

UNIVERSIDAD DE Belgrano

BUENOS AIRES - ARGENTINA

Mayores rendimientos agrícolas utilizando como método de cultivo el sistema hidropónico

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Tutor: Dra. Fernanda Jimena Vazquez

Alumno: Alan Ariel David Tafet

Carrera: Licenciado en Ciencias Biológicas (1402)

Número de matrícula: 1402 - 2543

Año: 2022

Índice	2
1. Resumen	3
2. Introducción	3
3. Marco teórico	7
3.1. Desarrollo del sistema hidropónico	7
3.2. Solución nutritiva y control del pH	8
3.3 Importancia de la conductividad eléctrica en la solución nutritiva	8
3.4 Tipos de cultivo hidropónico	9
3.5 Intervalo de riego.....	10
3.6 Factores que afectan la germinación	11
3.7 Beneficios de la hidroponia	13
3.8 Posibles problemas ambientales.....	14
4. Objetivo general	17
5. Objetivos específicos	17
6. Hipótesis	17
7. Materiales y métodos	17
7.1 Diseño del espacio	17
7.2 Obtención de semillas	18
7.3 Germinación	19
7.4 Etapas de cultivo	21
7.5 Sistema NFT	23
7.6 Preparación de la solución nutritiva	23
7.7 Control.....	24
7.8 Cambio de la solución nutritiva	26
7.9 Intervalo de riego.....	26
7.10 Control de plagas	27
8. Resultados obtenidos	30
9. Discusión y conclusiones	31
10. Bibliografía.....	35

1. Resumen

El creciente aumento de la población mundial a lo largo de estas últimas décadas provocó un incremento en la demanda alimenticia y una mayor explotación de las tierras para la agricultura y la ganadería. Con el propósito de responder a dicha situación se han desarrollado nuevas metodologías, basadas en la investigación científica y la innovación tecnológica, para poder afrontar las crecientes demandas. En ese sentido, los avances en el conocimiento científico acerca de las bases nutritivas que requiere una planta para su adecuado crecimiento, incluyendo la determinación de los macronutrientes y micronutrientes, se han visto reflejados en el desarrollo de la hidroponía como una importante técnica, caracterizada por un elevado nivel de complejidad y resultados altamente promisorios. La incorporación de métodos hidropónicos provee un sistema en el cual el consumo de agua se reduce entre un 70% y un 90%, en comparación con el cultivo tradicional, y permite la posibilidad de realizarse en zonas urbanas evitando la excesiva explotación de territorio natural. Actualmente existe una importante evidencia que refleja la eficacia de la hidroponía en lo que respecta a calidad, intensidad y obtención del cultivo, además de su reducido impacto ambiental.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar y destacar los beneficios de la utilización de cultivos hidropónicos, particularmente mediante la aplicación del método de hidroponía *Natural Film Technique* (NFT). En el marco del presente trabajo se investigó la composición nutritiva a utilizar, incluyendo las concentraciones de micronutrientes y macronutrientes necesarios para obtener un mayor rendimiento, así como también la absorción de los mismos por parte de las plantas. La aplicación de esta técnica, con los beneficios aportados por la misma, representan un potencial aporte a las crecientes demandas alimenticias a nivel mundial.

Palabras clave: Hidroponía, nutrientes, agua, medio ambiente.

2. Introducción

Se ha observado que el creciente aumento de la población mundial, fundamentalmente a lo largo de las últimas décadas del siglo XX y comienzos del siglo XXI, se tradujo en un incremento substancial en la demanda alimenticia, lo cual a su vez se encuentra asociado a una mayor explotación de grandes extensiones de tierras, que resultan convertidas en enormes campos destinados al cultivo y la ganadería. Según datos demográficos aportados por las Naciones Unidas, hacia el año 1950 se calculaba una población mundial de 2.600 millones de habitantes, esta cifra se triplicó hacia el año 2011 y se estima que para el año 2050 esa cifra podría aumentar de manera dramática, alcanzando unos 9.600 millones de habitantes, lo cual

se verá reflejado en un aumento exponencial en la necesidad de generar fuentes de alimentación para cubrir las necesidades de la creciente población, con el consecuente impacto ambiental que esto provocaría a nivel mundial. En virtud de esta problemática, es necesario destinar importantes recursos, desde la investigación científica hasta su aplicación metodológica, para el desarrollo de importantes proyectos de innovación tecnológica, orientadas a proveer nuevas estrategias que permitan afrontar eficazmente la situación provocada por el creciente aumento de la población mundial. Las consecuencias ambientales de este proceso se pueden ver también reflejadas en la creciente demanda sobre los recursos de agua dulce (Wallace, 2000). En ese sentido, la escasez de agua, la dependencia de nutrientes por parte de la tierra de cultivo y el aumento desequilibrado de la población mundial, son cuestiones que afectan a toda la población mundial. Dichas condiciones se van acentuando y consolidando, llegando a constituir problemas estructurales en algunas zonas del planeta, especialmente en grandes áreas urbanas, ya que allí es donde se concentra la mayor parte de la población. (Magwaza *et al.*, 2020).

De esta manera, con el creciente aumento de la población mundial, se estima que para el año 2030 se encuentren sufriendo escasez de agua 1800 millones de habitantes, y junto con ello, se estima un aumento del 40% en la demanda de agua en cuanto a los sectores de producción, según un reporte de *United Nations World Water Assessment Programme* (Jackson, 2001). Este representa un importante eslabón que forma parte de la cadena de problemas que se van desarrollando a nivel mundial. A causa de un constante aumento del número de habitantes, se está requiriendo mayor cantidad de terrenos para cultivo, es decir, los espacios naturales están sufriendo una drástica reducción de territorio para destinarse como campos con el fin de intensificar la explotación de la ganadería y agricultura, lo que genera un desequilibrio tanto del microclima de la región, como a su vez a nivel mundial.

Por otra parte, cabe destacar que, en relación a estos procesos, la deforestación genera una mayor liberación de carbono a la atmósfera, el cual se encuentra almacenado en mayores concentraciones en los árboles y en la tierra. Junto a ello, se ha demostrado que la drástica reducción de la flora ambiental, producida por la tala masiva de grandes cantidades de árboles, impide que las mayores concentraciones de carbono liberado a la atmósfera pueda ser nuevamente incorporado y fijado por la flora (Yanai *et al.*, 2017). Esta acción desencadena graves consecuencias ambientales, que también se reflejan en el ciclo del agua, generando una importante reducción en la evaporación y transpiración del agua liberada desde las fuentes vegetales nuevamente a la atmósfera. Este proceso es un factor clave de regulación local y global de la temperatura, ya que estos ecosistemas son centrales para la estabilidad atmosférica y climática de la tierra en su conjunto (Roberts *et al.*, 2017). Precisamente, con respecto a esto mismo, estudios realizados entre 1960 y 2015 indican que, en ese mismo periodo, se registró un importante aumento en las emisiones antropogénicas de carbono a la atmósfera. Dichos estudios revelan que las emisiones alcanzaron 408 Pg de carbono, de los cuales el 80% provino de la quema de combustibles fósiles (Mitchard, 2018). A pesar de esa

cifra, la concentración de CO₂ atmosférico creció solamente en un 45% (180 Pg de carbono) lo cual significa que el 55% de dichas emisiones pudo ser re-absorbido por los propios recursos naturales de la tierra. En ese sentido, se ha demostrado que la re-absorción de carbono liberado a la atmosfera se asocia con tres componentes principales: los océanos, los bosques del hemisferio norte y los bosques tropicales, siendo estos últimos los responsables de aproximadamente un tercio de lo incorporado y re-absorbido (Mitchard, 2018). Sumado a ello se ha registrado que el 23% de la totalidad de emisiones de gases de efecto invernadero son derivadas de la agricultura, deforestación y actividades relacionadas con la explotación de los suelos, que además se encuentran entre las principales causas asociadas con el calentamiento global (Ng, 2019).

El crecimiento demográfico, particularmente reflejado en ciertas regiones, como la expansión de la población humana en ambientes de zonas tropicales, ha generado consecuencias devastadoras en cuanto a su deforestación, siendo hoy en día uno de los ecosistemas más amenazados del mundo. Se estima que diariamente se pierden 320 km² de bosques tropicales debido a la constante deforestación, y junto con ello la fauna que lo habita (Roberts *et al.*, 2017).

La degradación de la tierra es uno de los problemas ambientales que actualmente está teniendo un gran impacto negativo alrededor del mundo (Stavi, 2015). Esto implica que se genera un deterioro de la función y productividad del sustrato (Orr *et al.*, 2017). Más aun, se ha demostrado que mundialmente cerca del 20% de las tierras de cultivo, 30% de los bosques y 10% de los pastizales han sido degradados (Borrelli *et al.*, 2017). Además de ello, se ha observado que la sobreexplotación de tierras para cultivo, afecta negativamente a su calidad de nutrientes, necesarios para el correcto crecimiento de la flora, y su capacidad de retener agua, lo que genera graves consecuencias ambientales, como inundaciones (Wei *et al.*, 2017).

Se ha demostrado que la creciente escasez de importantes recursos naturales, como el agua y la tierra apta para cultivo, genera importantes consecuencias ambientales en todo el mundo, lo cual constituye un importante motivo de preocupación, principalmente respecto a la salud y calidad de vida de las personas a nivel mundial. En ese sentido, algunos estudios indican que anualmente se utiliza un 87% del agua dulce para la producción agrícola (Postel, 2001). Más aún, otros estudios indican que se debe considerar el impacto producido por los factores climáticos y variaciones geográficas que dificultan aún más el uso racional de importantes recursos naturales, como el agua dulce (Choi *et al.*, 2011).

Un estudio, realizado en el sudoeste de Arizona, refleja la diferencia de demanda hídrica entre ambos métodos, el hidropónico y el tradicional, y resalta la amplia brecha que se forma entre ellos (Barbosa, 2015). La producción hidropónica de lechuga requiere una demanda estimada de agua de 20 ± 3.8 L/kg/y, mientras que el cultivo tradicional, la demanda es de 250 ± 25 L/kg/y. Por otra parte, la aplicación de este sistema permite el crecimiento de cultivos de calidad y buen rendimiento, a pesar de encontrarse en sitios en donde las condiciones de cultivo son adversas, tanto por factores climáticos, lumínicos o tipos de suelo.

Esto se debe a que el diseño arquitectónico del invernadero permite mantener un ambiente controlado respecto a las condiciones deseadas. La atmósfera interna del recinto hidropónico, permite el cultivo vegetal de una especie en particular a lo largo de todo el año sin ser afectado por las condiciones ambientales externas.

Como se mencionó previamente, este es un problema mundial, en donde se requerirá de la necesidad de mayores rendimientos agrícolas, utilizando menos agua, menos energía y menos tierra. Por lo que diferentes países implementan sus metodologías para afrontar y adaptarse a esta situación. Uno de los casos más destacables es el de los Países Bajos, que se encuentra en el segundo puesto respecto a mayor exportador a nivel mundial de productos agrícolas, solo por debajo de Estados Unidos que abarca una extensión 237 veces mayor en cuanto superficie terrestre. En ese sentido, el territorio de los Países Bajos, cuenta con un desarrollo hidropónico excepcional que le ha permitido posicionarse como potencia europea en cuanto a exportación y comercialización de ciertos alimentos. El buen uso del manejo de tierras y la aplicación de tecnologías hidropónicas innovadoras, le permitió generar una elevada producción de alimentos que sirven de abastecimiento para gran parte de la población del continente. ¿Cómo es que logra un país con una superficie relativamente pequeña, colocarse en el segundo puesto de mayor exportaciones agrícolas a nivel mundial? La respuesta a esta pregunta radica en el sistema arquitectónico implementado para reinventar la agricultura, aprovechando los espacios libres que se encuentran entre las distintas ciudades para sacar provecho de ellos. El exitoso resultado es el fruto de la aplicación de hileras de invernaderos hidropónicos, los cuales utilizando energía geotérmica, alimentan de forma sustentable dichas estructuras. Sumado a ello, el proceso de obtención de alimentos, se ha desarrollado de forma tal, que resalta su eficiencia por sobre el método de cosecha tradicional.

Se ha demostrado que el uso de sistemas hidropónicos implica una reducción significativa en los niveles de consumo de agua utilizada para irrigar las plantas. Tomando como referencia el promedio mundial, se requieren 25.6 galones por cada 4,5 kilogramos de tomate, mientras que en el sistema hidropónico, tan solo 1.1 galones es suficiente. Este resultado de alto rendimiento se debe a la eficacia de un innovador sistema de riego, que a su vez se ve optimizado por la implementación de un ingenioso sistema de ambiente controlado dentro del recinto hidropónico, es decir, que en su conjunto, permiten un adecuado control de los niveles de humedad y temperatura internos. Por otro lado, su diseño arquitectónico de techos con doble acristalamiento, le brindan al ambiente una mayor retención de calor y un filtro libre de obstáculos para el ingreso de luz solar, mientras que durante la etapa nocturna, cuenta con un sistema automatizado de luces LED para potenciar la actividad fotosintética en periodos de oscuridad.

En función de lo expuesto previamente, el cultivo hidropónico que se eligió para el desarrollo del presente trabajo es el sistema conocido como NFT (*Nutrient Film Technique*), cuyo principio básico es el de la circulación de una fina capa de agua, enriquecida con los nutrientes necesarios, que permite irrigar las raíces de los diversos productos. Esta técnica,

desarrollada a mediados del siglo XX por Allen Copper (Vaillant *et al.*, 2003), buscaba optimizar la oxigenación de las raíces de los cultivos, lo cual pudo alcanzar con éxito. De esta manera, la implementación de esta técnica permite que, a medida que la solución nutritiva avanza por los canales, el nivel de oxígeno disuelto en la misma va aumentando. Esto se debe a que el sistema de canales permite que el agua fluya de forma irregular, generando pequeñas turbulencias, que a su vez permiten su constante oxigenación. Por otro lado se debe considerar los niveles de oxígeno demandados por cada especie, lo cual va a depender del tipo de cultivo y las condiciones ambientales, ya que si los niveles de oxígeno resultan inferiores a lo requerido, puede sufrir de hipoxia y su crecimiento se verá afectado.

El desarrollo de esta técnica permite disminuir de manera significativa la erosión antropogénica de las tierras destinadas a cultivo. A su vez, se le provee a la planta las concentraciones precisas de nutrientes para que la misma exprese su máximo potencial de desarrollo, lo cual se traduce en una reducción significativa del uso del agua, que oscila entre un 50 y un 70%, en comparación con el cultivo tradicional. Por otra parte, la hidroponía constituye un sistema cerrado, en donde el ciclo del agua se desarrolla de manera continua permitiendo su reutilización, evitando de esta manera la pérdida por infiltración en la tierra y reduciendo a niveles mínimos su evaporación.

Se ha demostrado que el uso de sistemas hidropónicos permite reducir significativamente el consumo de agua necesaria para la irrigación de los cultivos. Este sistema se basa en la utilización intensiva de un medio líquido en el cual se incorporan todos los micronutrientes y macronutrientes, necesarios para el correcto crecimiento de las plantas, en lugar de exponer a las plantas de manera extensiva en un suelo agrícola para la obtención de los mismos.

Por tal motivo, el objetivo del siguiente trabajo es demostrar la importancia de la aplicación del conocimiento científico al desarrollo de recursos tecnológicos orientados al cuidado ambiental. De esta manera, la aplicación de técnicas innovadoras, desarrolladas en base al aporte de diversas investigaciones científicas, permitirá fomentar la reducción de terrenos destinados para el cultivo, mediante la integración y uso de la hidroponía.

3. Marco teórico:

3.1 Desarrollo del sistema hidropónico

El sistema hidropónico tuvo sus orígenes a comienzos del siglo XVIII, cuando diversos investigadores buscaban determinar qué factores eran indispensables para generar el crecimiento de las plantas (López Elías, 2018). Las respuestas fueron el resultado de diversas investigaciones que, a mediados del siglo XIX permitieron determinar algunos de los elementos

esenciales que contribuyen al crecimiento de las mismas. En ese sentido, en la década de 1860, el botánico alemán Wilhelm Knop (1857-1891) realizó un estudio respecto a las soluciones de nutrientes minerales para el cultivo sin suelo, conocida como "*Knop's solution*". Esta fórmula fue utilizada por varios años y marcó un comienzo para posteriores modificaciones de otros científicos los cuales durante el siglo XX han podido reconocer los elementos esenciales restantes, requeridos por las plantas para un crecimiento eficiente sin sustrato.

3.2 Solución nutritiva y control del pH

Se ha demostrado que la absorción e incorporación de los micronutrientes y macronutrientes depende del pH, el cual constituye un factor primordial. Esto implica que existe un determinado pH, que oscila dentro de cierto rango, que permite que el desarrollo de la planta sea más eficiente. Dependiendo de las diferentes especies, es importante alcanzar cierto equilibrio en el medio de cultivo, caracterizado por un pH determinado, asociado a la disponibilidad de nutrientes, para alcanzar un desarrollo óptimo de cada especie. En ese sentido, se ha observado que a un pH bajo, compatible con un medio ácido, la absorción de nutrientes por parte de las raíces puede ser excesiva, mientras que a un pH elevado, compatible con un medio alcalino, se puede generar la precipitación por parte de los nutrientes, lo que a su vez podrá llevar a un déficit nutritivo de la planta.

De esta manera, se ha demostrado que la acidez de la solución nutritiva afectará la disponibilidad de ciertos nutrientes ya que se ha observado que con un pH por encima de 7.0 o debajo de 5.0, el crecimiento de la planta se verá afectado significativamente (White, 2012). Además se debe tener en cuenta la reacción química de ciertos macroelementos, como ocurre en el caso del fósforo, el cual a un pH superior a 7.0 comienza a reaccionar gradualmente hacia la generación de formas insolubles, lo cual termina por impedir su absorción por parte de las raíces (Siebielec *et al.*, 2014).

3.3 Importancia de la conductividad eléctrica en la solución nutritiva

La conductividad eléctrica es un índice de concentración de solutos y un indicador de la concentración de electrolitos dentro de la solución nutritiva, por lo que está estrechamente relacionada con la disponibilidad de iones que tienen las raíces en la solución nutritiva (Ding *et al.*, 2018). Un aumento en sus niveles, implicaría un exceso en la salinidad de la solución nutritiva, y dependiendo de la especie de planta a cultivar, podría generar la sequedad y muerte de la misma, ya que impediría la correcta absorción del agua a través de las raíces.

3.4 Tipos de cultivo hidropónico:

Con el objetivo de proporcionar un control de temperatura, para reducir el porcentaje de agua evaporada, y minimizar las infestaciones de plagas que pueden llegar a traer consigo enfermedades, se suelen construir los modelos de hidroponía en sitios cerrados los cuales pueden ser invernaderos con luz natural o artificial (Jensen & Malter 1995).

Existen diferentes técnicas de cultivo hidropónico, las cuales dependiendo de los recursos disponibles y de las necesidades alimenticias, se implementarán unas u otras. (Nisha *et al.*, 2018).

- Técnica de Película Nutritiva: su nombre deriva por su fina capa de solución nutritiva (entre 0,5 y 1,0 centímetros) que corre por el sistema de bombeo a través de tubos de PVC con perforaciones en la parte superior, en donde se colocan las plantas. El flujo del agua es constante o intermitente pero nunca estático ya que al permanecer en movimiento, la turbulencia de la misma va aumentando el nivel de oxígeno disuelto en el agua la cual a su vez posee todos los nutrientes que le son aportados a la planta. El movimiento de la solución nutritiva se produce por acción de la gravedad, esto se debe a que los tubos de PVC se encuentran con una inclinación de entre 4 y 5 grados, y por acción de una bomba, la solución nutritiva es bombeada al inicio de estos tubos y fluirá nuevamente hasta los tanques para continuar el ciclo. La forma y material de los tubos puede variar, pero se debe tener en cuenta no utilizar materiales transparentes, para evitar el pasaje de luz y la posible producción de algas en su interior, y utilizar colores claros para evitar que se caliente la solución en su interior.
- Cultivo de raíz flotante: también llamado *Deep Water Culture*, ideal para plantas bajas, de poca altura, y se debe evitar en plantas con desarrollo subterráneo. Consiste en un sistema en el que la planta crece suspendida en una placa (generalmente de poliestireno) la cual flota en la solución nutritiva cuyo ciclo de recirculación es lento, ya que por un extremo ingresa la solución nutritiva y en el extremo opuesto se genera su salida hasta un tanque de reserva en donde allí se produce la oxigenación de la solución (mediante un compresor de aire) y se refrigera en caso de requerir un cambio de temperatura para mayor una eficiencia. Posteriormente, esta solución volverá a ser bombeada en el extremo inicial.
- Sistema de aeroponía: es la técnica con el menor uso de agua, esto se debe a que las raíces se encuentran en un entorno cerrado y son rociadas con la solución nutritiva.

- Riego por goteo: este sistema se utiliza tanto en el sistema de cultivo hidropónico, como en suelo. Este método implica el uso de una bomba la cual dirige el agua junto a la solución nutritiva directamente hacia la planta en forma de gotas. A diferencia de otros métodos en donde aplican técnicas de irrigación o rociar, de esta forma se utiliza una cantidad significativamente menor de agua ya que se reduce el nivel de evaporación y el agua que no es absorbida recircula al inicio.
- *Wick system*: este método utiliza el fenómeno de capilaridad para realizar su acción de alimentar a las plantas al dirigir la solución nutritiva directo a las raíces. Es uno de los sistemas más simples ya que uno no requiere de electricidad para su funcionamiento, ni oxigenar la solución nutritiva.
- *Ebb and flow system*: método simple de hidroponía en donde se colocan plantas en contenedores/macetas las cuales van a estar dentro de una pileta. Esta técnica se destaca por inundar dicha pileta con solución nutritiva bombeada desde un tanque y al cabo de unos minutos, la bomba se desactiva y la pileta se seca, enviando la solución nutritiva nuevamente hacia su tanque inicial. Esta acción se repite a lo largo del día y resulta ser muy eficiente.

¿Qué implica que un cultivo sea hidropónico?

Para que un cultivo pueda ser considerado hidropónico es necesario tener en cuenta ciertos aspectos fundamentales. Entre ellos se destaca el hecho de que se desarrollan completamente en una solución nutritiva. También se incluye otra importante característica que se refiere al hecho de que no utilizan ningún medio de anclaje sólido para fijar y sustentar su aparato radical, aunque se han descrito ciertas excepciones.

3.5 Intervalo de riego

En el circuito hídrico de la hidroponía, la solución nutritiva no permanece en constante movimiento, sino que posee intervalos de encendido y apagado. Esto se debe a que al estar en un periodo nocturno, la necesidad hídrica de las plantas es baja o nula, por lo que las raíces no se ven afectadas por estar sin agua durante más tiempo de lo habitual. La tasa de pérdida de agua por transpiración en la fase nocturna, equivale al 5 - 15% de la tasa de transpiración diurna (Even *et al.*, 2018). Con el fin de utilizar la menor cantidad de agua posible para aumentar el rendimiento de este sistema hidropónico, se aprovecha el fenómeno de transpiración, proceso por el cual el agua es transportada por los vasos y eventualmente es liberada a la atmósfera en forma de vapor, lo cual juega un papel fundamental en la fisiología

de plantas vasculares (Pieruschka *et al.*, 2010). De esta manera, se puede concluir que el proceso de transpiración está altamente relacionado con la estructura anatómica de cada planta (Figura 2). Esto se debe a que los estomas se encuentran rodeados por un par de células llamadas *Guard Cells*, las cuales aumentan o disminuyen su volumen en respuesta a estímulos externos o internos. Estos cambios de volumen serán los que generen la apertura o cierre del estoma, es decir, el flujo de gases entre el medio ambiente interno de la hoja y la atmósfera externa que la rodea (Lawson & Blatt, 2014).

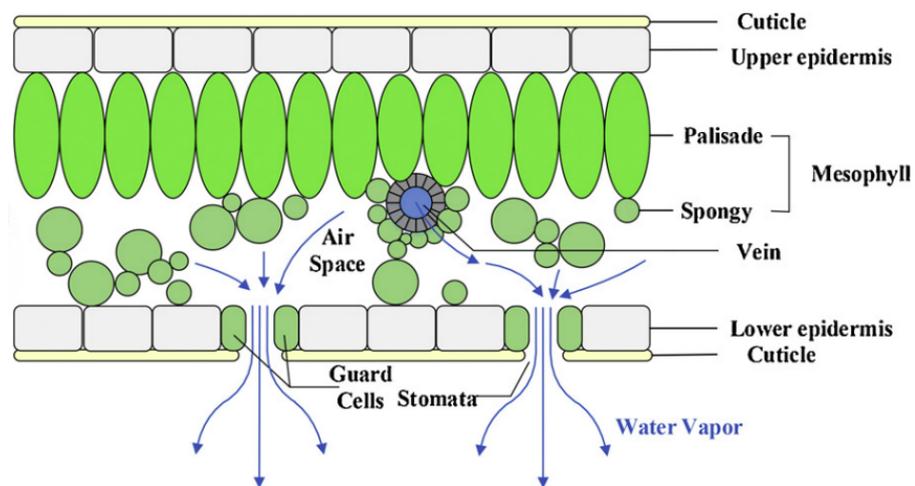


Figura.2 . Esquema de la sección transversal de una hoja típica de dicotiledónea (Xu *et al.*, 2019)

3.6 Factores que afectan la germinación

Se ha demostrado que la latencia de la semilla constituye un factor crucial para la supervivencia de la progenie de las plantas. Esto se debe a que este rasgo adaptativo permite garantizar que la semilla germine solo cuando las condiciones ambientales sean las óptimas (Finkelstein *et al.*, 2008). En ese sentido, su importancia ecológica recae en evitar que germinen fuera de temporada, para asegurar su supervivencia en condiciones estándares y además evitar que sean afectadas por otras especies competidoras (Shu *et al.*, 2016).

De acuerdo a ciertas investigaciones, para que la semilla pueda llevar a cabo la germinación, debe encontrarse rodeada en el ambiente con los factores exógenos correctos, los cuales, dependiendo de cada especie, serán diferentes. Más aún, se ha demostrado que la semilla de numerosas especies de plantas, han desarrollado la capacidad de controlar su etapa de latencia hasta el momento de su germinación. Esta capacidad controlada por la latencia es

definida como un obstáculo intrínseco de la semilla en donde la germinación solo pueda ocurrir cuando las condiciones sean favorables (Finkelstein *et al.*, 2008). En términos generales, las semillas constituyen estructuras complejas que poseen la capacidad de responder a diversos estímulos ambientales, que pueden impactar como diversas señales exógenas. En ese sentido, podrán determinar si están dadas las condiciones adecuadas para finalizar con la latencia y comenzar la etapa de desarrollo, representada por la germinación.

Respecto a las especies vegetales, los principales factores que se han estudiado, y a su vez se han identificado en la mayoría de las especies, son los siguientes: la presencia o ausencia de luz (Oh *et al.*, 2004), las variaciones de la temperatura ambiental (Kendall *et al.*, 2011) y los niveles de nitrato del suelo (Matakiadis *et al.*, 2009). El conjunto de estas señales, y a su vez la integración de dichos factores, le brindan a la semilla la información necesaria respecto a las condiciones ambientales asociadas con cada época del año, así como también a la posición que ocupa la semilla en el suelo (Finch-Savage & Footitt, 2017).

El impacto de dichos factores ambientales, y el efecto que producen sobre la semilla, determinan la forma como podrán interactuar los elementos exógenos con los diversos factores endógenos. La información endógena incluye procesos de regulación transcripcional, entre ellos los vinculados a la expresión del gen DOG1 (*delay of germination 1*), que controla la latencia de la semilla (Yang *et al.*, 2020), y el balance entre los niveles de ácido absísico (ABA) y giberelinas (GA) (Figura 3). Dicho balance es el resultado de las concentraciones de GA, que constituye una hormona asociada con la liberación del estado de latencia de la semilla, y las concentraciones de ABA, que mientras se expresa a bajos niveles puede estimular la germinación (Bentsink & Koornneef 2008).

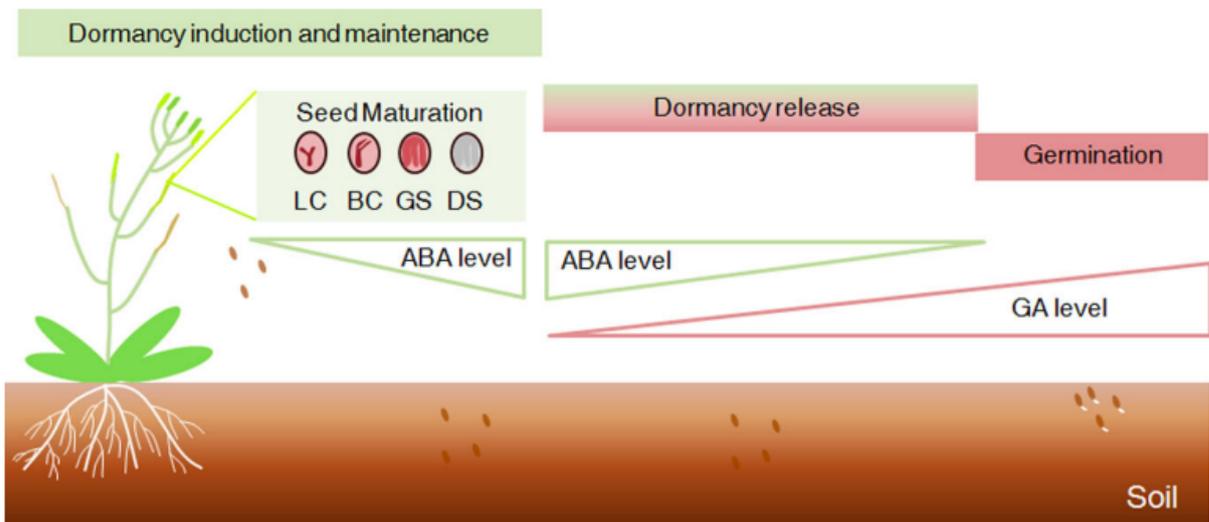


Figura.3 . Relación entre estado de latencia (*dormancy*) y el de germinación (*germination*) de una semilla. El estado de latencia de una semilla se establece durante la maduración de la misma. A medida que el estado de latencia gradualmente disminuye, en paralelo el potencial de germinación aumenta. Etapas de maduración de la semilla (seed maturation), LC = *linear cotyledon*; BC = *bent cotyledon*; GS = *green seeds* y DS = *dry seeds* (Liwen *et al.*, 2020)

3.7 Beneficios de la hidroponía

El crecimiento de plantas con la ausencia de suelo ya de por sí trae beneficios, eso se debe a que de esta forma se evita contraer enfermedades relacionadas con posibles patógenos o plagas que habitan en la tierra. En ese sentido, las enfermedades transmitidas por organismos que habitan en el suelo, son el motivo por el cual se lleva a cabo un proceso de limpieza y desinfección mediante la aplicación de tratamientos con agua hacia el cultivo cosechado de forma tradicional. Como consecuencia de este proceso, se produce un gasto elevado en el uso del agua, la cual, además de generar mayores gastos de esta materia prima, produce contaminación hacia los efluentes, como ríos y lagos cercanos, los cuales son alimentados con el agua aplicada para la eliminación de los patógenos y que a su vez genera contaminación por parte de los pesticidas utilizados en el cultivo para evitar las posibles enfermedades (Verdoliva *et al.*, 2021).

El consumo de agua es una característica por la cual se destaca el sistema hidropónico en relación al cultivo tradicional. Según los estudios, se requieren 60 litros de agua para la

producción de 1 kilo de tomate en el cultivo tradicional, mientras que en el cultivo hidropónico se reduce a 15 litros, y en casos en donde la mayor tecnología es utilizada para aumentar la eficiencia, este consumo se puede reducir a tan solo 4 litros de agua por kilogramo cosechado (Nederhoff & Stanghellini, 2010).

Se ha demostrado que el sistema hidropónico reduce entre un 70-90% el consumo de agua (Debangshi, 2021). Esto se debe a que la solución nutritiva aplicada es, en gran parte, recuperada y reciclada para su uso a futuro, a diferencia del cultivo tradicional en donde el líquido que no pudo ser absorbido por las raíces, es filtrado hacia la tierra siendo inviable para su futura absorción; por lo tanto bajo las condiciones internas controladas, se puede obtener resultados de cultivos hidropónicos de alta calidad y gran valor nutricional.

El invernadero hidropónico es un sistema de producción que puede incrementar la eficiencia en el uso del agua. Su microclima artificial potencia la fotosíntesis y a su vez reduce la evapotranspiración en un 70%, comparado con el cultivo a cielo abierto (Salazar-Moreno *et al.*, 2014) . Más aún, se ha demostrado que, es posible alcanzar una alta eficacia en el uso del agua por el óptimo control de los parámetros hídricos. Esto se debe a que toda solución nutritiva que se aplica, es redirigida nuevamente al sitio de partida, en donde vuelve a ser almacenada en los tanques para su futuro uso. De esta forma, se aplica la cantidad de solución nutritiva necesaria para el óptimo crecimiento del cultivo y a diferencia del cultivo tradicional, se evita la pérdida de líquido por infiltración en la tierra.

3.8 Posibles problemas ambientales

En caso de tratarse de una hidroponía abierta, implica que una vez que la solución nutritiva es derivada a las raíces de las plantas, esta no es reutilizada por lo que es descargada hacia el medio ambiente, lo que puede traer consigo una contaminación debido a los nutrientes que trae consigo. Los principales compuestos son: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sulfuro, hierro, boro, cobre, manganeso y zinc (Resh, 2013).

Existen dos tipos de contaminación, la primera implica el circuito abierto en donde la solución nutritiva es vertida en el medio luego de fluir por la hidroponía. Luego está la contaminación de solución nutritiva derivada de circuitos cerrados a los cuales se los debe limpiar periódicamente o cuando se encuentra algún tipo de contaminación en los tanques (Badgery-Parker, 2002). Como resultado, se termina vertiendo la solución nutritiva al ambiente, generando aguas residuales derivadas de la solución nutritiva sin tratar, que son principalmente ricas en nitrógeno y fósforo, causando un daño ambiental (Bertoldi *et al.*, 2009) (figura 4).

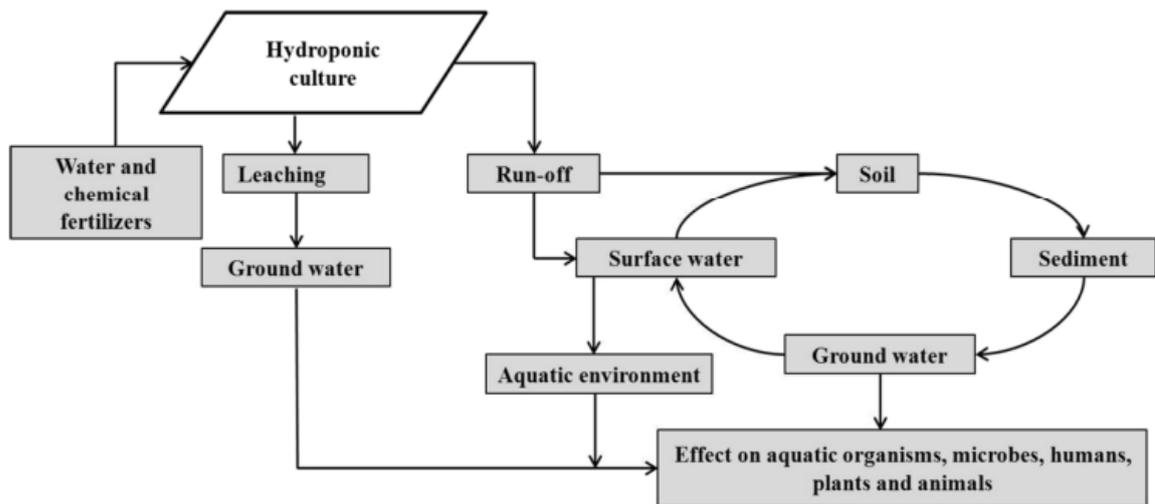


Fig.4 . Representación esquemática del ciclo de los residuos hidropónicos, derivados de la solución nutritiva, al medio ambiente (Kumar, 2014). La aplicación de solución nutritiva a los cultivos hidropónicos, con el subsecuente filtrado y drenaje al ambiente, produce efectos nocivos en el medio acuático, afectando diferentes especies.

La solución ante estos problemas ambientales implica el tratamiento biológico y físico de estas aguas, previo a ser vertidas en el medio ambiente. La aplicación de luz ultravioleta combinado con una filtración en arena, es el método más eficiente para la eliminación de bacterias coliformes, ya que el filtrado con arena reduce la turbidez del agua y de esa forma se potencia la radiación por la luz UV (Choi *et al.*, 2011).

Con respecto a la conductividad eléctrica y el color pardo resultado de la alta concentración de nutrientes, se logra reducir mediante un par de ciclos de filtrado. El tratamiento se produce en columnas de arena (0.1 a 0.5-mm diámetro de granos) las cuales poseen 5 cm de diámetro y 27 cm de altura, con 3 cm de carbón entre las diferentes capas de arena.

El método de ósmosis inversa es utilizado para la remoción de los minerales disueltos en la solución nutritiva. El resultado de este método permite la reutilización del agua para fines hidropónicos. A pesar de su alta eficiencia, este método requiere de altos costos de operación y mantenimiento (Gagnon *et al.*, 2010).

Respecto al consumo energético requerido para el cultivo, se ha tomado el análisis comparativo de la agricultura tradicional y el método hidropónico. El estudio se realizó respecto a la producción de lechuga en el sudeste de Arizona, USA. El uso de energía del bombeo de agua para la producción hidropónica de lechuga se estimó utilizando un tiempo de bombeo promedio y una clasificación de kilos de producción respecto a la energía utilizada expresada en las unidades de kJ/kg/y (Lopes da Luz *et al.*, 2008). En la figura 5 se puede observar que los resultados reflejan como el consumo energético hidropónico es superador por sobre el cultivo tradicional principalmente por la alta demanda energética que implica el mantenimiento de

temperatura interno dentro del invernadero, seguido por el requerimiento de luz artificial y bombas de circulación de solución nutritiva (Barbosa *et al.*, 2015). A diferencia del cultivo tradicional en donde la energía utilizada es proveniente principalmente del bombeo de agua subterránea y combustible. En ese sentido, se puede observar que en el cultivo tradicional, la demanda energética invertida, es significativamente menor al método hidropónico.

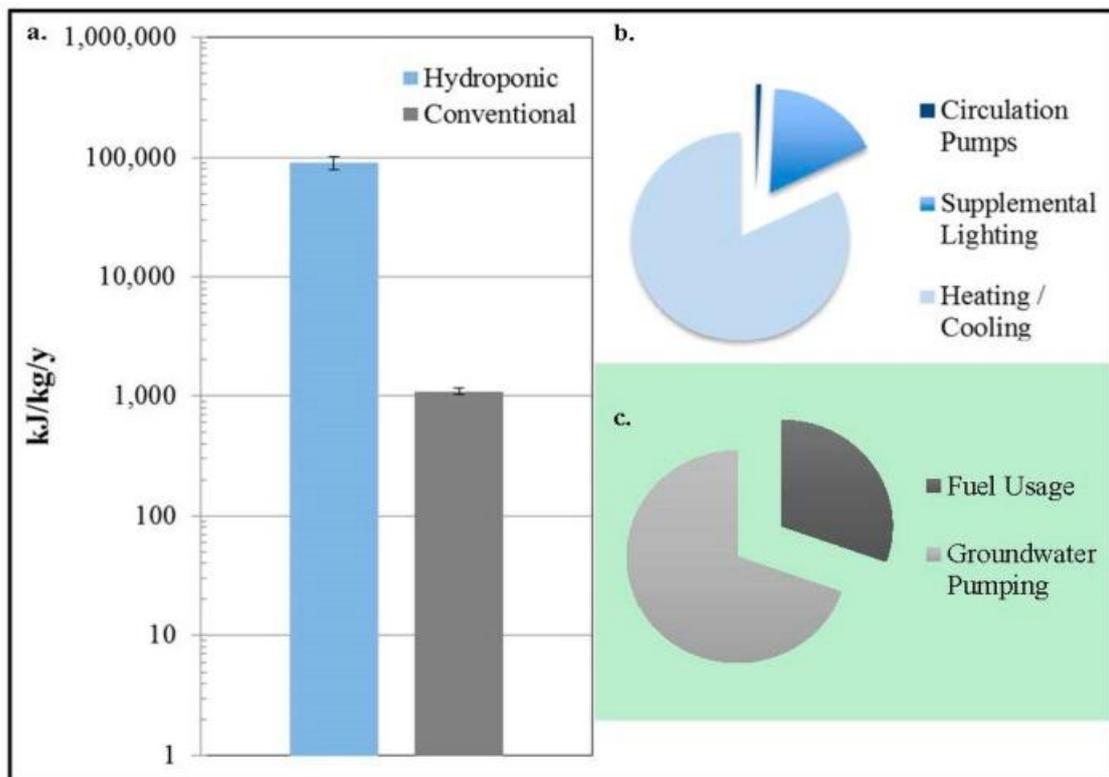


Figura 5. Imagen que compara los recursos energéticos utilizados para el desarrollo de cultivos hidropónicos y cultivos tradicionales. Los gráficos muestran la utilización de energía expresada en kilojulios por kilogramo de lechuga. (b) energía utilizada para el cultivo hidropónico. (c) Energía utilizada para el cultivo de lechuga mediante método tradicional (Barbosa *et al.*, 2015).

4. Objetivo general:

- El objetivo general del presente trabajo es demostrar la eficacia de tecnologías modernas aplicadas en el desarrollo de un sistema hidropónico a partir de la descripción de los procesos involucrados para su correcto funcionamiento.

5. Objetivos específicos:

- Probar la eficacia de un sistema hidropónico para su aplicación en zonas urbanas.
- Comparar el consumo de agua que se requiere en los cultivos hidropónicos con respecto a los cultivos tradicionales.
- Analizar las ventajas y desventajas que conlleva el cultivo hidropónico.

6. Hipótesis:

La incorporación de nutrientes en un sistema controlado para cultivo hidropónico genera un rendimiento eficiente, independientemente del entorno en el que se encuentre.

7. Materiales y métodos:

El lugar de trabajo es un invernadero ubicado dentro del predio del hipódromo de San Isidro, localizado en la provincia de Buenos Aires, el cual cuenta con un circuito de canales en donde se lleva a cabo el cultivo hidropónico con diversas variedades de plantas.

7.1 Diseño del espacio

El sistema hidropónico cuenta con 28 filas de canales de policloruro de vinilo (PVC) dispuestos de forma paralela y segmentados en 2 fases, dependiendo del ciclo de vida en el que se encuentre la planta, se colocará en su fase determinada. A su vez, las filas se dividen en 2 tramos, el primero con una longitud de 8 metros y el segundo 12 metros.

La temperatura óptima interna del recinto se programó entre los 20-26°C, regulada por un sistema de ventilación. El techo vidriado del lugar, provee una fuente de luz natural y un ambiente controlado para el correcto desarrollo de las plantas.

La arquitectura y diseño del sistema, fue establecido con el fin de utilizar el menor espacio posible, para obtener la mayor producción. Por lo que se realiza una división de categorías entre la fase 1 y 2. Su principal diferencia se da en la estructura y disposición equidistante de los plantines en los canales de PVC. Debido a que una planta de mayor tamaño requiere un espacio más amplio para un mejor desarrollo, se prosiguió a distribuir de forma más eficiente los sitios de plantación, siendo ello la principal diferencia entre ambas fases, la distancia que presentan los plantines entre sí.

7.2 Obtención de semillas

Para la obtención de semillas se recurrió a La Rural Semillera, en donde nos brindaron de todas las especies que requerimos. Las variedades de lechuga son Rouxai roble moradas, strafighter francesa, Kiribati roble verde y jonction crespá; mientras que las semillas de rúcula se compraron a Fecoagro semillas. Una cualidad importante de estas semillas es que están peletizadas, esto significa que, con la utilización de líquidos y polvos específicos, se forma una cáscara alrededor de la semilla con el fin de que el productor pueda hacer el proceso de germinación más rápido y eficiente, además de proteger a la semilla de posibles agentes físicos o biológicos nocivos.

El sustrato de germinación utilizado es la espuma fenólica, base en la cual comienza la germinación y crecimiento de la semilla, y que posteriormente será utilizada también en la hidroponía. Este sustrato, además de proveer una base sólida de crecimiento, permite la absorción y retención de agua, lo que permite que la planta esté correctamente irrigada, por lo que previo a utilizarla se la deja en remojo durante 24 horas.

Dependiendo de la especie, se colocaron diferentes cantidades de semillas para su germinación. Esto se realizó debido a que es la forma más eficiente para comercializar el producto y obtener una mayor ganancia (Figura 6).

- Lechuga: 1 semilla por orificio
- Rúcula: 15 a 20 semillas por orificio
- Espinaca: 4 semillas por orificio
- Berro: 4 o 5 semillas por orificio



Figura.6 . Semillas de *Eruca Vesicaria*, siendo colocadas en la espuma fenólica para su germinación.

7.3 Germinación

La plantinera es el sitio donde se realizan las siembras semanales de los cultivos hidropónicos. Se comienza dejando en remojo por 24 horas las espumas fenólicas, sustrato orgánico en el que van a germinar las semillas y posteriormente la planta lo usará de soporte para continuar su crecimiento. Una vez pasado el tiempo, se prosigue por la siembra de semillas dentro de ellas, dependiendo la especie será un determinado número de semillas a aplicar dentro de cada orificio (figura 6).

La germinación se debe dar en ausencia de luz, por lo que las espumas fenólicas son almacenadas en recipientes a la oscuridad. Esta etapa se llevó a cabo durante un periodo de 72 horas (Figura 7). Durante ese lapso de tiempo, las semillas se sometieron a un riego constante utilizando agua de red, hasta el desarrollo de sus primeras hojas verdaderas, momento en el cual se las trasladó hacia las bandejas de siembra en la "germinadora" en

donde permanecieron durante un periodo de 3 semanas antes de ser trasladadas a la siguiente fase dentro del invernadero (Figura 8).



Figura.7 . aparición de los primeros cotiledones, factor que marca el fin de la etapa de oscuridad y comienzo de la etapa hidropónica con aplicación de nutrientes.

Una vez obtenidos los cotiledones, la planta requiere del consumo de nutrientes por fuera de los que le aportó la semilla en la que germinó, por lo que se colocaron las planchas de espuma fenólica a lo largo de la llamada "germinadora", en donde se utilizó una combinación artificial de luz azul y roja para potenciar su crecimiento vegetativo y elongación del tallo. Además se aplicaron paneles refractarios de la luz del sol para potenciar la fotosíntesis (figura 8).

La estructura de la germinadora fue diseñada de forma tal que la espuma fenólica al ser colocada se encuentre reposada sobre una superficie con una leve inclinación de 5 grados. Esto permite que la solución nutritiva pueda volver al tanque inicial y formar un circuito cerrado, una vez que la bomba vierta la solución nutritiva desde el extremo superior para irrigar la espuma fenólica a su paso.

Para que el desarrollo de las plantas se haga de la manera más eficiente, el tanque de alimentación de las bandejas de siembra fue programado con un ciclo de 16 horas de luz (utilizando luz artificial sumado a la solar) y 8 horas de oscuridad, un pH entre 5,5 - 6,5 y una conductividad eléctrica de 1 microsiemens. Todos estos parámetros fueron controlados diariamente y modificados en caso de desviarse del rango óptimo.



Figura.8 . Plantines en germinadora aguardando a completar su fase de crecimiento inicial para poder ser transferidos a la fase 1 de la hidroponia.

7.4 Etapas de cultivo

La fase 1 es la etapa inicial del cultivo hidropónico en el invernadero . En esta etapa los plantines aumentaron su crecimiento y consigo sus necesidades nutricionales, por lo que fueron trasladados desde la germinadora al invernadero. Allí fueron colocados de forma individual dentro de los orificios en los canales de PVC, en donde serán nutridos por la fina capa de solución nutritiva que corre desde un extremo al otro (figura 9). La distancia de los orificios de cultivo es de 6 centímetros entre sí, suficiente para su correcto desarrollo, sin competir por recursos. Esta fase cuenta con 2 mesadas de 10 canaletas, cada una, localizadas en el centro del invernadero. La capacidad total de plantines para ser cultivados

simultáneamente en esta etapa equivale a 2260. El consumo hídrico diario de esta fase equivale a 40 litros de solución nutritiva.

La fase 2 está constituida por dos mesadas localizadas en ambos lados de la fase 1, las cuales cada una sostiene 9 canaletas de PVC. Al finalizar el plazo de un mes de cultivo en fase 1, los plantines obtienen un aumento de tamaño y consiguen mayores necesidades nutricionales, por lo que son trasladados a la fase 2 (figura 9). La distancia entre orificios de cultivo es de 12 centímetros entre sí, lo que le permite a los plantines evitar competir por espacio, luz y nutrientes, generando mayores resultados en cuanto a su tamaño. Al cabo de un mes, los plantines obtienen el tamaño máximo para su cosecha y se obtiene un rendimiento de 2260 plantas en 60 metros², lo que equivale a 37,67 plantas por metro². El consumo hídrico diario de esta fase equivale a 130 litros de solución nutritiva.



Figura.9 . La figura de la izquierda muestra el cultivo hidropónico en fase 1, mientras que la figura de la derecha muestra la fase 2 previo a la cosecha

7.5 Sistema NFT

El sistema NFT (Técnica de Película Nutritiva) obtiene ese nombre porque alimenta a las raíces mediante una fina capa de solución nutritiva que recorre los canales. Su ciclo consta de irrigaciones intermitentes por lo que le permite a las raíces obtener una mejor oxigenación y consigo un mayor desarrollo. El trayecto de la solución nutritiva comienza al ser bombeada hacia el extremo superior de las canaletas, las cuales al estar expuestas a una inclinación de cinco grados y por acción de la gravedad, la solución nutritiva fluirá nuevamente a su sitio de origen en los tanques de almacenamiento. La oxigenación de la solución nutritiva es generada al ser bombeada hacia las canaletas hidropónicas y por el efecto de catarata que se genera al retornar nuevamente al tanque. Este proceso es de suma importancia para proveerle de oxígeno a las raíces y potenciar su desarrollo.

La solución nutritiva, que circula por los canales, se encuentra almacenada en 2 tanques. El primero almacena la solución nutritiva para alimentar a la fase 1 mientras que el segundo tanque es utilizado para la fase 2. El hecho de utilizar dos tanques por separado, se debe a que cada uno cuenta con un sistema independiente ya que los canales de ambas fases poseen características diferentes que afectan el volumen de circulación por lo que sus circuitos son cerrados.

7.6 Preparación de la solución nutritiva

El agua utilizada debe tener un pH neutro y muy baja conductividad para obtener un mejor control sobre la solución nutritiva y evitar un resultado impreciso. Por lo que previo a la aplicación de los nutrientes, utilizamos la ósmosis inversa en donde se purificó el agua de red, la cual proviene de pozo y contiene altos niveles de magnesio, calcio y sodio, para dejarla prácticamente destilada. Esta maquinaria posee una membrana semipermeable la cual permite la difusión de moléculas sin carga electrostática y de bajo peso molecular (figura 10). A partir de este punto ya puede ser utilizada, por lo que es almacenada en 2 tanques de reserva con capacidad de hasta 1000 litros cada uno y que a su vez se conectan directamente con los tanques internos que poseen la solución nutritiva (figura 10). De esta manera, cuando se precisa aumentar los niveles de solución nutritiva en los tanques internos, se abre el paso del agua en los tanques de reserva hasta llegar al nivel deseado.

Esta solución nutritiva, es la base por la cual la planta obtiene los micronutrientes y macronutrientes para su correcto crecimiento. Para su formulación se prepararon dos soluciones nutritivas (A y B) en 10 litros de agua, las cuales posteriormente se utilizaran en los tanques de fase 1 y 2 en una relación de 1 litro de solución A sumado a 1 litro de solución B por cada 100 litros de agua filtrada por ósmosis inversa.

Las sales se pesan en una balanza electrónica y gradualmente se vierten en los contenedores de 10 litros de agua destilada. El agua es previamente calentada hasta su punto de ebullición, esto permite que las sales se disuelvan más fácilmente.

- Solución A:

Solución nutritiva	Cantidad (en gramos)
Nitrato de Calcio: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	750g
Mezcla de micronutrientes (Fetrilon Com 2)	15g
Quelato de hierro (Basafer)	35g

- Solución B:

Solución nutritiva	Cantidad (en gramos)
Nitrato de Potasio: KNO_3	550g
Fosfato monopotásico: MKP	150g
Sulfato de Magnesio: MgSO_4	360g
Fosfato Mono Amónico: MAP	150g
Sulfato de Potasio	150g

Tabla 1. Composición de la solución nutritiva utilizada en la hidroponia, expresada en gramos por cada 10 litros de agua.

7.7 Control

Una vez obtenida la solución nutritiva, se lleva a cabo el control previo a la aplicación en el cultivo hidropónico. Se cierran los circuitos externos del tanque y se mantiene una recirculación interna para que la solución nutritiva vertida en el tanque, sea mezclada y forme un medio homogéneo.

El primer control consiste en la medición de la concentración de nutrientes en la solución nutritiva disuelta. Este parámetro se mide mediante la conductividad eléctrica (CE) la

cual es un índice de concentración de electrolitos, es decir, la concentración de sales en la solución. La CE de la solución nutritiva está relacionada con la cantidad de iones disponibles para la planta en la zona de la raíz (Nemali, 2004). Por lo que la concentración óptima de CE depende de la especie de planta, ya que una concentración elevada de CE podría dificultar el consumo de nutrientes por parte de la planta debido a que aumenta la presión osmótica de la solución nutritiva (Ding, 2018). Utilizando un medidor de conductividad, se buscará el punto de 1,5 microsiemens de CE en los tanques 1 y 2, mientras que en la plantinera se buscará un punto de 1 microsiemens de CE.

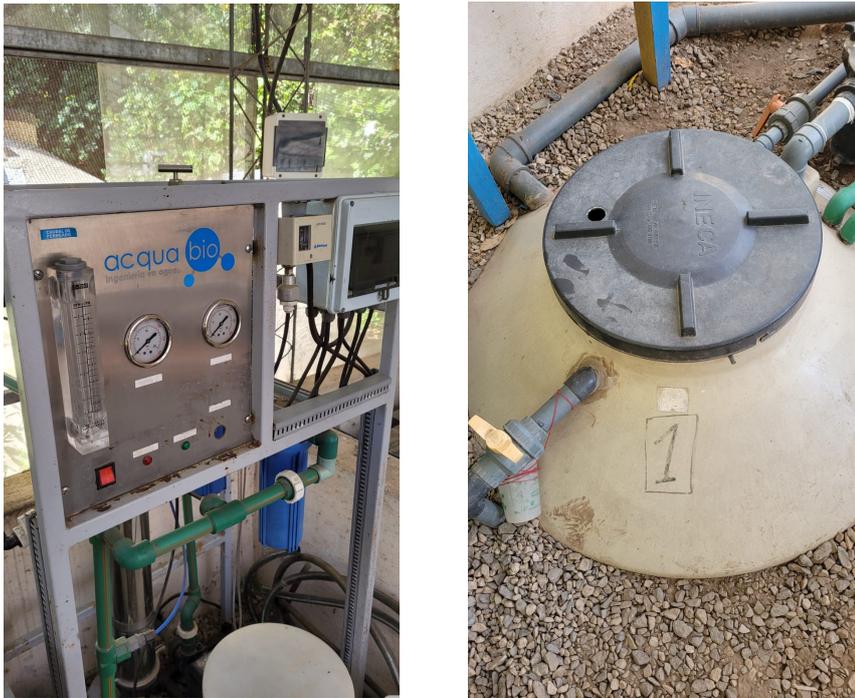


Figura.10 . En la imagen de la izquierda se observa la máquina de ósmosis inversa utilizada en el recinto de Reciduca, y en la derecha se encuentra en tanque de almacenamiento de la solución nutritiva el cual se encuentra conectado a los tanques de reserva en caso de querer aumentar su volumen interno

El segundo control que se aplica es la medición de pH. Su regulación es un factor clave a tener en cuenta ya que a niveles óptimos de pH, la planta asimila de forma más eficiente los nutrientes, mientras que fuera del rango, las raíces no podrán captar de forma adecuada ciertos nutrientes, generando estrés el cual se verá reflejado en su desarrollo. Su monitoreo es importante porque a partir de los valores obtenidos podremos manipularlo hasta la obtención del rango deseado. Mediante el uso de un pH-metro buscaremos alcanzar una cifra que ronde entre los 5,5-6,5 pH, siendo 6,2 el punto ideal. Esto se realizó tomando una pequeña muestra, una vez mezclada y obtenida una solución nutritiva homogénea, e insertando en ella el medidor

de pH (figura 11). Paralelo a ello, se dispondrá de reguladores constantes de pH dentro del tanque ya que su equilibrio debe ser constante y preciso. En caso de encontrarse elevado, por encima de 6,5, se le adicionará a la solución nutritiva ácido fosfórico en concentraciones de 20 ml hasta conseguir un equilibrio óptimo de pH.



Figura.11 . Medida del pH mediante la extracción de una muestra de la solución nutritiva
Fuente: https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=34

7.8 Cambio de la solución nutritiva

Se realizó un cambio completo mensual de la solución nutritiva de ambos tanques, esto se debe a que la absorción de nutrientes por parte del cultivo hidropónico no es proporcional a lo que es adicionado al tanque. Por lo que al cabo del tiempo se tendrá un resultado desequilibrado de ciertos nutrientes en la solución nutritiva, los cuales tienden a ser absorbidos en mayor proporción que otros. En casos extremos se podría llegar a generar problemas de fitotoxicidad por altas proporciones de microelementos.

7.9 Intervalo de riego

Las activación de las bombas, permite hacer circular la solución nutritiva por los canales de ambas fases. Las mismas se encuentran ajustadas a un temporizador automatizado el cual permite regular su ciclo de activación e inactivación según sea calibrado. Este parámetro es importante debido a que la frecuencia con la que circula la solución nutritiva no es la misma a lo largo del día que de la noche debido a que hay una variación en la demanda hídrica por la diferencia generada en el nivel de transpiración.

Se programó un intervalo de riego diurno en donde cada 15 minutos las bombas envían la solución nutritiva a las canaletas hidropónicas y durante 15 minutos las mismas se apagan. Este es un mecanismo automático y se mantiene constante desde las 6 a.m. hasta las 21 p.m. Pasado ese tiempo, el intervalo en el que se encuentran apagadas aumenta y las bombas solo quedan encendidas durante 15 minutos por cada hora.

7.10 Control de plagas

Las plantas de la hidroponía se encuentran expuestas a diversidad de agentes biológicos que ingresan libremente y aprovechan el cultivo como fuente de alimento. Para tener un control y evitar la destrucción de la cosecha, se aplicaron diferentes técnicas orgánicas para frenar o reducir el impacto hacia el cultivo.

En el caso de los pulgones, se roció una vez por semana ambas caras de las hojas (abaxial y adaxial) con aceite de Neem, insecticida orgánico que no afecta al medioambiente y no le genera resistencia al pulgón. Este control biológico de plagas actúa bloqueando el sistema endócrino del insecto al ingerirlo.

Por otro lado está el jabón potásico, compuesto formado por agua, aceite vegetal e hidróxido de potasio, siendo así un insecticida ecológico y natural. Su eficiencia también se ve reflejada en que no daña la planta y no afecta a los mamíferos en caso de ingerirla, por lo que tiene nula toxicidad. La aplicación se realizó 1 vez por semana en caso preventivo y en ocasiones específicas en donde hubo pulgones se aplicó 2 veces por semana.

Los gusanos son otro tipo de plaga y el método de control es la eliminación manual en caso de ser un número reducido o la aplicación de BT *Bacillus thuringiensis*, insecticida biológico basado en la producción de proteínas de *Bacillus thuringiensis* las cuales tienen la capacidad de ser letales para distintos órdenes de insectos que las ingieren (Figura 12). Durante su fase de esporulación se producen formas cristalinas que contienen las proteínas Cry y Cyt (Crystal y Cytolytic), mientras que en su fase vegetativa, se producen las proteínas Vip, por su nombre en inglés de *Vegetative insecticidal proteins*. En este caso, las proteínas con mayor utilización, por su alta eficiencia de acción, son las Cry y Vip.

El proceso de las proteínas Cry comienza con la ingestión y solubilización de los cristales, ya que no actúa por contacto de superficie. La solubilización implica la rotura de la estructura cristalina por los niveles bajos de pH del intestino del insecto, lo que concatena a la liberación de las protoxinas. Una vez activadas, estas atraviesan la membrana peritrófica del intestino medio (red porosa y permeable de filamentos de quitina que separa el alimento del epitelio y que provee de protección al epitelio, motilidad al alimento y defensa de patógenos presentes en el alimento tales como infecciones de tipo bacteriano, vírico o parasítico). Una vez superada la membrana peritrófica, las protoxinas interactúan con sus células diana, la

membrana celular del intestino medio, en donde llevarán a cabo su actividad tóxica la cual se basa en la formación de poros en la membrana de las células, lo que produce un desequilibrio osmótico que termina desencadenando la rotura y muerte celular. La muerte se da por una septicemia, infección del organismo llevada a cabo por el paso de patógenos del bolo alimenticio, como bacterias, a la hemolinfa. Tras su muerte el *Bacillus thuringiensis* puede continuar su ciclo de vida, utilizando al insecto como nicho para crecer y esporular para su posterior dispersión por el medio.

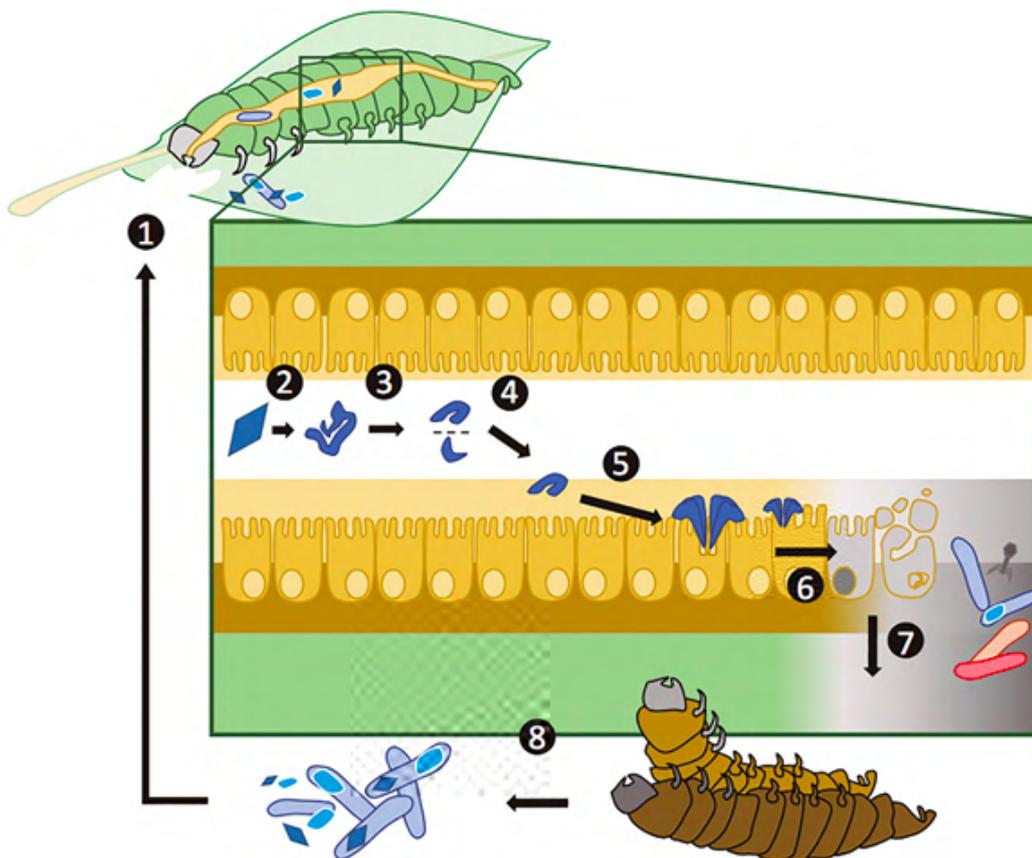


Figura.12 . Modelo cíclico de la actividad tóxica de las proteínas Bt.

Fuente: <https://higieneambiental.com/productos-biocidas-y-equipos/modo-de-accion-del-insecticida-biologico-bacillus-thuringiensis>

Otro método de control de plagas que se utiliza es la llamada trampa cromática, que como su nombre nos dice, se basa en la atracción de insectos hacia el panel, y dependiendo del color de este (figura 13), atraerá a diferentes órdenes de insectos.



Figura.13 . Trampas cromáticas amarilla y azul suspendidas sobre el cultivo hidropónico

En la figura 13 podemos observar dos trampas cromáticas que solo difieren en su color. Utilizamos el color amarillo para atraer moscas y principalmente a pulgones, los cuales son el blanco al cual queremos apuntar ya que es una plaga que puede producir un daño significativo hacia la cosecha. Por otro lado utilizamos la trampa cromática de color azul, la cual capturó principalmente a los llamados trips, insectos voladores del orden de *Thysanoptera* cuyo

alimento es casi exclusivamente de vegetales u hongos. Su impacto en el cultivo produce efectos por decoloración y/o deformación de las hojas, lo que hace a la planta menos rentable. Una técnica de control que implementamos son las "plantas trampa". Como se explicó previamente, el color amarillo, resulta atractivo para ciertos pulgones. Por lo que se utiliza esta técnica de flores como trampas preventivas en donde colocamos caléndulas en el centro de las diferentes filas de la hidroponia las cuales actuaron como el primer objetivo de los pulgones. Una vez atacadas, se las removió, de esta forma se evitó su propagación y se desvió a los pulgones del cultivo hidropónico, siendo la flor el objetivo principal.

8. Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos en el presente trabajo reflejan el rendimiento que se obtiene, aplicando las técnicas de cultivo y mantenimiento hidropónico.

En lo que respecta al tiempo de cultivo requerido para la obtención de la cosecha, se logró obtener una producción de 37,67 individuos por metro² en un plazo de 2 meses y 3 semanas a partir del momento en el cual el plantín ingresa a la germinadora. Esta cifra promedio se obtuvo mediante el cálculo de la cantidad total de orificios para cultivo que se encuentran en la fase 2, dividido el perímetro que ocupa el cultivo hidropónico en esta fase, el cual es de 60 metros².

La obtención de la cosecha se vio beneficiada por la utilización de métodos orgánicos de control de plagas. En ese sentido, la utilización semanal de aceite de Neem y jabón potásico evitó la aparición de pulgones a lo largo de todas las etapas de desarrollo, siendo un método de control y prevención eficiente, sin alterar al crecimiento de la planta, ni generar resistencia hacia los agentes patógenos, en este caso, los pulgones.

Se observó que los métodos de trampas cromáticas y plantas trampa, resultaron ser una fuente de atracción eficiente ante los agentes patógenos pero su efectividad para eliminarlos no es del 100%, por lo que se las considera un método eficaz para la prevención de posibles futuros ataques de patógenos, aunque no evita la completa eliminación de los organismos atacantes.

Respecto a la contaminación de los cultivos por parte de agentes patógenos provenientes del suelo, en el presente trabajo se pudo observar que los cultivos hidropónicos no presentaron signos sugestivos de contaminación por parte de dichas noxas. En ese sentido, no se observaron cambios físicos, incluyendo lesiones, deformaciones o cambios en la coloración de las hojas, asociados con infecciones por parte de diversas especies de hongos, virus o bacterias fitopatógenas, como suele observarse en los cultivos tradicionales.

Respecto al consumo de agua requerido para realizar el cultivo hidropónico, se registró una cifra total, de 170 litros diarios de solución nutritiva, incluyendo ambas fases, mientras que los resultados individuales reflejan un consumo de 130 litros por parte de la fase 2 y tan solo 40 por parte de la fase 1. La diferencia observada en el consumo de agua entre ambas fases,

donde la fase 1 alberga plantines con una masa de raíces menor a los registrados en la fase 2, se debe a que el recorrido realizado por la solución nutritiva, desde un extremo de las canaletas hasta el final del mismo, sea con menor turbulencia, mayor velocidad y menor tiempo de exposición a la intemperie. Esto permite, inferir las causas por las cuales los volúmenes de solución nutritiva perdida por evaporación son menores en la fase 1 respecto a los de la fase 2. En ese mismo sentido, la diferencia de tamaño de los plantines cultivados en la fase 2, significativamente mayores a los registrados en la fase 1, supone mayores necesidades nutricionales e hídricas.

Respecto al desarrollo de las plantas, a partir de la utilización de la solución nutritiva se observó que la aplicación de los macronutrientes y micronutrientes en concentraciones específicas, permitió registrar resultados eficientes. En ese sentido, se observó el correcto crecimiento de las plantas, las cuales no presentaron signos de decoloración en las hojas como consecuencia de deficiencias nutricionales. El control diario del pH y de la conductividad eléctrica, sumado al recambio completo de los tanques una vez al mes, permitió asegurar el correcto desarrollo del cultivo hidropónico.

La utilización de un sistema automatizado intermitente, el cual controla la activación de las bombas que envían la solución nutritiva hacia el cultivo, no mostró signos sugestivos de deshidratación en las plantas. Esto implica que la reducción en la emisión de solución nutritiva por lapsos cortos de tiempo durante el día y lapsos mayores durante la noche, no perjudicó al desarrollo del cultivo en cuanto a sus necesidades hídricas. De esta manera, la aplicación de este sistema intermitente redujo de forma significativa el consumo diario de solución nutritiva, lo cual demuestra una mayor eficiencia de este sistema respecto al uso del agua, en comparación con los sistemas utilizados en los cultivos tradicionales.

9. Discusión y conclusiones

Este trabajo está orientado a demostrar la importancia del conocimiento científico aplicado al desarrollo de nuevas tecnologías, que a su vez permitan responder a las demandas generadas por el aumento constante de la población mundial.

Es esperable que la población mundial continúe aumentando de manera sostenida a lo largo del tiempo y consiga la necesidad de satisfacer las demandas alimenticias. Esta necesidad implicará el requerimiento de una mayor superficie terrestre para el cultivo y desarrollo de la industria agrícola. Por tal motivo es necesario la implementación de estrategias innovadoras, basadas en los actuales desarrollos científicos y tecnológicos, orientadas a contrarrestar los efectos deletéreos, producto de la expansión territorial de espacios rurales destinados al cultivo hacia zonas naturales lindantes. Dichas estrategias podrían prevenir un daño irreparable en la flora y fauna local, incluso evitando la extinción de diversas especies. Esto representa un importante desafío para la comunidad científica, que deberá orientar sus

esfuerzos y destinar importantes recursos con el fin de evitar un colapso en el sistema de producción alimenticia y a su vez evitar un daño irreparable en los espacios naturales.

En ese sentido, se ha demostrado que el desarrollo de cultivos hidropónicos representa una importante innovación tecnológica, cuya aplicación permite afrontar exitosamente dicha problemática. Se ha demostrado, que los resultados obtenidos a partir de la producción hidropónica en el espacio de la Fundación Reciduca, han reflejado un eficiente rendimiento en la obtención de cultivos con fines alimenticios. En el marco del presente trabajo, se ha observado que el desarrollo de cultivos hidropónicos, por medio de la instalación de un recinto desarrollado a tal fin, ubicado en una extensión relativamente limitada, en medio de una zona urbana, puede generar un importante rendimiento, sin la necesidad de depender del suelo, el entorno en el que se encuentre y sus condiciones, como en los cultivos tradicionales, que a su vez requieren de grandes extensiones de tierras. Para optimizar la producción de cultivos hidropónicos se requiere de una atención diaria, que permita monitorear y mantener un adecuado funcionamiento del invernadero. Esto representa una diferencia substancial con el desarrollo del cultivo tradicional, el cual depende principalmente de factores exógenos naturales, mientras que en el caso del cultivo hidropónico se debe contar con el correcto equilibrio interno dentro del recinto, ya que variaciones en él podrían afectar su rendimiento.

El desarrollo de cultivos hidropónicos permite optimizar los recursos, de manera que se pueda alcanzar una mayor producción, conservando la buena calidad de los productos, con un requerimiento significativamente menor de agua, en espacios mucho más reducidos, en relación con el cultivo tradicional extensivo.

De esta manera, las investigaciones científicas orientadas al desarrollo de este tipo de tecnologías permitirá optimizar el uso racional de los recursos naturales disponibles y el desarrollo de una mayor producción alimenticia, que permita responder a las crecientes demandas de la población, y a su vez permita un mayor cuidado del medio ambiente.

Teniendo una base científica ya estudiada, respecto a las necesidades nutricionales y factores exógenos que se requieren para el correcto desarrollo de cultivo sin necesidad de tierra, se puede abrir un amplio panorama de posibilidades para aplicar nuevas técnicas de producción alimenticia, sin importar las condiciones adversas del entorno en las que uno se encuentre. Dependiendo de las cualidades físicas de la especie a cultivar, se podrá adaptar el sistema para generar su producción hidropónica y que pueda satisfacer a las necesidades alimenticias que se están requiriendo.

Cabe destacar que actualmente se encuentran disponibles una amplia gama de medios en los cuales se puede obtener un resultado eficiente. Diferentes medios pueden llegar hacia un mismo fin, y depende de la comunidad científica tener que incursionar y desarrollar nuevas técnicas de obtención alimenticia a partir de la base de la hidroponia.

Frente a los crecientes desafíos a los que se encuentra la humanidad en su totalidad, es necesario analizar exhaustivamente dicho panorama, tomando en cuenta los elementos diagnósticos descritos previamente, incluyendo los signos que pueden ser fácilmente

observables en la naturaleza, entre los cuales se destaca la creciente escasez de recursos, los signos asociados a la falta de cuidado y organización por parte de numerosas poblaciones, con el consecuente impacto que esto conlleva, incluyendo el aumento de la contaminación y la inutilización permanente de numerosos recursos naturales, y finalmente los síntomas que presentan las personas en general, y de algunas poblaciones en particular, asociados con el continuo deterioro en su calidad de vida. En ese sentido, cabe destacar la importancia de abordar de manera racional y eficaz la creciente desnutrición y el desarrollo de numerosas enfermedades asociadas a la falta de agua y de nutrientes.

Numerosos estudios han demostrado que ya existen estrategias adecuadas para abordar eficazmente los problemas descritos, demostrando la importancia de la investigación aplicada y el consecuente desarrollo científico, que han sido pilares indispensables en el desarrollo de nuevas tecnologías orientadas a la resolución de dichos problemas (Cauberhe, 2021). En ese sentido, existen numerosos ejemplos a nivel mundial, en los cuales se destaca el desarrollo de nuevas tecnologías para el aprovechamiento de los recursos disponibles, sobre todo en algunos países que, por su limitada extensión geográfica, se han visto en la necesidad de optimizar el uso de la tierra disponible para cultivo, y simultáneamente racionalizar el uso de sus reservas de agua potable. De esta manera han surgido numerosos modelos que han demostrado las ventajas que ofrece el desarrollo de cultivos intensivos, por encima de los tradicionales cultivos extensivos, propios de países que han sido bendecidos con grandes extensiones territoriales. Si bien resultan evidentes las ventajas de los cultivos intensivos, incluyendo la mayor productividad de la tierra cultivada y un mayor rendimiento de los productos obtenidos, también se ha observado que la agricultura intensiva puede presentar ciertas desventajas, incluyendo la necesidad de invertir mayores recursos, por lo cual en un principio se pensó que solo era posible su implementación en países más desarrollados (Godfray, 2010).

En función del conocimiento que disponemos actualmente, la aplicación de técnicas hidropónicas abre un camino para numerosas oportunidades ante los problemas mundiales que se están viviendo. En ese mismo sentido, el desarrollo del presente trabajo está en línea con numerosas investigaciones que demuestran que no se requiere de grandes extensiones de tierra para el correcto desarrollo de cultivos (Barbosa, 2015). Más aún, con la cantidad precisa de macronutrientes y micronutrientes aplicados en la solución nutritiva, se pueden obtener resultados en la máxima expresión de los cultivos. Además, de acuerdo con lo expuesto, la producción intensiva hidropónica genera un elevado nivel de cultivos por metro cuadrado, lo cual implicaría que al realizar dicho cultivo de forma vertical, se especularía obtener un resultado bastante superador por sobre el cultivo tradicional, utilizando la misma cantidad de metros cuadrados. Algunos autores consideran que una de las principales ventajas de la hidroponía es el hecho de regular el ambiente interno del invernadero, cualidad que permite la producción anual, en las cuatro estaciones, de un mismo producto y así potenciar su cosecha (Despommier, 2009).

De acuerdo a ciertas investigaciones, se produce anualmente, grandes pérdidas agrícolas a causa de agentes patógenos que afectan al cultivo. Según algunos estudios, se estima que el porcentaje de cultivos vegetales afectados es del 54% (Zhang, 2018). La solución ante este panorama produjo la aplicación en gran escala de pesticidas, teniendo un crecimiento de 2000 toneladas en 1990, a una cifra de 4000 para el año 2016 (Silva, 2019). Los hongos son los principales agentes que causan las mayores pérdidas de cultivo a nivel mundial (Fisher *et al.*, 2012), el hecho de que estén presentes en casi la totalidad de tipos de suelo, especialmente aquellos con mayores concentraciones de materia orgánica (Herman *et al.*, 2004), facilita su acción nociva ante el cultivo. La aplicación de fungicidas es un método eficiente pero a costo elevado. Su uso en el cultivo puede desencadenar daños en la salud animal y la humana, desarrollo de resistencia por parte de los patógenos y daños ambientales (Heydari & Pessarakli, 2010).

Por otra parte, al realizar el reciclaje de la solución nutritiva para optimizar su uso, genera a largo plazo un desbalance de los nutrientes en la solución nutritiva. A pesar de controlar diariamente los niveles de conductividad eléctrica y que sus resultados sean los correctos, esto no garantiza que la concentración de nutrientes de forma individual sea la misma. En ese sentido, una desventaja que posee este sistema es la imposibilidad de acceder a las concentraciones individuales de los nutrientes disueltos, basándonos en el método de medición de conductividad eléctrica (Nemali, 2018). Por lo tanto, a pesar de mantener el nivel de conductividad eléctrica deseado en la solución nutritiva, es posible que ciertos nutrientes varíen su porcentaje en forma de exceso o deficiencia, al cabo de varios ciclos de reciclaje (Miller *et al.*, 2020). Actualmente, la solución ante este problema, implica un vaciado mensual de los tanques para su renovación completa con la solución nutritiva. En casos en donde no se cuenta con un sistema de filtrado, esta acción podría desencadenar problemas de contaminación en los afluentes cercanos.

El presente trabajo aporta información relevante para la posible aplicación de futuras producciones hidropónicas en una superficie elevada del suelo, evitando el contacto directo con los posibles agentes patógenos que habitan allí y de esa forma, minimizando tanto los gastos en aplicación de fungicidas como las pérdidas de cultivo afectado. El desarrollo de cultivos hidropónicos, en comparación con los cultivos tradicionales, podría ser de gran importancia para lograr una reducción significativa del uso de agua potable, lo cual representa un importante aporte en el cuidado de los recursos naturales.

10. Bibliografía

Badgery-Parker J. (2002). Managing waste water from intensive horticulture: a wetland system. Agnote DPI-381, 2nd ed, 1–4.

Bala G, Caldeira K., Wickett M., Phillips T. J., Lobell D. B., Delire C. & Mirin A. (2007). Combined climate and carbon-cycle effects of large-scale deforestation. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 104. 6550–6555.

Barbosa, G. L., Gadelha, F. D., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., Wohlleb, G. M., & Halden, R. U. (2015). Comparison of Land, Water, and Energy Requirements of Lettuce Grown Using Hydroponic vs. Conventional Agricultural Methods. International journal of environmental research and public health, 12(6), 6879–6891.

Bentsink L. & Koornneef M. (2008). Seed dormancy and germination. Arabidopsis Book 6: e0119

Benton Jones Jr., J. (1982). Hydroponics: Its history and use in plant nutrition studies, Journal of Plant Nutrition, 5:8, 1003-1030

Bertoldi F. C., Sant'Anna E. & Barcelos-Oliveira J. L. (2009). Chlorella vulgaris cultivated in hydroponic wastewater. Proc. IS on Soilless culture and Hydroponics. Eds. A Rodriguez-Delfin and PF Martinez. Acta Horticulturae 843. 203–210

Boland, M. J., Rae, A. N., Vereijken, J. M., Meuwissen, M. P. M., Fischer, A. R. H., van Boekel, M.A.J.S., Rutherford, S.M., Gruppen, H., Moughan, P.J. & Hendriks, W.H. (2013). The future supply of animal-derived protein for human consumption. Trends in Food Science & Technology, 29(1), 62–73

Borrelli, P., Robinson, D.A., Fleischer, L.R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., Meusburger, K., Modugno, S., Schuett, B., Ferro, V., Bagarello, V., Van Oost, K., Montanarella, L. & Panagos, P. (2017) An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. Nature Communications. 8, 1–13

Cauberghe V., Vazquez-Casaubon E. & Van de Sompel D. (2021) Perceptions of water as commodity or uniqueness? The role of water value, scarcity concern and moral obligation on conservation behavior. *Journal of Environmental Management*. 292:112677

Choi B., Lee S. S., Awad Y. M. & Ok Y. S. (2011). Feasibility of reclaimed wastewater and waste nutrient solution for crop production in Korea. *Korean Journal Environmental Agriculture* 30(2):118–124

Debangshi, U. (2021). Hydroponics rice nursery: A novel approach to rice cultivation in India. *Journal of Research in Agriculture and Animal Science*: 9 (4). 63-66.

Despommier D. (2009). The rise of vertical farms. *Scientific American*. 301(5):80-7

Ding, X., Jiang, Y., Zhao, H., Guo, D., He, L., Liu, F., Zhou, Q., Nandwani, D., Hui, D., & Yu, J. (2018). Electrical conductivity of nutrient solution influenced photosynthesis, quality, and antioxidant enzyme activity of pakchoi (*Brassica campestris* L. ssp. *Chinensis*) in a hydroponic system. *PloS one*, 13(8), e0202090.

Even, M., Sabo, M., Meng, D., Kreszies, T., Schreiber, L., & Fricke, W. (2018). Night-time transpiration in barley (*Hordeum vulgare*) facilitates respiratory carbon dioxide release and is regulated during salt stress. *Annals of botany*, 122(4), 569–582.

Farchi, S., De Sario, M., Lapucci, E., Davoli, M., & Michelozzi, P. (2017). Meat consumption reduction in Italian regions: Health co-benefits and decreases in GHG emissions. *PloS one*, 12(8), 1–19.

Finkelstein R., Reeves W., Ariizumi T., Steber C. (2008) Molecular aspects of seed dormancy. *Annual Review of Plant Biology*, 59: 387–415.

Fisher, M. C., Henk, D. A., Briggs, C. J., Brownstein, J. S., Madoff, L. C., McCraw, S. L. & Gurr, S. J. (2012) Emerging fungal threats to animal, plant and ecosystem health. *Nature*, 484(7393): 186-194.

Foley J. A., Ramankutty N., Brauman K. A., Cassidy E. S., Gerber J. S., Johnston M., Mueller N. D., O'Connell C., Ray D. K., West P. C., Balzer C., Bennett E. M., Carpenter S. R., Hill J., Monfreda C., Polasky S., Rockström J., Sheehan J., Siebert S., Tilman D. & Zaks D. P. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*. 478(7369):337-42.

Footitt S. & Finch-Savage W. E. (2017). Dormancy and control of seed germination. In: Clemens S, ed. *Plant Physiology and Function*. Plant Science, vol 6. Springer, New York, NY.

Gagnon V., Maltais-Landry, Puigagut J. & Chazarenc, Brisson J. (2010). Treatment of hydroponics wastewater using constructed wetlands in winter conditions. *Water, Air and Soil Pollution* 212(1–4):483–490.

Geiger, F., Bengtsson, J., Berendse, F., Weisser, W. W., Emmerson, M., Morales, M. B., Ceryngier, P., Liira, J., Tschardtke, T., Winqvist, C., Eggers, S., Bommarco, R., Pärt, T., Bretagnolle, V., Plantegenest, M., Clement, L. W., Dennis, C., Palmer, C., Oñate, J. J. & Inchausti, P. (2010). Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology*, 11(2), 97-105.

Godfray H. C., Beddington J. R., Crute I. R., Haddad L., Lawrence D., Muir J. F., Pretty J., Robinson S., Thomas S. M. & Toulmin C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*. 12;327(5967):812-818.

Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I. & Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species - opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature reviews microbiology* 2, 43-56.

Heydari, A. & Pessarakli, M. (2010). A review on biological control of fungal plant pathogens using microbial antagonists. *J. Journal of Biological Sciences*, 10: 273-290.

Jackson, R. B., Carpenter, S. R., Dahm, C. N., McKnight, D. M., Naiman, R. J., Postel, S. L., & Running, S. W. (2001). Water in a changing world. *Ecological applications*, 11(4), 1027-1045.

Jensen M. H. & Malter A. J. (1995). *Protected agriculture—a global review*. World Bank Publications, Washington DC, USA 157p.

Kendall S. L., Hellwege A., Marriot P., Whalley C., Graham I. A. & Penfield S. (2011). Induction of dormancy in *Arabidopsis* summer annuals requires parallel regulation of DOG1 and hormone metabolism by low temperature and CBF transcription factors. *Plant Cell* 23: 2568–2580

Kislev, Y. & Tsaban, S. (2013) *Statistical Atlas for Agriculture in Israel*. Ministry of Agriculture, Beit Dagan (in Hebrew). http://www.moag.gov.il/agri/Files/atlas_haklaut.pdf

Kumar, Ramasamy R. & Cho J. Y. (2014). Reuse of hydroponic waste solution. *Environmental Science and Pollution Research*. 9569-9577.

Lawson, T. & Blatt, M. R. (2014). Stomatal size, speed, and responsiveness impact on photosynthesis and water use efficiency. *Plant Physiology*. 164, 1556–1570.

Lopes da Luz, G., Petter Medeiros, S., Manfron, P., Borcioni, E., Muller, L., Dischkaln do Amaral, A. & Pereira M. K. (2008). Consumo de energia elétrica e produção de alface hidropônica com três intervalos entre irrigações. *Ciência Rural*. 38, 815–818.

López E. J. (2018). Hydroponic production of crops. *Idesia (Arica)*, 36(2), 139-141.

Magwaza S. T., Magwaza L. S., Odindo A. O. & Mditshwa A. (2020). Hydroponic technology as decentralised system for domestic wastewater treatment and vegetable production in urban agriculture: A review. *Science Total Environment*. 698:134-154.

Matakiadis T., Alboresi A., Jikumaru Y., Tatematsu K., Pichon O., Renou J., Kamiya Y., Nambara E. & Truong H. (2009). The *Arabidopsis* abscisic acid catabolic gene *CYP707A2* plays a key role in nitrate control of seed dormancy. *Plant Physiology*. 149: 949–960.

Miller A., Adhikari R. & Nemali K. (2020). Recycling Nutrient Solution Can Reduce Growth Due to Nutrient Deficiencies in Hydroponic Production. *Frontiers in plant science*. 11:607-643.

Mitchard E. T. A. (2018). The tropical forest carbon cycle and climate change. *Nature*. 559(7715):527-534.

Nederhoff, E. & Stanghellini, C. (2010). Water use efficiency of tomatoes - in greenhouses and hydroponics. *Practical hydroponics & greenhouses*. 115.

Nemali, K. (2018). Details of Electrical Conductivity measurements in Greenhouse Production. In *Purdue Horticulture and Landscape Architecture*: Purdue University, USA.

Nemali K. S & van Iersel M. W. (2004). Light intensity and fertilizer concentration: I. Estimating optimal fertilizer concentration from water-use efficiency of wax begonia. *HortScience* 39: 1287–1292.

Ng, C. C. (2019). Climate Change and Land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. In: Climate Change and Land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems (pp.249-343) Publisher: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Nisha S., Somen A., Kaushal K., Narendra S. & Chaurasia O. P. (2018). Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. *Journal of Soil and Water Conservation* 17(4): 364-371.

Oh E., Kim J., Park E., Kim J., Kang C. & Choi G. (2004). PIL5, a phytochrome-interacting basic helix-loop-helix protein, is a key negative regulator of seed germination in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell*. 16: 3045–3058.

Orr, B. J., Cowie, A., Castillo, V., Chasek, P., Crossman, N., Erlewein, A., Louwagie, Geertrui, Maron, M., Metternicht, G., Minelli, S., Tengberg, A. & Walter, S. (2017). Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. *Environmental Science & Policy* 79, 25-35.

Pieruschka, R., Huber, G. & Berry, J. A. (2010). Control of transpiration by radiation. *Proceedings of the national academy of sciences*. 107, 13372–13377.

Postel S. (2001). Growing more food with less water. *Scientific american*. 284(2):46– 51.

Resh M. H. (2013). Hydroponic food production. A definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower. 7th edition CRC press, Taylor and Francis Group.

Roberts P., Hunt C., Arroyo-Kalin M., Evans D. & Boivin N. (2017). The deep human prehistory of global tropical forests and its relevance for modern conservation. *Nature Plants*. 3:17093.

Salazar-Moreno R., Rojano-Aguilar A., & López-Cruz I. L. (2014). La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(2), 177-183.

Salter A. M. (2018). The effects of meat consumption on global health. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)*, 37(1), 47–55.

Siebielec G., Ukalska-Jaruga A. & Kidd, P. (2014). Bioavailability of trace elements in soils amended with high-phosphate materials. In: *Phosphate in Soils: Interaction with Micronutrients, Radionuclides and Heavy Metals*. CRC Press, pp. 237–268.

Silva R. N., Monteiro V. N., Steindorff A. S., Gomes E. V., Noronha E. F. & Ulhoa C. J. (2019). Trichoderma/pathogen/plant interaction in pre-harvest food security. *Fungal Biology*. 123(8):565-583.

Shu K, Liu X. D., Xie Q. & He Z. H. (2016). Two Faces of One Seed: Hormonal Regulation of Dormancy and Germination. *Molecular Plant*. 9(1):34-45.

Stavi, L. & Lal, R. (2015). Achieving zero net land degradation: challenges and opportunities. *Journal of Arid Environments*. 112, 44–51.

Tal A. (2016). Rethinking the sustainability of Israel's irrigation practices in the Drylands. *Water Research*. 90:387-394.

Vaillant N., Monnet F., Sallanon H., Coudret A. & Hitmi A. (2003). Treatment of domestic wastewater by an hydroponic NFT system. *Chemosphere*. 50(1):121-9.

Verdoliva S. G., Gwyn-Jones D., Detheridge A. & Robson P. (2021). Controlled comparisons between soil and hydroponic systems reveal increased water use efficiency and higher lycopene and β -carotene contents in hydroponically grown tomatoes. *Scientia Horticulturae*. 279:109896.

Wallace J. S. (2000). Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 82(1–3):105–119.

Wei, S., Zhang, X., McLaughlin, N., Chen, X., Jia, S. & Liang, A. (2017). Impact of soil water erosion processes on catchment export of soil aggregates and associated SOC. *Geoderma*. 294, 63–69.

White P.J. (2012). Ion uptake mechanisms of individual cells and roots: shortdistance transport. In: Marschner, P. (Ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, London, pp. 7–47

Xu K., Guo L. & Ye H. (2019). A naturally optimized mass transfer process: The stomatal transpiration of plant leaves. *Journal of Plant Physiology*. 234-235:138-144.

Yanai A. M., Nogueira E. M., de Alencastro Graça P. M. & Fearnside P. M. (2017). Deforestation and Carbon Stock Loss in Brazil's Amazonian Settlements. *Environmental Management*. 59(3):393-409.

Yang L., Liu S. & Lin R. (2020). The role of light in regulating seed dormancy and germination. *Journal of Integrative Plant Biology*. 62(9):1310-1326.

Zhang, W. (2018). Global pesticide use: profile, trend, cost/benefit and more. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, 8(1): 1-27.