su germinación. En un sistema NFT para una producción primaveral de lechugas, si se cultiva con una densidad de plantación de 24 plantas m² para una superficie útil de 100 m², luego de tres meses es factible cosechar un total de 7.200 lechugas. Para obtener un número similar de lechugas pero cultivadas en el suelo, se requerirían al menos seis veces esa área de cultivo (Carrasco & Izquierdoz, 1996). Otra ventaja de cualquier sistema hidropónico sobre cultivo en suelo, es que en condiciones de invernaderos, los suelos se degradan (dependiendo de su composición de arcilla básicamente y de la calidad de agua utilizada para el riego) en muy pocos años - normalmente superando el quinto año- empiezan los problemas como pérdida de estructura, salinización, sodificación y enfermedades.

Monitoreo, automatización y control remoto.

El monitoreo, es decir la recolección y análisis de la información para luego tomar decisiones agronómicas puede tener mayor eficiencia en los sistemas hidropónicos mediante el uso de programación en forma automatizada. Los parámetros principales que podemos controlar con la automatización son los relacionados con las condiciones meteorológicas como la concentración de dióxido de carbono, la humedad, la temperatura, radiación. Además se pueden automatizar los períodos de riego-cortes, la dosificación de nutrientes (soluciones madres), el control del pH, de la conductividad eléctrica y de la concentración de oxígeno de la solución.

Un sistema de automatización cuenta con sensores (de temperatura, humedad, gases, luminosidad, pH, CE). Es posible diseñar una aplicación que muestre los datos generados por sensores de pH, de CE, temperatura del agua y otras variables a considerar (nivel de toxinas, por ejemplo), y la misma pueda ser accesible por una red (Internet u otra), a través de un programa de computadora a manera de *API* (es el acrónimo inglés “Application Programming

Interface”, es decir, “Interfaz de Programación de Aplicaciones”. Una `interfaz` es la forma en que dos aplicaciones o servicios se comunican entre sí). Los datos y el monitoreo podrán estar en la llamada “nube” (la cual permite almacenar y acceder a datos y programas en servidores en Internet, en lugar del disco duro de una computadora) o mismo en un servidor local (en una computadora cercana a las instalaciones), o en ambos. Esto hará posible acceder al estado, datos y control de distintos sensores y dispositivos. Un ejemplo muy básico es el de controlar una serie de relés (un relé es interruptor eléctrico que permite el paso de la corriente eléctrica cuando está cerrado e interrumpirla cuando está abierto), con lo cual se podrá encender y apagar distintos dispositivos y maquinaria eléctrica, como puede ser una bomba inyectora.

También se podrán observar en tiempo real los valores actuales de pH, de CE, temperatura de una solución, entre otros. Que al estar accesible por una *API*, posibilitará monitorear y tomar decisiones desde un lugar remoto e incluso programar la respuesta automática de acuerdo a la información relevada por los sensores.

Los sensores de estas variables, se conectan a una interfaz electrónica de entrada y salida de propósito general (GPIO) de una mini computadora *Raspberry Pi*, ordenador muy económico preparado especialmente para este tipo de usos, capaz de leer datos analógicos y digitales de distintos dispositivos y sensores.

La automatización permite solucionar los diversos problemas originados por la inadecuada o inoportuna decisión de riego, traducidos en excesos o déficit, desuniforme provisión de nutrientes, exceso de temperatura por errores en la ventilación, entre muchos otros problemas de carácter decisorio, que actualmente en el país, en la mayor parte de los invernaderos están centrados en la acción humana directa.

Con la automatización se logra aumentar la productividad, reduciendo los costos de la producción y mejorando la calidad de la misma. Se mejorarán las condiciones de trabajo del personal. Se realizan operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente. Además, el aumento de la eficiencia de disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.

Consideraciones finales.

De mi revisión bibliográfica concluyo que en Argentina la hidroponía como proyecto comercial existe, a pesar de no manejar índices de participación significativos. La producción de hortalizas de hoja mediante este sistema tiene aún un mercado casi inexplorado en el país. Sobre esta base y considerando el amplio conocimiento desarrollado en sistemas hidropónicos como el NFT, es posible lograr un producto que mediante un desarrollo de mercado, pueda llegar a diferenciarse por la calidad.

Además de todas las ventajas del sistema hidropónico NFT en sí mismo, para la producción de lechuga, con el abanico de herramientas tecnológicas e informáticas y la posibilidad de conectividad de estos tiempos, genera mayores beneficios aún. Es decir, la incorporación de los sensores conectados con ordenadores, para la automatización de las sistemas hidropónicos permite una mayor precisión en la toma de decisiones, incluso se podrá decidir antes de que se produzca algún desbalance a qué nivel mantener o llevar los diferentes parámetros que se ajustarán de acuerdo a como se hayan programado. Todo esto, incrementa aún más la eficiencia de producción volviéndolo un sistema que tiene posibilidades de concretarse tanto a nivel de escala familiar como comercial. Si bien la inversión inicial es elevada, a través de los años se vuelve una actividad rentable.

Finalmente, algunas cuestiones que deberían explorarse en el futuro, y que exceden a los alcances de este trabajo, pueden traducirse en algunas preguntas: ¿Por qué no avanzan los cultivos sin suelo en la Argentina? ¿Por la complejidad del sistema? ¿Es para países que no tienen tierras fértiles? ¿Es más caro? ¿Falta de información? ¿Falta de formación profesional?

Figura 2. Prototipo del sistema NFT construido por el autor en su vivienda, con el objetivo de escalar la producción en otro sitio, con la adición de automatismos.



Referencias Bibliográficas

- ALVELA CONCHA, M. A., CAMPOS GONZÁLEZ, K. 2014. Estudio comparativo de sistemas de riego hidropónico y por goteo. Seminario de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero de Ejecución en Mecánica. Pp. 54.
- ARCOS, B., O. BENAVIDES, RODRIGUEZ, M. 2011. "Evaluación de dos sustratos y dos dosis de fertilización en condiciones hidropónicas bajo invernadero en lechuga (*Lactuca sativa* L.). Revista De Ciencias Agrícolas 28 (2):95-108.
- ARIAS, N. 2013. Manejo de plagas y enfermedades. INTA EEA Concepción del Uruguay. Pp 3.
- ASAO, T., 2012. Hydroponics. A Standard Methodology for Plant Biological Researches. InTech, Croatia.
- BARRANTES, K., ACHÍ, R. 2011. Calidad microbiológica y análisis de patógenos (*Shigella* y *Salmonella*) en lechuga. Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología 31:31-36.
- BARRIENTOS-AVENDAÑO, E., RICO-BAUTISTA, D., CORONEL-ROJAS, L.A. CUESTA-QUINTERO, F.R.. 2019. Granja inteligente: Definición de infraestructura basada en internet de las cosas, IPv6 y redes definidas por software. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação 17: 183-197.
- BARÓN, C. 2005. Boletín de Calidad N° 2. Mercado Central de Buenos Aires. Recuperado de: http://www.mercadocentral.com.ar/site2006/publicaciones/red_alerta/boletin/boletin6-05/nota3-%20lechuga/lechuga.ht
- BAUD, I.S.A. 2000. Collective Action, Enablement and Partnerships, Issues in Urban Development. Amsterdam Vrije Univ. Boekhandel/UitgeverijAmsterdam.
- BELTRANO, J. y GIMÉNEZ, D. 2015. Cultivo en hidroponia. Libro de Cátedra. Editorial UNL. Pp. 19, 26, 28, 30, 107, 182
- BENTON JONES, J. 2014. Complete guide for growing plants hydroponically. CRC Press. New York. 206 pp.
- BIRGI, J. 2015. Producción hidropónica de hortalizas de hoja. INTA EEA Santa Cruz. Pp 5
- BIRGI, J., BONIL, R. Y HARO, H. 2018. Producción hidropónica familiar de verduras bajo cubierta, análisis socioeconómico y financiero. Pp 3-10
- BRAJOVIC, G., 2016. Los principales métodos hidropónicos. Recuperado de: <http://www.hidroponic.cl/principales-metodos-hidroponicos>

BOUZO, C. A. 2018. Soluciones nutritivas. Quinta clase (modalidad a distancia). Nutrición Mineral de los Cultivos Intensivos. Especialidad y Maestría en Cultivos Intensivos (FCA-UNL). Pp. 4 – 13

BOUZO, C.A. 2018. Diagnóstico nutricional de los cultivos. Cuarta clase (modalidad a distancia). Nutrición Mineral de los Cultivos Intensivos. Especialidad y Maestría en Cultivos Intensivos (FCA-UNL). Pp. 15.

BOUZO, C. A., J.C. Favaro. 2002. Curva de crecimiento adimensional en lechuga para el fraccionamiento de la fertilización nitrogenada. *Agronomía Tropical*, Venezuela, 52(2):187-196.

BRENES PERALTA, L y JIMÉNEZ MORALES, M. 2014. Manual de producción hidropónica para hortalizas de hoja en sistemas NFT (Nutrient Film Technique). Campo de Prácticas docentes e Investigación Agropecuaria de la escuela de Agronegocios. Tecnológico de Costa Rica. Pp. 12 - 16

CARRASCO, G., IZQUIERDOZ, J. 1996. La Empresa hidropónica de mediana escala: técnica de la solución nutritiva recirculante (“NFT”). Manual Técnico. Universidad de Talca. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Pp. 40 - 48

CASAS R.R., 2001. La conservación de los suelos y la sustentabilidad de los sistemas agrícolas.

CASTAGNINO A.M.; DÍAZ, K.; FERNÁNDEZ LOZANO, J.; GUI SOLIS, A.; LIVEROTTI O.; ROSINI, M. B.; SASALE, S. 2020. Panorama del sector hortícola argentino: 1. Caracterización y prioridades de la horticultura nacional. *Horticultura Argentina* 39 (99):76-102.

CASTRO CARRIÓN, E.J., MAYORGA RODRÍGUEZ, G.A., PAREDES CENTENO, O.D.2020. Evaluación de la capacidad de absorción de nutrientes usando lechuga (*Lactuca sativa*. L) en un sistema acuapónico de cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*.). Tesis UNAN, León, 68 p.

CLINTON, N., M. STUHLMACHER, A. MILES, N. ULUDERE ARAGON, M. WAGNER, M. GEORGESCU, C. HERWIG, P. GONG. 2018. A Global Geospatial Ecosystem Services Estimate of Urban Agriculture. *Earth’s Futur* 6(1):40-60.

DUCHEMIN, E., F. WEGMULLER, M. LEGAULT. 2008. Urban agriculture: multi-dimensional tools for social development in poor neighbourhoods. *Field Actions Sci. Rep.* 1:42-52.

FAO. (1996), La Empresa Hidropónica de Mediana Escala, La técnica de la solución Nutritiva Recirculante (NFT). Pp. 15.

FERNÁNDEZ, L, HERRERO, A.C., MARTIN, I., 2010. La impronta del urbanismo privado. Ecología de las urbanizaciones cerradas en la Región Metropolitana de Buenos Aires. Scr. Nov. Pp. 331, 61.

FLÓREZ, V. (2012). Sustratos, manejo de clima, automatización y control de sistemas de cultivo sin suelo. UNAL Colombia. Bogotá.

FURLANI, P.R., SILVEIRA, L.C.P., BOLONHEZI, D., FAQUIN, V., 1999. Cultivo hidropónico de plantas. Instituto Agronômico Campinas.

GALMARINI, C. 2018. Hay que diferenciar a las hortalizas para fomentar su consumo. Revista InterNos. Octubre 2018. 2 pp.

GAZULA, A., KLEINHENZ, M.D., STREETER, J.G., RAYMOND MILLER A. 2005. Temperature and Cultivar Effects on Anthocyanin and Chlorophyll b Concentrations in Three Related LolloRosso Lettuce Cultivars. HortScience 40(6):1731-1733.

GOITES, E., 2020. Espacios agrícolas periurbanos: oportunidades y desafíos para la planificación y gestión territorial en Argentina. Ediciones INTA. 40 p.

HOCHMUTH, G, MAYNARD, D, VAVRINA, C, HANLON, E, SIMONNE, E.1991. Plant Tissue Analysis and Interpretation for Vegetable Crops in Florida.

INTA, 2013. Documento base del Proyecto Regional con Enfoque Territorial del territorio Norte. Aportes al desarrollo sustentable de la agricultura urbana y periurbana en el territorio norte del área metropolitana de Buenos Aires.

ISLAM, R., ISLAM, M., ISLAM, N., M. D. ISLAM, SEN, S., KAMAL FAISAL, R. 2020. Climate change adaptation strategies: a prospect toward crop modelling and food security management Modeling Earth Systems and Environment 6:769–777.

KING, A.C., WINTER S.J., CHRISINGER B.W., HUA J., BANCHOFF A.W. 2019. Maximizing the promise of citizen science to advance health and prevent disease. Prev Med. 119:44-47.

KULAK, M., A. GRAVES, J. CHATTERTON. 2013. Reducing greenhouse gas emissions with urban agriculture: a Life Cycle Assessment perspective. Landsc. UrbanPlann. 111:68-78.

LENSCAK, M. P.; IGLESIAS, N. 2019. Invernaderos Tecnología apropiada en las regiones productivas del territorio nacional argentino (del paralelo 23 al 54). Colección Investigación, desarrollo e innovación. INTA Ediciones IPAF Región Pampeana. 10 pp.

LENSCAK, M. P.; STAVISKY, A. 2016. Situación actual de la Plasticultura en Argentina. Conferencia. 39° Congreso Argentino de Horticultura: Valorización para nuevas oportunidades. – Santa Fe: Asociación Argentina de Horticultura.

LI, S., XU, L. DA, ZHAO, S. 2015. The internet of things: a survey. *Information Systems Frontiers*, 17(2):243-259.

LIZANO ASTORGA, D.R., 2020. Cultivo hidropónico NFT de lechuga (*Lactuca sativa* L.,:Asteraceae) con diferentes cultivares, soluciones nutritivas y microorganismos benéficos en ambiente protegido en Santa Clara. Tesis, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 84 pp.

MAGALHÃES, ADRIANA G, MENEZES, DIMAS, RESENDE, LUCIANE V, & BEZERRA NETO, EGÍDIO. 2010. Desempenho de cultivares de alface em cultivo hidropônicos dois níveis de condutividade elétrica. *Horticultura Brasileira* 28(3):316-320.

MOHAREB, E., M. HELLER, P. NOVAK, B. GOLDSTEIN, X. FONOLL, L. RASKIN.2017. Considerations for reducing food system energy demand while scaling up urban agriculture. *Environ. Res. Lett.*, 12:1-17.

MOLYNEUX, C. J. 1989. A practical guide to NFT. Nutriculture Ltd. (Ed.) Lancashire. Pp 153.

MORA, JULIO. 2009. Prueba exploratoria: Lechuga (*Lactuca Sativa*) en hidoponía. Río Gallegos Santa Cruz.

MORAES, V.H., GIONGO, P.R., DE FREITAS SILVA, F., MESQUITA M., DE ABREU J. P. DOURADO PEREIRA A. 2020. Behavior of three lettuce cultivars in a hydroponic system. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* 73(2): 9165-9170.

MORGAN, L. 1999. Hydroponic Lettuce Production. Casper Pub Ed. 112 pp.

NICOLA, S., PIGNATA, G., FERRANTE, A., BULGARI, R., COCETTA, G., ERTANI, A. 2020. Water use efficiency in greenhouse systems and its application in horticulture. *Agro Life Scientific Journal* 9(1): 248-262.

ORIOLO, M. 1993. Fertirrigación, Sustratos y Cultivos Sin Suelo. Depto. De Tecnología Hortícola – Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (IRTA). Catalunya – España.

ORMAECHEA, V., RAMIREZ, M. 2019. Producción hidropónica. Manual. Módulos 7 - 9

ORSINI, F., KAHANE, R., NONO-WOMDIM, R., GIANQUINTO, G., 2013. Urban agriculture in the developing world: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 33, 695–720.

PIOLA, M. (26 octubre de 2017). *El Comienzo de una Red de hidroponia*. Recuperado de: <https://inta.gob.ar/noticias/el-comienzo-de-una-red-de-hidroponia>

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 2021. *Diccionario de la lengua española*, 23.^a ed., [versión 23.4 en línea]. Consultado en <https://dle.rae.es>

RAJNAI, Z., I. KOCSIS. 2017. Labor market risks of industry 4.0, digitization, robots and AI. *SISY Int. Symp. Intell. Syst. Informatics, Proc.* pp. 343-346.

RESH, H. M. 1987. *Hydroponic Food Production* 3° edición Woodbridge Press Publishing Company – California.

RESH, H. 2001. *Cultivos hidropónicos*. Madrid, Barcelona, México: Ediciones Mundi - Prensa. Retrieved from file:///C:/Users/vicke/Downloads/9788484760054.pdf

RUFÍ-SALÍS, M., CALVO, M.J., PETIT-BOIX, A., VILLALBA, G., GABARRELL, X. 2020. Exploring nutrient recovery from hydroponics in urban agriculture: An environmental assessment. *Resources, Conservation & Recycling* 155:1-9.

SALAS, M. F. 2020. *Identificación de los Factores que Determinan la Calidad de Agua en Cultivos Hidropónicos*. Tesis. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. 64 pp.

SAPKOTA, S.; LIU, Z. 2019. Effects of Nutrient Composition and Lettuce Cultivar on Crop Production in Hydroponic Culture. *Horticulturae*, 5:72-73.

SCAGLIA E., VEGA M.A. SALTO. C. 2004. Lechuga tipo "de hoja". *Prácticas para una producción continua a campo*.

SHEIK, B.A., 2006. Hydroponics: key to sustain agriculture in water stressed and urban environment. *Pak. J. Agric., Agril. Eng., Vet. Sci* 22, 53–57.

SHONGWE, L.T., MASARIRAMBI, M.T., OSENI, T.O., WAHOME, P.K., . NXUMALO, K.A., GULE, P.I. 2019. Effects of Hydroponics Systems on Growth, Yield and Quality of Zucchini (*Cucurbitapepo* L.). *Journal of Plant Studies* 8(2):62-72.

SINGH, H., DUNN, B., PAYTON, M. 2019. Hydroponic pH modifiers affect plant growth and nutrient content in leafy greens. *Journal of Horticultural Research* 27(1):31-36.

SMIT, J., NASR, J., RATTA, A., 1996. *Urban agriculture: food, jobs and sustainable cities*. New York, USA 2, 35–37.

SON, J.E., KIM, H.J., AHN, T.I. 2016. *Hydroponic Systems*. In: ToyokiKozai, GenhuaNiu, Michiko Takagaki editors: *Plant Factory*, Burlington: Academic Press pp. 213-221.

TABAGLIO, V., BOSELLI, R., FIORINI, A., GANIMEDE, BECCARI, C.P. SANTELLI, S., NERVO, G. 2020. Reducing Nitrate Accumulation and Fertilizer Use in Technique (NFT) System. *Agronomy* 10:1-15.

VIGLIOLA, M. I., 1986. *Manual de Horticultura*. Editorial hemisferio sur SA. Buenos Aires, Argentina.

WIELEMAKER, R., OENEMA, O., ZEEMAN, G., WEIJMA, J. 2019. Fertile cities: Nutrient management practices in urban agriculture. *Science of the Total Environment* 668(10):1277-1288.

WILHELM, J.A., R.G. SMITH 2017. Ecosystem services and land sparing potential of urban and peri-urban agriculture: a review. *Renew. Agric. Food Syst.* 1-14.

WIMBERLEY, R., FULKERSON, G., 2007. Mayday 23: World population becomes more urban than rural. *Rural Sociol.* 27, 42–43.

WURR, D.C.E., FELLOWS J.R., HAMBIDGE A.J. 1992. Environmental factors influencing head density and diameter of crisp lettuce cv. Saladin. *J. Hort. Sci.* 67(3):395-401.

ZEZZA, A., TASCIOTTI, L., 2010. Urban agriculture, poverty, and food security: Empirical evidence from a sample of developing countries. *Food Policy* 35, 265–273.

ZHOU, J., WANG, J.Z., HANG, T., LI, P.P. 2020. Photosynthetic characteristics and growth performance of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under different light/dark cycles in mini plant factories. *Photosynthetica* 58(3):740-747.