

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LAS AMÉRICAS



DEPARTAMENTO DE EXCELENCIA DE MECATRÓNICA

Armario Hidropónico para el Cultivo de Lechugas

Sustentantes:

Sheila Contreras Cabrera (2020-10956)

Dojanni Esmerling Contreras Lamiz (2021-0067)

Gabriela Margarita Liriano Tejeda (2020-10667)

Nelson Junior Ramírez Mordán (2021-0360)

Oscar Aníbal Montilla Dipre (2021-0393)

Para la Obtención del Título:

Tecnólogo en Mecatrónica

Asesor:

Ing. Pedro Castro

Santo Domingo, República Dominicana

22 de abril de 2024



Tabla de Contenido

Índice de Imágenes	8
Nota de los autores.....	10
Agradecimientos	11
Dedicatoria.....	12
1. Marco General de la Investigación	13
1.1. Introducción	13
1.2. Planteamiento del problema.....	13
1.2.1. De aquí parte la necesidad de realizar un proyecto basado en un nuevo sistema, que nos permita:	16
1.2.2. Justificación de la Investigación o Problema.....	16
1.3. Objetivos de la Investigación.....	21
1.4.1. Objetivo General.....	21
Objetivos Específicos.....	22
1.5. Variables e Indicadores	23
1.5.1. Producción	23
1.5.2. Eficiencia del sistema	23
1.5.3. Escala del sistema	23
1.5.4. Otros Indicadores Relevantes	23
2. Fundamentos Teóricos	24
2.1. Historia y Aportes de la Fisiología Vegetal a Través del Tiempo	24
Antecedentes Internacionales.....	26
2.2. Antecedentes Nacionales	27
2.3. Marco Conceptual y Contextual	27
2.3.1. Las Plantas	27
2.3.1.1. La Semilla: El Inicio de la Vida	27
2.3.1.1.1. La Raíz.....	29
2.3.1.1.2. El Tallo	29
2.3.1.1.3. Las Hojas.....	29
2.3.1.1.4. La Flor	30
2.3.1.1.5. El Fruto.....	30
2.3.1.2. Funciones Principales de las Plantas.....	30
2.3.1.3. Fotosíntesis.	30

2.3.1.4.	Etapas de la Fotosíntesis	30
2.3.1.5.	Productos de la Fotosíntesis.....	31
2.3.1.6.	Importancia de la Fotosíntesis.	31
2.3.1.7.	Factores que Afectan la Fotosíntesis.....	32
2.3.1.8.	Relación con el Medio Ambiente.....	32
2.3.2.	Movimiento de los Nutrientes.....	33
2.3.3.	La Temperatura	34
2.3.3.1.	Importancia de la Temperatura en la Agricultura.....	34
2.3.4.	Temperaturas Medias y Precipitaciones en República Dominicana	36
2.3.5.	Temperatura Máxima en República Dominicana	37
2.3.5.1.	Propiedades Biológicas.....	38
2.3.5.2.	Propiedades Químicas.....	39
2.3.5.3.	Propiedades Físicas.....	39
2.3.6.	La Luz	39
2.3.7.	La Hidroponía	41
2.3.7.1.	Ventajas de la Hidroponía:.....	41
2.3.7.2.	Aeroponía:.....	42
2.3.7.2.1.	¿Qué Implica el Método Aeropónico?.....	43
2.3.7.2.2.	¿Cómo se Lleva a Cabo el Método Aeropónico?	43
2.3.7.2.3.	¿Qué se Puede Cultivar en este Método Aeropónico?.....	43
2.3.7.2.4.	¿Quiénes Pueden Implementar el Método Aeropónico?	43
2.3.7.2.5.	¿Cuál es el Mantenimiento Necesario para el Método Aeropónico?.....	44
2.3.7.2.6.	Ventajas.....	44
2.3.7.2.7.	Desventajas.....	45
2.3.7.3.	Sistema de Raíz Flotante.....	45
2.3.7.3.1.	¿Qué Implica el Método de Raíz Flotante?	45
2.3.7.3.2.	¿Cómo se Lleva a Cabo?	46
2.3.7.3.3.	¿Qué se Puede Cultivar con este Método?	46
2.3.7.3.4.	¿Quiénes Pueden Implementarlo?	46
2.3.7.3.5.	¿Cuál es el Mantenimiento Necesario?	46
2.3.7.3.6.	¿Qué Materiales se Requieren para Ponerlo en Práctica?	47
2.3.7.3.7.	Solución Nutritiva.....	47
2.3.7.3.8.	Ventajas.....	47

2.3.7.3.9.	Desventajas.....	48
2.3.7.4.	Sistema NFT (Nuestro sistema)	50
2.3.7.4.1.	Antecedentes.....	50
2.3.7.4.2.	Componentes y Materiales del Sistema "NFT".	52
2.3.7.4.3.	Estanque Colector.....	52
2.3.7.4.4.	¿Qué Factores Influyen en el Tamaño del Estanque?	53
2.3.7.4.5.	Ejemplos Prácticos.	54
2.3.7.4.6.	Volumen Remanente.	54
2.3.7.4.7.	Canales de Cultivo.....	56
2.3.7.4.8.	Bomba.....	58
2.3.7.4.9.	¿Por qué es Tan Importante la Bomba?	58
2.3.7.4.10.	¿Qué Tipo de Bomba Elegir?	59
2.3.7.4.11.	Recomendaciones para Elegir la Bomba.....	59
2.3.7.4.12.	Red de Distribución.....	61
2.3.7.4.13.	Tubería Colectora.	61
2.3.8.	Oxigenación de la Solución Nutritiva:.....	63
2.3.9.	Pendiente.....	63
2.3.10.	Nutrición de las Plantas	64
Composición de las Soluciones Nutritivas.	64	
2.3.10.1.	Indispensables para la Vida de los Vegetales.	64
2.3.10.2.	Útiles, pero no indispensables para su vida.	64
2.3.10.3.	Tóxicos para el vegetal.	64
2.3.11.	Solución Nutritiva.....	65
2.3.12.	Conductividad eléctrica:	67
2.3.12.1.	Ventajas de una Conductividad Eléctrica Adecuada.....	69
2.3.12.2.	Cómo Controlar la Conductividad Eléctrica.....	69
2.3.12.3.	Consejos para Medir la Conductividad Eléctrica en Hidroponía.	70
2.3.13.	El pH	70
2.3.14.	Control Diario de la Solución Nutritiva.....	73
2.3.15.	Duración y Renovación de la Solución Nutritiva	74
2.3.16.	Manejo de cultivo en el sistema NFT	74
2.3.17.	Luces Led.....	77
2.3.18.	Ejemplos de espectros de varias fuentes de luz comúnmente utilizadas para el crecimiento de plantas:.....	83

2.3.19. Plagas principales.....	84
2.3.19.1. Arañuela roja: <i>Tetranychus urticae</i> (Clase Arácnida-Orden Acari). 84	
2.3.19.1.1. Daños.....	85
2.3.19.2. Trips: <i>Thrips</i> sp. <i>Frankliniella</i> sp. (Clase Insecta-Orden Tisanóptero)	86
2.3.19.2.1. Daños.....	87
2.3.20. Pulgones: <i>Myzus persicae</i> , <i>Aphis fabae</i> , <i>Macrosiphum euphorbiae</i> , <i>Aulacorthum solani</i> , <i>Brevicoryne brassicae</i> , <i>Uroleucon ambrosiae</i> . (Clase Insecta-Orden Hemípteros-Flia. Afididos).....	88
2.3.20.1.1. Daños.....	89
3. Marco Metodológico.....	91
3.1. Tipo y Enfoque de la Investigación	91
3.1.1. De tipo Cuantitativo.....	91
3.1.2. De tipo Experimental	91
3.1.3. Métodos de Investigación	91
3.1.4. Método Descriptivo	91
3.1.5. Método Mixto	92
3.1.6. Método Macro.....	92
3.2. Método, Técnicas e Instrumentos	92
3.2.1. Método	92
3.2.2. Técnicas e instrumentos de investigación.....	93
2. Entrevistas con expertos en hidroponía:	93
3.3. Población.....	94
3.4. Muestra	94
3.5. Tipo de Muestreo	94
3.5.1. Procedimiento	94
3.6. Criterios de Inclusión.....	94
3.7. Criterios de Exclusión.....	95
3.8. Alcance y Limitaciones.....	95
3.8.1. Alcance	95
Objetivos del proyecto	95
3.8.2. Recursos.....	96
3.8.3. Entregables.....	96

3.8.4.	Hoja de ruta del proyecto	96
3.8.5.	Limitaciones.....	96
4.	Resultados de la investigación:	97
4.1.1.	Desarrollo de la propuesta de solución	97
4.2.	Inversión Inicial	99
4.2.1.	Fuente de financiamiento:.....	99
4.3.	Diseño de Bloques	100
4.4.	Diseño de la Aplicación	101
4.5.	Proceso de crecimiento de las lechugas	102
4.5.1.	Proyecto Funcionando en perfectas condiciones en un lapso de 14 días.	
		102
4.5.2.	Primer experimento en el proyecto.....	104
4.5.3.	Lechugas aplicándole solamente sol y solución nutritiva.....	104
4.6.	Diseño de nuestro proyecto.....	105
5.	Fuente de financiamiento:.....	110
6.	Análisis de Mercado de Empresas que Hacen Hidroponía Automatizada.....	111
7.	Análisis de Mercado de Productos Parecidos a 4Ponic	115
8.	Conclusión	118
9.	Bibliografía	119

Índice de Gráficos

Grafico 1.	Temperaturas medias y precipitaciones en Republica Dominicana.....	3636
Grafico 2.	El diagrama de la temperatura máxima en República Dominicana muestra cuántos días al mes llegan a ciertas temperaturas.	37
Grafico 3.	Grafica que muestra la disponibilidad de los nutrientes en relación con el pH.....	73

Índice de Tablas

Tabla 1.	Frecuencia anual de días nublados en las diferentes regiones de la Republica Dominicana.....	155
Tabla 2.	Datos proporcionados por el Informe Nacional del Agua 2023, sobre las comparaciones del nivel de agua.....	Error! Bookmark not defined. 7
Tabla 3.	Tabla solucion nutritiva.....	47
Tabla 4.	Volumen, densidad y capacidad de los cultivos.....	55
Tabla 5.	Cantidades que son requeridos por las plantas	64
Tabla 6.	Elementos minerales esenciales para las plantas	6565
Tabla 7.	Sales fertilizantes utilizadas en hidroponía.....	6666
Tabla 8.	Rangos de concentración de elementos minerales esenciales según diversos autores.....	6666
Tabla 9.	Ajuste de una formulación de solución nutritiva.....	67
Tabla 10.	Conductividad eléctrica de diferentes cultivos	68
Tabla 11.	Valores de PH de diferentes cultivos	72

Índice de Imágenes

Imagen 1.	Chinampa, cultura azteca	2424
Imagen 2.	Experiencia de Van Helmont.....	25
Imagen 3.	Partes de la planta	29
Imagen 4.	Sistema aeroponico	42
Imagen 5.	Sistema de raíz flotante.....	45
Imagen 6.	Imagen de manera demostrativa de cómo hacer un trasplante a raíz flotante.....	49

Imagen 7.	Nuestro estanque de agua, de PVC.....	5353
Imagen 8.	Canal confeccionado con polietileno para cultivos altos, por ejemplo para tomate.....	57
Imagen 9.	Canal conformado por polietileno coextrusado, especialmente utilizado para cultivos altos, como por ejemplo: pepino	57
Imagen 10.	Canales de cultivo en PVC de sección semicircular (tomate, pepino, pimentón, melón, etc.)	58
Imagen 11.	Cubierta de poliestireno expandido para varios canales de cultivo .	58
Imagen 12.	Nuestro sistema de tuberías.	62
Imagen 13.	Lechuga Tipo Mantecosa (Izquierda) y Lechuga Divina (Derecha)	7676
Imagen 14.	Lechuga sierra.....	76
Imagen 15.	Variedades de lechuga.....	77
Imagen 16.	Arañuela roja. (cortesía Urretabizkaya, N.)	85
Imagen 17.	Vaquitas (cortesía Urretabizkaya, N.)	87
Imagen 18.	Pulgones (cortesía Urretabizkaya, N.)	89
Imagen 19.	Estructura del proyecto	Error! Bookmark not defined. 105
Imagen 20.	Sistemas de tuberías del proyecto	105

Nota de los autores

La elaboración de esta tesis ha representado un desafío significativo. Nuestro propósito es fomentar que estudiantes y personas interesadas tengan la capacidad de diseñar, desarrollar e implementar un sistema hidropónico NFT que garantice un control total del crecimiento de los cultivos.

Buscamos resolver diversos problemas que afectan a la agricultura tradicional y mejorar dos problemas importantes en nuestro país, la República Dominicana, que son, la dependencia del sol en la agricultura y el desperdicio total del agua en el país.

Este reto ha sido asumido con valentía por jóvenes estudiantes, y otras personas que, mediante un proceso en curso y reciente, están colaborando de manera dedicada en la investigación.

Con la ayuda proporcionada y recibida, confiamos en que hemos logrado dar un pequeño pero significativo paso hacia adelante.

Esperamos y nuestra tesis sea de ayuda para quien la esté leyendo.

Agradecimientos

Agradecemos a Dios por permitirnos llegar a esta etapa de la carrera donde concluimos nuestros estudios que nos permitirán ser unos dignos profesionales para la sociedad dominicana.

A nuestros padres que son nuestro apoyo número uno, los cuales nos han brindado de su tiempo, recursos, educación y amor para llegar a donde estamos y sin los cuales no estaríamos aquí.

También queremos agradecer a nuestros compañeros y maestros que nos han ayudado y apoyado en la materialización de este proyecto y tesis.

Por ultimo y no menos importantes, a nosotros mismo, por superarnos y romper nuestros límites para convertirnos en una mejor versión cada día.

Dedicatoria

Dedicamos esta tesis a nuestros queridos padres, cuyo apoyo incondicional y paciencia infinita nos han guiado a lo largo de este arduo camino. Su amor y sacrificio son la verdadera raíz de nuestro éxito.

También queremos expresar nuestro profundo agradecimiento a nuestros estimados profesores, en especial a Obed, cuya sabiduría y dedicación nos han moldeado como mecatrónicos, sus enseñanzas perdurarán como cimientos sólidos en nuestra trayectoria profesional, también nuestros maestros Santo Mateo y Juan Marmolejos, que nos han guiado por un ambiente industrial.

A todos aquellos que nos han acompañado y alentado en este viaje, les dedicamos este logro con humildad y gratitud.

¡A nuestros padres y profesores, gracias por creer en nosotros y por ser nuestra inspiración constante!

1. Marco General de la Investigación

1.1. Introducción

Con el pasar de los años el mundo donde vivimos se encuentra englobado por un rápido crecimiento en el desarrollo tecnológico, es una realidad que forma parte de nuestro estilo de vida y que nos abre puertas, para que lo imposible se vuelva posible.

Alcanzar un nuevo escalón de innovación en conjunto de entregar una solución sostenible, es el marco donde 4Ponic buscar sentar sus bases, para que la sociedad y el público consumidor sienta como la agricultura crece a la par de esta nueva era tecnológica.

1.2. Planteamiento del problema

¿Cómo podemos mejorar el uso inadecuado del agua en la agricultura, reducir los riesgos asociados con los pesticidas y disminuir la dependencia de luz solar en las plantaciones de lechugas en la República Dominicana?

La República Dominicana, con una población mayor a 11 millones de habitantes y con una suficiencia alimentaria de un 88.4% (produce el 88.4% de los alimentos que consume), presenta una gran problemática en el sector agrícola. La mayor cantidad de agua, un 82%, se destina al sector agrícola, mientras que el otro 18% al uso doméstico e industrial. De este 82%, el 70% del agua utilizada en la agricultura es desperdiciada, lo que equivale al 57% de toda el agua disponible en el país. Cabe resaltar que la eficiencia en el uso del agua es fundamental para la sostenibilidad de la agricultura, la seguridad alimentaria y el desarrollo económico del país.

Estos porcentajes al ser tan elevados son preocupantes, ya que traen consigo consecuencias como el deterioro del suelo, contaminación del agua por uso de pesticidas, escasez de agua e inestabilidad económica. Las prácticas agrícolas

tradicionales, como el riego por inundación, son altamente ineficientes con el uso del agua, se estima que se pierden hasta el 60% del agua aplicada a los cultivos. Junto a estas prácticas, se utilizan con frecuencia productos fitosanitarios para controlar las plagas y enfermedades en los cultivos conocidos como plaguicidas o pesticidas. El uso de estos tiene un impacto negativo en la salud humana y el medio ambiente, ocasionando enfermedades crónicas, neurodegenerativas, cáncer y malformaciones congénitas (Van Mael Fabry et al. 2010; Baldi et al. 2010; Meenakshi et al. 2012; Wickerham et al. 2012, como se citó en Ordoñez et al. s.f.).

Los pesticidas pueden contaminar las fuentes de agua superficiales y subterráneas, afectando la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos. Cuando los plaguicidas son aplicados e ingresan al suelo, pueden ser retenidos por procesos de adsorción en sus diferentes componentes, degradarse total o parcialmente por acción biológica o química, así como migrar con el flujo de agua hacia zonas más profundas (lixiviación) con el peligro de contaminar las aguas subterráneas (Postigo et al. 2018, como se citó en Grondona et al. 2022).

Se considera que los plaguicidas constituyen una de las principales fuentes de contaminación difusa del agua subterránea (Tim y Jolly 1994, como se citó en Grondona et al. 2022) y sus residuos han sido ampliamente detectados a nivel mundial tanto en agua superficial como subterránea (Massone et al. 1998, De Gerónimo et al. 2014, Okada et al. 2018, Carazo-Rojas et al. 2018, Grondona et al. 2019, como se citó en Grondona et al. 2022).

Por lo tanto, si República Dominicana está enfocando un 82% del agua hacia la agricultura contamos con el riesgo de que los pesticidas dañen los cultivos, el terreno y afecten la salud de los trabajadores mediante el agua, a causa de que no se tiene un ambiente controlado por medio de terrenos cultivados con riego tecnificado.

Para evitar el uso de pesticidas, es necesario contar con cultivos saludables, libres de hongos y enfermedades. Se deben considerar diversos factores para lograr esto, entre los que destaca el sol, que juega un papel fundamental en la agricultura tradicional.

La luz solar es esencial para la fotosíntesis, proceso por el cual las plantas convierten la energía solar en energía química, utilizada para su crecimiento y desarrollo.

El sol actúa como un método natural de control de plagas, ya que muchos patógenos y hongos no prosperan bajo condiciones de alta luminosidad. La exposición solar ayuda a fortalecer las plantas, haciéndolas más resistentes a enfermedades y estrés ambiental. No obstante, esta exposición puede afectar el sabor de los cultivos.

En la República Dominicana, la frecuencia de nubosidad es alta en gran parte del país, según el Ministerio de Agricultura de la República Dominicana. Aunque las nubes pueden disminuir la temperatura del aire y del suelo, creando condiciones ideales para ciertos cultivos, también reducen la cantidad de luz solar disponible para la fotosíntesis, lo que puede afectar el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Tabla 1.

Frecuencia anual de días nublados en las diferentes regiones de la República Dominicana

Region	Precipitación anual (mm)	Frecuencia de días nublados
Santo Domingo	1,500	100
Santiago	1,200	80
Barahona	500	50
La romana	1,000	70
Puerto plata	2,000	120
Dajabón	700	60
San Juan de la Maguana	400	40
San Cristóbal	1,300	90

1.2.1. De aquí parte la necesidad de realizar un proyecto basado en un nuevo sistema, que nos permita:

- A. Quitar la dependencia del suelo, para evitar las enfermedades en los cultivos.
- B. Quitar la dependencia del sol, para tener un sistema más controlado, donde los cultivos tendrán el tiempo de luz y sombra necesarios.
- C. Bajar el índice de uso de los pesticidas.
- D. Evitar la contaminación del agua debido al uso de pesticidas.
- E. Bajar el porcentaje de daños a la salud, al disminuir el índice de pesticidas.
- F. Reducir la cantidad de agua utilizada en cada cosecha.

1.3. Justificación de la Investigación o Problema

El agua, fuente de vida y motor del desarrollo, se encuentra en el centro de una batalla sin precedentes en la República Dominicana ya que tenemos la necesidad de economizar agua en la agricultura.

La realidad que nos golpea es que existe un consumo desmedido ya que en la agricultura dominicana se consume alrededor del 80% del agua dulce disponible, una cifra que supera el 90% en algunas zonas, esto puede afectar a un crecimiento poblacional y existir una demanda de alimentos donde aumenta con la población, intensificando la presión sobre los recursos hídricos.

Las consecuencias de la ineficiencia son graves ya que tenemos el agotamiento de los acuíferos y las reservas subterráneas, estas son vitales para el riego y el consumo humano, y se agotan a un ritmo alarmante, poniendo en riesgo la seguridad hídrica de las comunidades.

Tabla 2.

Comparación del nivel de agua en el 2010 y 2023

Año	Nivel del agua subterránea (metros)	Poblacion (millones)	Demanda de agua(m3/año)
2010	-20	9.8	16,000
2023	-40	11.2	20,000

Nota. Datos proporcionados por el Informe Nacional del Agua 2023, sobre las comparaciones del nivel de agua.

La comparación entre 2010 y 2023 muestra un descenso significativo del nivel del agua subterránea en República Dominicana, en este periodo el nivel ha bajado 20 metros, lo que representa una disminución considerable, al mismo tiempo la población ha aumentado en un 14% y la demanda de agua ha crecido en un 25% este crecimiento junto con la ineficiencia en el uso del agua ha contribuido al agotamiento de los acuíferos.

En el uso ineficiente de la agricultura también tenemos el problema del suelo, donde somos muy dependiente de él, tanto, que se debe tratar muchísimo tiempo antes de plantan cualquier cultivo, pero dicho suelo puede traer también algunos problemas como:

- **Erosión del suelo:** Las prácticas agrícolas inadecuadas intensifican la erosión, reduciendo la fertilidad y productividad del suelo.
- **Salinización del suelo:** El uso excesivo de agua para riego produce la salinización del suelo, afectando su calidad y limitando la producción agrícola.
- **Contaminación del agua:** Los pesticidas y fertilizantes utilizados en la agricultura contaminan los ríos y cuerpos de agua, con un impacto ambiental devastador, lo que afecta al suelo en gran parte.

Economizar agua en la agricultura no solo se trata de asegurar la supervivencia, sino de construir un futuro más sostenible y equitativo para la República Dominicana, implica un cambio de paradigma en la gestión del agua, donde la eficiencia, la responsabilidad y la colaboración sean los pilares fundamentales.

La tecnología se convierte en nuestra aliada, donde podemos tener sensores y sistemas de monitoreo para la medición precisa del agua utilizada en el riego, también podemos tener sensores para el control total de la temperatura, igual para las luces artificiales que servirán como la luz del sol y mediante cámaras podemos analizar las plantas y así saber si están sufriendo alguna enfermedad, contamos también con software y aplicaciones con lo cual podemos tener una gestión eficiente del agua y toma de decisiones informadas.

En la agricultura hoy en día se utilizan también drones y robots que sirven para la precisión de optimizar el uso de recursos y minimizar el impacto ambiental.

La batalla por el agua en la agricultura dominicana es una lucha por la supervivencia, la seguridad alimentaria y el futuro del país, es un llamado a la acción colectiva donde la innovación, la colaboración y la responsabilidad compartida sean las armas para ganar la batalla.

El futuro de la agricultura y de la República Dominicana dependen de la forma en que gestionemos el agua, economizar agua en la agricultura no es solo una necesidad, es algo indispensable para la supervivencia de la batalla por el agua en la agricultura es una pelea que podemos ganar si trabajamos juntos por un futuro más sostenible y equitativo.

Otro de los problemas que presentamos es la dependencia del sol, ya que las nubes pueden ser perjudiciales para la agricultura tradicional por varias razones, en

primer lugar, las nubes pueden bloquear la luz solar necesaria para la fotosíntesis de las plantas y la fotosíntesis es un proceso fundamental para el crecimiento y desarrollo de las plantas ya que les permite convertir la energía solar en carbohidratos, que son la base de su alimentación y crecimiento cuando las nubes bloquean la luz solar, se reduce la cantidad de energía disponible para las plantas, lo que puede disminuir su crecimiento y rendimiento y esto puede afectar al cultivo completo, además, las nubes pueden estar asociadas con condiciones climáticas adversas, como lluvias intensas, granizo o heladas estos eventos climáticos pueden dañar los cultivos y afectar negativamente su producción, ejemplo, las lluvias intensas pueden provocar inundaciones y erosión del suelo, mientras que el granizo puede dañar las hojas y los frutos de las plantas las heladas pueden congelar los tejidos de las plantas, causando daños irreparables.

Otro problema relacionado con las nubes en la agricultura tradicional es la imprevisibilidad del clima las nubes pueden aparecer de manera repentina y cambiar las condiciones climáticas de forma inesperada, lo que dificulta la planificación y gestión de los cultivos los agricultores dependen en gran medida del clima para determinar cuándo sembrar, regar o cosechar sus cultivos, y la presencia de nubes puede complicar este proceso.

Al cultivar plantas en un ambiente controlado, la hidroponía puede proporcionar una fuente constante de luz solar, incluso en días nublados, utilizando luces artificiales si es necesario esto asegura que las plantas reciban la cantidad adecuada de luz para realizar la fotosíntesis y mantener un crecimiento saludable, independientemente de las condiciones climáticas exteriores.

Según datos obtenidos del Gobierno de la República Dominicana (Tecnificación Nacional de Riego), solo un 10% de los terrenos cultivados cuenta con

riego tecnificado, este bajo porcentaje contribuye bastante a la pérdida del agua, ya que, si este fuera mayor, se pudiera tener un mejor control sobre el agua que va destinada a los cultivos.

“Los proyectos de riego tecnificado se han convertido en una de las principales apuestas para incrementar los niveles de producción agropecuaria en un contexto de cambio climático, porque no solo mejoran la gestión del agua, sino que impactan en las condiciones de vida de los productores al generar mayores ingresos económicos”
(Tecnificacion Nacional de Riego, s.f.)

Y aquí entramos nosotros, La hidroponía es un sistema de cultivo que utiliza soluciones nutritivas en lugar de suelo para cultivar plantas. Este sistema tiene el potencial de reducir significativamente el consumo de agua en la agricultura, en comparación con la agricultura tradicional, la FAO indica que la hidroponía puede reducir el consumo de agua en la agricultura hasta en un 90% en comparación con la agricultura tradicional, Según el Water Footprint Network, la hidroponía puede reducir el consumo de agua en la producción de lechugas hasta en un 90% en comparación con la agricultura tradicional esto significa que se necesitan 10 veces menos agua para cultivar lechugas hidropónicas que lechugas en suelo, donde en la República Dominicana, se estima que la hidroponía podría reducir el consumo de agua en la agricultura entre un 60% y un 75%, teniendo en cuenta factores que podrían alternar estos porcentajes como, el tipo de sistema hidropónico, el tipo de cultivo, el manejo del sistema hidropónico y el clima.

La magia de la hidroponía es que permite un mejor aprovechamiento del recurso del agua ya que solo se consume lo que los cultivos necesitan, pues el agua no utilizada se puede recircular, donde en la agricultura tradicional, el agua no consumida por los cultivos se desperdicia, tenemos aquí en República Dominicana un

porcentaje de agua desperdiciada de 70%, lo cual podríamos disminuir hasta un 65% dejando un margen de error de 5%.

Por otro lado, las luces artificiales se han convertido en una herramienta valiosa para la hidroponía, permitiendo optimizar el crecimiento y desarrollo de las plantas en un lugar controlado, la República Dominicana, con su clima tropical y estaciones bien definidas, encuentra en la hidroponía con luces artificiales una alternativa viable para la producción de hortalizas de alta calidad durante todo el año, vimos una tabla que nos muestra los días nublados por zonas.

Las luces artificiales permiten extender el fotoperíodo, es decir, la cantidad de horas de luz que las plantas reciben al día, esto nos ayuda a brindarles el tiempo que necesitan exactamente, en la República Dominicana, estudios encontraron que la aplicación de iluminación LED durante 18 horas al día durante 45 días aumentó significativamente el rendimiento de la lechuga hidropónica en un 53% en comparación con el tratamiento sin iluminación artificial.

Con la ayuda de sensores y la implementación de la electrónica, lograremos un ambiente controlado donde, podemos ver en tiempo real valores como la temperatura, el PH, la conductividad eléctrica, la luminosidad. También, nos va a permitir controlar la temperatura y la electrónica de manera manual.

Con todo esto lograremos un % menor en el uso del agua al implementar la hidroponía, quitarnos la dependencia del sol, al tener luces artificiales, evitar el uso de pesticidas al tener todo controlado y bajar el % de enfermedades.

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

El objetivo de este estudio es diseñar, desarrollar e implementar un sistema hidropónico NFT que permita un control integral de variables como el pH, la

conductividad eléctrica, la luz y otros factores ambientales, con el fin de optimizar el crecimiento y rendimiento de los cultivos, sobre todo de las lechugas.

Objetivos Específicos

1. **Aumentar la velocidad de crecimiento de las hortalizas.**
2. **Minimizar la incidencia de bacterias, hongos y deficiencias de nutrientes mediante un riguroso control:** Se busca implementar un sistema hidropónico que permita reducir al máximo los problemas que afectan el crecimiento y desarrollo de los cultivos, asegurando un ambiente controlado que disminuya la presencia de bacterias, hongos y deficiencias nutricionales.
3. **Eliminar el uso de pesticidas:** Mediante la adopción de un sistema hidropónico, se pretende eliminar la necesidad de utilizar pesticidas al prescindir del suelo como sustrato de cultivo, lo que reduce significativamente la presencia de bacterias y hongos que podrían afectar los cultivos.
4. **Optimizar el uso del agua en la agricultura:** Se propone reducir el porcentaje de agua utilizado en la agricultura tradicional, especialmente en la República Dominicana, donde se desperdicia una cantidad considerable de agua, mediante la implementación de un sistema hidropónico más eficiente y sostenible en el uso de este recurso vital.
5. **Independizarse de la radiación solar:** Se busca no depender exclusivamente de la luz solar para el crecimiento de los cultivos, mediante la incorporación de iluminación artificial en el sistema hidropónico, lo que garantizará un suministro constante de luz independientemente de las condiciones climáticas.

1.5. Variables e Indicadores

1.5.1. Producción

- **Cantidad de lechugas cosechada:** 4 por ciclo de cultivo.
- **Tiempo de crecimiento:** de 25 a 30 días.

1.5.2. Eficiencia del sistema

- **Consumo de agua:** 1 a 2 litros de agua x Lechuga
- **Consumo de energía:** Con luces encendidas 0.345kW, sin luces encendidas 0.153kW.

1.5.3. Escala del sistema

- **Superficie de cultivo:** 60 cm
- **Producción anual:** Con una producción de 4 unidades por ciclo, 250 días laborables al año y un ciclo de 25 días, la producción anual sería de 40 unidades, si se trabaja todos los días del año, sin descanso la producción anual sería de 58.4 unidades con una producción de 4 unidades por ciclo y un ciclo de 25 días.
- **Producción a futuro:** Si utilizamos 1,500 cm tendríamos 100 unidades por ciclo con una producción de 250 días laborables al año y un ciclo de 25 días, la producción anual sería de 1000 unidades, Si se utiliza todos los días del año, sin descanso la producción anual sería de 1460 unidades con una producción de 100 unidades por ciclo y un ciclo de 25 días.

1.5.4. Otros Indicadores Relevantes

- **Eficiencia del uso de nutrientes:** 100%.
- **Incidencia de plagas y enfermedades:** Se estima que sea 0%.

2. Fundamentos Teóricos

2.1. Historia y Aportes de la Fisiología Vegetal a Través del Tiempo

La hidroponía es un tipo de horticultura, un método que utiliza soluciones minerales nutritivas en lugar de labranza. Los ejemplos más antiguos de hidroponía se remontan a las pinturas en los muros del templo egipcio Deir El Bahari, de más de cuatro mil años durante el siglo VI a. C., en Babilonia, la hidroponía se utilizaba para cultivar principalmente flores ornamentales plantas.

En la América precolombina, alrededor de los siglos X y XI d.C., los mexicanos y la cultura azteca desarrolló la chinampa para cultivar en los lechos de los lagos poco profundos del valle de México y se cree que se practica en toda Mesoamérica.

Imagen 1.

Chinampa, cultura azteca



Nota. Ilustración de cómo se cultivaba en los lechos de los lagos, en la cultura azteca.

Situado en las afueras del sur de la Ciudad de México, la red milenaria de canales de Xochimilco y las islas artificiales ensalzan el ingenio del pueblo azteca para crear un hábitat sostenible fuera de un humedal, además, personifica el potencial

de la AU como fuente de alimento sostenible y como elemento influyente en el bienestar tanto social como ambiental.

Como consecuencia, la UNESCO reconoció este hidrosistema como Patrimonio de la Humanidad.

El desarrollo de la hidroponía ha ido a la par de nuestra comprensión de Fisiología de las plantas. En 1600, Jean Baptiste Van Helmont, un científico belga, realizó una serie de experimentos para demostrar que las plantas pueden obtener algunos nutrientes del agua.

Imagen 2.

Experiencia de Van Helmont



Nota. Ilustración sobre el experimento donde se mostró que las plantas pueden obtener nutrientes del agua, realizado por Van Helmont.

Noventa y nueve años más tarde, el científico británico John Woodward cultivó plantas suspendidas sobre agua con soluciones y descubrió que las plantas crecían mejor en soluciones enriquecidas con fertilizantes.

Más tarde, en 1800, los científicos franceses De Saussure y Boussingault demostraron que las plantas necesitan carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno para crecer sano. Luego, en 1860, Sachs y Knop, en Alemania añadió fósforo, azufre, potasio, calcio y magnesio a la lista de Saussure y Boussingault, y cultivaron plantas en soluciones acuosas que contenían sales de estos elementos.

Desde entonces, los avances científicos en el campo de la fisiología vegetal han llevado al conocimiento que otros elementos como manganeso, molibdeno, cloro, hierro, zinc, cobre y el boro, generalmente conocido como micronutrientes, es necesario para el crecimiento saludable de las plantas.

Después de ver un poco de la historia de la hidroponía ahora debemos saber qué hacer para que el sistema funcione y las plantas crezcan bien, hay que conocerlas un poco, también conocer qué necesitan para estar sanas y cómo funcionan los sistemas hidropónicos, de donde provienen y cuáles son sus descubrimientos.

Antecedentes Internacionales

(Cebada et al, 2018) Desarrolló un sistema eficiente para la producción de lechugas (*Lactuca Sativa L.*), cuyo objetivo general fue desarrollar una estrategia de producción considerando el control climático y Técnico de una Película de Nutrientes (NFT) para aprovechar superficies no cultivables por método tradicional de lechuga (*Lactuca sativa L.*), estableciendo los tratamientos bajo invernadero+sistema NFT (T1); y sistema NFT a campo abierto (T2), y se evaluó el efecto de la temperatura en el largo y ancho de las hojas, contenido de clorofila y peso fresco de lechuga.

(Ponce et al, 2017) Diseñó un prototipo funcional de un invernadero hidropónico inteligente que permite cultivar frutos, como el jitomate, durante cualquier época del año, manipulando variables específicas como la temperatura y la

humedad del microclima dentro del invernadero, cuyo objetivo general fue analizar las partes que componen el prototipo como es la estructura del invernadero.

(Sadek et al, 2024) Diseñó sistemas de invernaderos hidropónicos y aeropónicos inteligentes automatizados utilizando tecnología del Internet de las Cosas (IoT), cuyo objetivo general fue mejorar la producción agrícola sostenible. Estos sistemas buscaban maximizar el uso eficiente de agua, energía y fertilizantes agrícolas para lograr la máxima productividad de plantas libres de pesticidas.

2.2. Antecedentes Nacionales

(Rodriguez, s.f.) Implementó la hidroponía en sus tierras para producir verduras el nombre de su empresa es Invernadero JR.

2.3. Marco Conceptual y Contextual

2.3.1. *Las Plantas*

2.3.1.1. La Semilla: El Inicio de la Vida.

Todo empieza con una semilla. Es como una planta en miniatura que está dormida tiene comida almacenada y una capa que la protege cuando la semilla absorbe agua y encuentra la temperatura ideal, se despierta y empieza a crecer.

Cada tipo de planta necesita condiciones diferentes para germinar, pero las que se usan en los sistemas hidropónicos, como el jitomate, el pepino y el pimiento morrón, necesitan condiciones muy parecidas.

La temperatura y el tiempo de germinación están intrínsecamente ligados, ya que la mayoría de las plantas pueden germinar en un rango de temperatura que va desde los 18° hasta los 30° C. Sin embargo, tanto temperaturas extremadamente bajas como altas pueden ralentizar el proceso, por lo que se considera que la temperatura óptima para la germinación es alrededor de los 25° C.

La humedad es un factor crucial para iniciar la germinación de las semillas. Es necesario mantener un nivel adecuado de humedad, lo que implica regar las semillas de manera constante y proporcionar una ventilación adecuada para asegurar una buena oxigenación.

Una vez que las plántulas emergen, es esencial trasplantarlas al lugar donde continuarán su crecimiento este proceso varía según la especie de la planta; por ejemplo, en el caso de la lechuga, se considera adecuado el trasplante cuando alcanzan una altura de aproximadamente 10 cm a 15cm, es importante conocer las características específicas de cada planta para realizar el trasplante de manera efectiva.

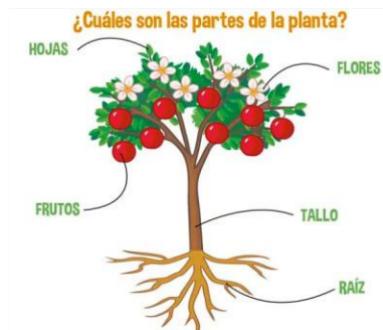
Desde el momento en que emergen las plántulas, es necesario comenzar a alimentarlas con una solución nutritiva adecuada, que se detallará más adelante en el proceso.

La cantidad correcta de luz es crucial para el desarrollo adecuado de las plantas si las plántulas se estiran excesivamente al emerger, es una señal de que no están recibiendo suficiente luz se recomienda utilizar fuentes de luz externas como las lámparas de descarga de alta intensidad (HID) para suplementar la luz natural de ser necesario.

La oxigenación también es fundamental para el crecimiento saludable de las plantas es importante garantizar una circulación adecuada de aire para mantener niveles óptimos de oxígeno por lo general, esto no suele ser un problema, a menos que las plantas estén confinadas en recipientes sin ventilación adecuada.

Imagen 3.

Partes de la planta



La planta se compone de cinco partes fundamentales: raíz, tallo, hojas, flores y fruto.

2.3.1.1.1. La Raíz.

Generalmente subterránea y sin hojas, crece en dirección opuesta al tallo y cumple la importante función de fijar la planta al suelo, además de absorber agua y sales minerales.

2.3.1.1.2. El Tallo.

Por su parte, actúa como eje que sostiene las hojas, flores y frutos, siendo la vía principal para el transporte de agua y nutrientes entre las raíces y las hojas.

2.3.1.1.3. Las Hojas.

De forma laminares o aciculares, principalmente contienen tejido fotosintético y son responsables de la transpiración, facilitando así la absorción de agua y nutrientes desde las raíces. Además, pueden adaptarse para almacenar agua u otros propósitos.

2.3.1.4. *La Flor.*

Característica de las plantas fanerógamas, tiene como función principal la producción de semillas mediante la reproducción sexual, que son esenciales para la perpetuación y propagación de la especie.

2.3.1.5. *El Fruto.*

Derivado de la flor o sus partes, alberga las semillas hasta su maduración y luego contribuye a su dispersión.

El fruto se origina a partir del ovario desarrollado y maduro de las plantas con flor, cuya pared, denominada pericarpo, protege las semillas.

2.3.1.2. Funciones Principales de las Plantas

Las plantas son organismos fundamentales para la vida en la Tierra, ya que cumplen con diversas funciones esenciales:

2.3.1.3. Fotosíntesis.

La fotosíntesis es un proceso químico fundamental para la vida en la Tierra, realizado por las plantas, algas y algunas bacterias. Se trata de la conversión de energía luminosa en energía química, mediante la cual las plantas capturan la energía de la luz solar y la utilizan para convertir el dióxido de carbono y el agua en azúcares (glucosa) y oxígeno.

2.3.1.4. Etapas de la Fotosíntesis.

La fotosíntesis se divide en dos etapas principales:

1. **Fase luminosa:** Esta etapa ocurre en las membranas tilacoides de los cloroplastos, donde se encuentran los pigmentos fotosintéticos, como la clorofila. La luz solar es absorbida por estos pigmentos, lo que inicia una serie de reacciones químicas que generan energía en forma de ATP

(adenosín trifosfato) y NADPH (nicotinamida adenina dinucleótido fosfato).

2. **Fase oscura (ciclo de Calvin):** Esta etapa ocurre en el estroma de los cloroplastos. La energía química generada en la fase luminosa se utiliza para fijar el dióxido de carbono del aire y convertirlo en moléculas de glucosa (azúcar). Este proceso no requiere luz solar, de ahí el nombre de "fase oscura".

2.3.1.5. Productos de la Fotosíntesis.

Los principales productos de la fotosíntesis son:

- **Glucosa:** Es el azúcar que utilizan las plantas como fuente de energía para su crecimiento y desarrollo. También puede ser almacenada en forma de almidón o utilizada para construir otros compuestos orgánicos.
- **Oxígeno:** Es liberado a la atmósfera como un subproducto de la fotosíntesis. El oxígeno es esencial para la respiración de todos los seres vivos.

2.3.1.6. Importancia de la Fotosíntesis.

La fotosíntesis es un proceso fundamental para la vida en la Tierra por las siguientes razones:

- **Produce la mayor parte del oxígeno que respiramos:** El oxígeno es esencial para la respiración de todos los seres vivos, desde las bacterias hasta los animales.
- **Es la base de la cadena alimentaria:** La glucosa producida por las plantas es la principal fuente de energía para la mayoría de los organismos vivos. Los herbívoros obtienen la glucosa directamente de las plantas, mientras que los carnívoros la obtienen al comer herbívoros.

- **Regula el clima:** Las plantas absorben dióxido de carbono de la atmósfera, lo que ayuda a regular el clima y a reducir el efecto invernadero.
- **Produce biomasa:** La biomasa vegetal es la base de muchos productos importantes, como alimentos, medicinas, combustibles y materiales de construcción.

2.3.1.7. Factores que Afectan la Fotosíntesis.

La tasa de fotosíntesis se ve afectada por diversos factores, como:

- **Luz solar:** La intensidad y la calidad de la luz solar son factores importantes que afectan la fotosíntesis. Las plantas necesitan una cantidad adecuada de luz solar para realizar la fotosíntesis de manera eficiente.
- **Dióxido de carbono:** El dióxido de carbono es un sustrato esencial para la fotosíntesis. Una mayor concentración de dióxido de carbono puede aumentar la tasa de fotosíntesis hasta cierto punto.
- **Agua:** El agua es necesaria para todos los procesos bioquímicos de la planta, incluida la fotosíntesis. Una cantidad adecuada de agua es esencial para que la fotosíntesis se realice de manera eficiente.
- **Temperatura:** La temperatura óptima para la fotosíntesis varía según la especie vegetal. La mayoría de las plantas fotosintetizan mejor a temperaturas templadas.
- **Nutrientes:** Las plantas necesitan una variedad de nutrientes minerales para realizar la fotosíntesis de manera eficiente. Algunos de los nutrientes más importantes son el nitrógeno, el fósforo y el potasio.

2.3.1.8. Relación con el Medio Ambiente

Las plantas interactúan con su entorno de diversas maneras:

- **Ciclo del agua:** Las plantas absorben agua del suelo a través de sus raíces y la liberan a la atmósfera mediante la transpiración. Esto contribuye al ciclo del agua, que es esencial para la vida en la Tierra.
- **Prevención de la erosión:** Las raíces de las plantas ayudan a anclar el suelo y prevenir la erosión causada por el viento y el agua.
- **Mejora de la calidad del aire:** Las plantas absorben dióxido de carbono y liberan oxígeno, lo que ayuda a mejorar la calidad del aire y a reducir la contaminación.
- **Hábitat para la fauna:** Las plantas proporcionan alimento, refugio y protección para una gran variedad de animales.

2.3.2. *Movimiento de los Nutrientes*

El movimiento de los nutrientes en las plantas es vital para su desarrollo y funcionamiento adecuados. Los minerales esenciales son transportados hacia las áreas donde hay una demanda metabólica alta o donde hay deficiencia de metabolitos, lo que puede ocurrir debido a la intensa actividad metabólica de la planta. Por ejemplo, cuando las raíces son cortadas, se reduce el transporte de nutrientes hacia abajo, lo que puede provocar deficiencias, especialmente de nitrógeno, un elemento crucial para el crecimiento de las hojas y los frutos. Como resultado, las raíces pueden aumentar su actividad para compensar esta falta, mientras que la producción de hojas y frutos puede disminuir.

Las raíces dañadas o expuestas al frío pueden afectar negativamente la tasa fotosintética de la planta, lo que la hace vulnerable a períodos de ajuste durante los cuales puede sufrir daños o incluso morir. En el caso de los árboles, ante condiciones demasiado frías, pueden perder sus hojas para evitar la desecación, y el ápice del tallo puede desarrollar yemas resistentes al agua y a los gases.

En muchas plantas, las partes aéreas pueden morir en respuesta a condiciones adversas como el frío extremo o la sequía, pero si la planta sobrevive en un estado latente bajo tierra, como ocurre con los bulbos, rizomas o tubérculos, puede reanudar su crecimiento cuando las condiciones son favorables nuevamente.

Es esencial proteger a la planta de daños en sus raíces o estructura causados por cambios bruscos de temperatura o manipulación, ya que esto puede agotar sus recursos y energía en tareas de reparación, lo que a su vez puede detener su crecimiento y producción de manera significativa. Por lo tanto, un cuidado adecuado es crucial para garantizar un desarrollo saludable y una producción óptima de las plantas.

2.3.3. *La Temperatura*

La temperatura y el crecimiento de las plantas van de la mano. Por lo general, prosperan mejor en un rango de 18°C a 30°C, pero tanto el calor extremo como el frío pueden frenar su crecimiento. La temperatura ideal para un buen crecimiento se sitúa alrededor de los 25°C.

Cuando las plantas no están realizando fotosíntesis, pueden soportar temperaturas más bajas sin que afecte mucho su desarrollo. Sin embargo, esto no significa que no se vean afectadas en absoluto. Las bajas temperaturas pueden interferir con sus procesos metabólicos y dañar las células, lo que eventualmente puede afectar su crecimiento. Entonces, controlar la temperatura es clave para mantener las plantas saludables y en crecimiento.

2.3.3.1. Importancia de la Temperatura en la Agricultura.

- **Influencia en el crecimiento:** Las plantas tienen un rango de temperatura óptimo para su crecimiento. Si la temperatura está por debajo o por

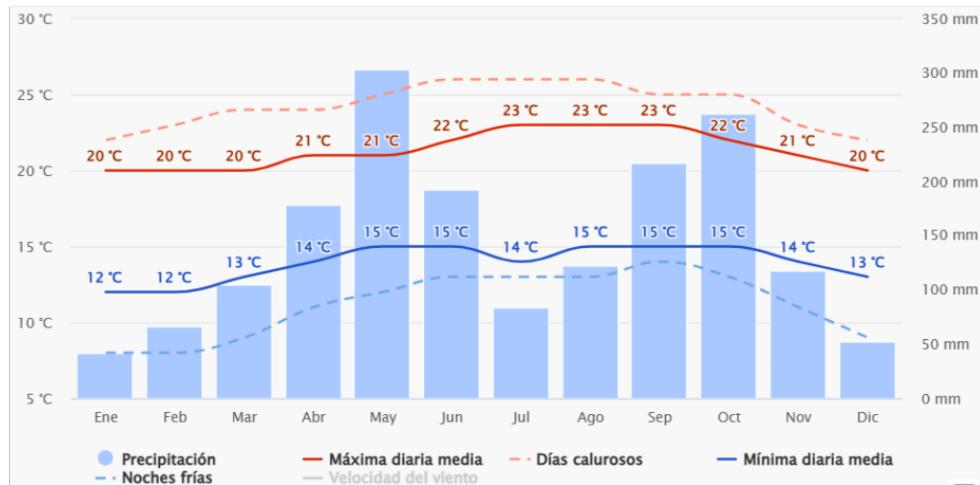
encima de este rango, el crecimiento se ralentiza o se detiene. Las temperaturas extremas pueden incluso dañar o matar las plantas.

- **Efecto en la fotosíntesis:** La fotosíntesis, el proceso por el cual las plantas convierten la luz solar en energía, se ve afectada por la temperatura. La tasa de fotosíntesis aumenta a medida que la temperatura aumenta hasta alcanzar un punto óptimo, y luego disminuye a medida que la temperatura sigue aumentando.
- **Influencia en la respiración:** La respiración es el proceso por el cual las plantas liberan energía. La tasa de respiración aumenta a medida que la temperatura aumenta. Si la temperatura es demasiado alta, la respiración puede consumir toda la energía producida por la fotosíntesis, lo que puede dañar la planta.
- **Efecto en la absorción de agua y nutrientes:** La absorción de agua y nutrientes por parte de las raíces también se ve afectada por la temperatura. La absorción aumenta a medida que la temperatura aumenta hasta un punto óptimo, y luego disminuye a medida que la temperatura sigue aumentando.
- **Influencia en la floración y la fructificación:** La floración y la fructificación de las plantas también se ven afectadas por la temperatura. Algunas plantas requieren temperaturas frías para florecer, mientras que otras requieren temperaturas cálidas. Las temperaturas extremas pueden impedir la floración y la fructificación.

2.3.4. Temperaturas Medias y Precipitaciones en República Dominicana

Gráfico 1.

Temperaturas medias y precipitaciones en República Dominicana



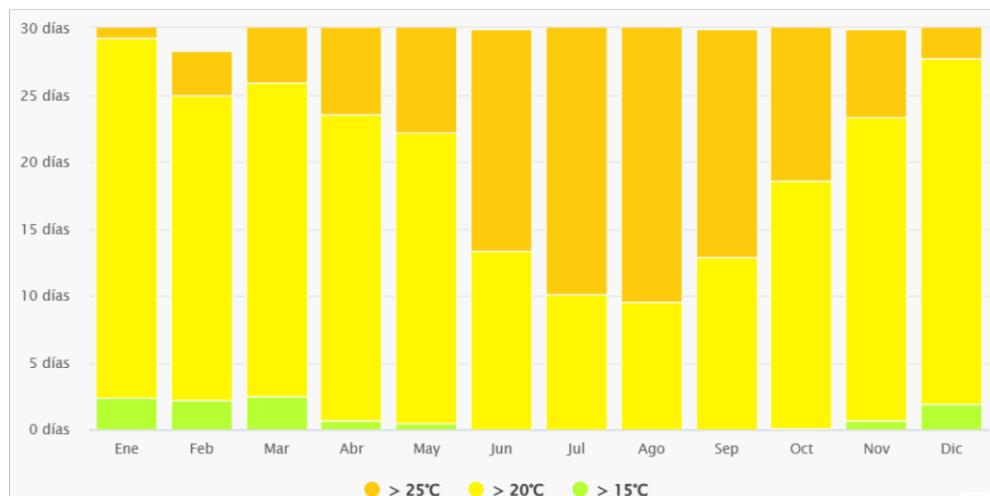
Nota. Datos mensuales de las precipitaciones, noches frías, máxima diaria medida y días calurosos, en la Republica Dominicana.

La "máxima diaria media" (línea roja continua) muestra la media de la temperatura máxima de un día por cada mes de República Dominicana. Del mismo modo, "mínimo diario media" (línea azul continua) muestra la media de la temperatura mínima. Los días calurosos y noches frías (líneas azules y rojas discontinuas) muestran la media del día más caliente y noche más fría de cada mes en los últimos 30 años. Para la planificación de las vacaciones, usted puede esperar temperaturas medias y estar preparado para días más cálidos y fríos.

2.3.5. Temperatura Máxima en República Dominicana

Gráfico 2.

El diagrama de la temperatura máxima en República Dominicana muestra cuántos días al mes llegan a ciertas temperaturas.



Factores que Afectan a la Temperatura del Suelo:

La temperatura del suelo no es constante y está determinada por varias características, como su color, inclinación, cobertura vegetal, compactación, humedad y exposición a la luz solar. La comprensión de sus propiedades físicas y químicas, como la relación entre la humedad y la temperatura, puede prever su comportamiento con precisión.

La cantidad de radiación solar es la principal fuente de calor para el suelo, y esto varía a diferentes profundidades, siendo las capas superiores generalmente más cálidas. La estación del año y las condiciones atmosféricas también influyen en la distribución de energía solar, afectando así la temperatura del suelo. Además, el color oscuro del suelo absorbe más luz solar, calentándose más rápido.

La cobertura del suelo juega un papel importante: la tierra desnuda se calienta más rápidamente que cuando está cubierta, ya sea con mantillo, cultivos de cobertura

o residuos de cultivos. La presencia de materia orgánica también afecta, ya que aumenta la retención de agua y oscurece el suelo, elevando su temperatura.

El ángulo de inclinación del terreno y la presencia de abono y estiércol también influyen en la temperatura del suelo. La humedad también desempeña un papel crucial: los suelos húmedos conducen mejor el calor que los secos, aunque el contenido de agua puede afectar de manera diferente dependiendo de la compactación y densidad del suelo.

La composición y textura del suelo también son determinantes: la arcilla suele tener una mayor capacidad térmica, pero la arena se calienta más rápido debido a su menor porosidad. Sin embargo, estos factores interactúan de manera compleja, y pueden variar según la combinación específica. Por ejemplo, el agua puede tener un efecto contrario en la conductividad térmica del suelo.

2.3.5.1. Propiedades Biológicas.

La temperatura óptima para la actividad biológica del suelo, que se sitúa entre los 50 y 75° F, proporciona un entorno favorable para las diversas funciones de los organismos terrestres. Estas funciones incluyen la descomposición adecuada de la materia orgánica, la mineralización del nitrógeno, la absorción de nutrientes esenciales y el metabolismo general.

En contrapartida, temperaturas cercanas al punto de congelación ralentizan la actividad microbiana, mientras que temperaturas bajo cero son letales para los macroorganismos. La reducción en la actividad microbiana puede resultar en una disminución en la descomposición de la materia orgánica y, eventualmente, en su acumulación excesiva.

2.3.5.2. Propiedades Químicas.

Los suelos bajo condiciones de alta temperatura suelen exhibir una mayor capacidad de intercambio catiónico, atribuible a la descomposición de la materia orgánica. A medida que la temperatura del suelo aumenta, también lo hace su contenido de fósforo soluble en agua, lo que favorece el crecimiento vegetal. Por el contrario, los suelos con temperaturas más bajas tienden a ser deficientes en fósforo. Además, los niveles de acidez tienden a incrementarse en suelos más cálidos, debido a la descomposición de los ácidos orgánicos.

2.3.5.3. Propiedades Físicas.

Las altas temperaturas del suelo pueden inducir la deshidratación de la arcilla y la fragmentación de las partículas de arena, lo que conlleva a una disminución en el contenido de humedad y un aumento en la concentración de limo.

A medida que la temperatura del suelo aumenta, también se incrementa la liberación de dióxido de carbono. Este calor adicional puede ocasionar el agrietamiento del suelo debido a la evaporación, lo que dificulta la penetración del agua en el perfil del suelo y puede tener consecuencias negativas para la retención de agua y la salud general del suelo.

2.3.6. La Luz

La luz es esencial para que las plantas crezcan bien, ya que les proporciona la energía necesaria para llevar a cabo la fotosíntesis, un proceso crucial en su ciclo de vida que abarca desde su crecimiento hasta su reproducción. Inicialmente, se pensaba que la luz solo era necesaria para el crecimiento de las plantas, pero luego se descubrió que también juega un papel fundamental en la absorción de nutrientes del aire, especialmente para sus partes verdes que toman CO₂ de la atmósfera. Además de

producir oxígeno, las plantas absorben agua y convierten elementos inorgánicos en materia orgánica cuando están expuestas a la luz.

La concentración de CO₂ en el entorno de las plantas influye en su tasa fotosintética: si disminuye, la fotosíntesis se reduce. La intensidad de la luz también afecta directamente la tasa de fotosíntesis, y diferentes espectros de luz tienen efectos específicos en la producción de proteínas y carbohidratos en las plantas. Aunque nada supera la luz natural del sol para el cultivo, las nuevas tecnologías de iluminación hacen que cultivar plantas en interiores sea una opción viable, como las lámparas HID (High Intensity Discharge), que proporcionan una alta radiación fotosintéticamente activa para el consumo de energía.

Para asegurar un crecimiento óptimo de las plantas, es importante considerar varios factores relacionados con la iluminación:

Intensidad luminosa: se recomienda una intensidad de 20 a 50 watts por pie cuadrado para una fotosíntesis eficiente.

Fotoperiodo: la mayoría de las plantas crecen mejor con 16 a 18 horas de luz al día, y un exceso de luz no aumenta significativamente su crecimiento. El fotoperiodo también es crucial para estimular la floración y el desarrollo de frutos.

Espectro fotosintético: la luz roja y azul es más efectiva en el proceso de fotosíntesis. Las lámparas HID, como las Metal Halid (MH) y las High Pressure Sodium (HPS), emiten diferentes espectros de color que se adaptan a diferentes etapas de crecimiento y floración de las plantas.

Existen convertidores que permiten modificar el espectro de las lámparas HID para adaptarse mejor a las necesidades de crecimiento y floración de las plantas. Estas tecnologías ofrecen alternativas efectivas para el cultivo de plantas en interiores, complementando la luz natural y garantizando un desarrollo saludable de las plantas.

2.3.7. La Hidroponía

La Real Academia Española (RAE) incluye la palabra "hidroponía" en su diccionario como equivalente a "hydroponics" en inglés. Sin embargo, en la mayoría de los recursos consultados para este proyecto, así como en el lenguaje común, se usa más frecuentemente la forma "hidroponía". Por lo tanto, en este documento se prefiere el término "hidroponía".

El término "hidroponía" se deriva de las palabras griegas "hydro", que significa agua, y "ponos", que se traduce como trabajo, lo que podría interpretarse como "el trabajo realizado por el agua".

La hidroponia es un método de cultivo de plantas que prescinde del suelo tradicional y se basa en el uso de un medio artificial. Este método se fundamenta en la teoría de que los minerales son el principal nutriente de las plantas, los cuales se suministran a través de una solución de agua y sales, conocida como solución nutritiva.

Imagina cultivar tus plantas en un medio artificial, como agua con nutrientes.

¡Eso es precisamente la hidroponía!

2.3.7.1. Ventajas de la Hidroponía:

- Reducción de costos de producción.
- Independencia de los fenómenos meteorológicos.
- Posibilidad de producir cosechas fuera de temporada.
- Requiere menos espacio y capital para una mayor producción.
- Ahorro de agua.
- Prescinde de maquinaria agrícola.
- Mayor higiene en el manejo del cultivo.
- Producción de semillas certificadas.

- Rápida recuperación de la inversión.
- Mayor rapidez en el crecimiento de las plantas.
- Posibilidad de automatización casi completa.
- No provoca riesgos de erosión del suelo.
- Permite la producción en zonas áridas o frías mediante el uso de invernaderos.
- Factible para el cultivo en entornos urbanos.
- Proporciona uniformidad en los cultivos.
- Reduce el uso de pesticidas.
- Reduce las enfermedades en los cultivos.
- Independencia del suelo.

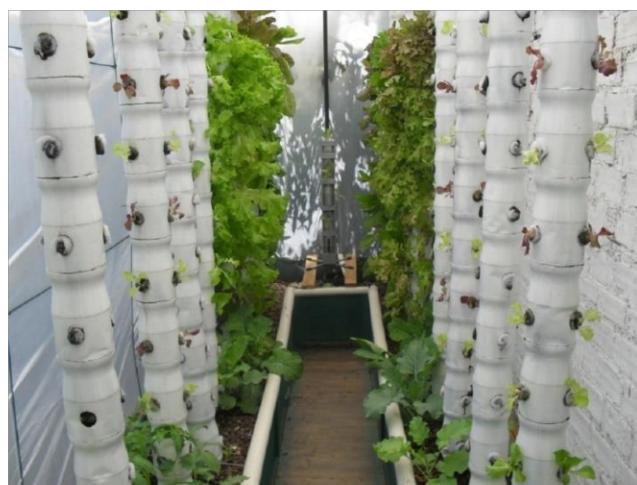
La hidroponía utiliza una variedad de sistemas para suministrar nutrientes a las plantas sin necesidad de suelo.

Algunos de los sistemas más comunes incluyen:

2.3.7.2. Aeroponía:

Imagen 4.

Sistema Aeropónico



La palabra "aeroponía" proviene de la unión de las palabras "aero" (aire) y "ponos" (trabajo). Este sistema revoluciona el cultivo al llevarlo al aire, suspendiendo las raíces de las plantas en el aire. En lugar de suelo, las plantas reciben nutrientes a través de una solución acuosa en forma de fina niebla o rocío. De esta manera, las plantas absorben los nutrientes directamente de la humedad circundante.

2.3.7.2.1. *¿Qué Implica el Método Aeropónico?*

El método aeropónico implica cultivar plantas con las raíces expuestas en el aire, permitiendo que absorban nutrientes de una solución acuosa en forma de fina niebla o rocío.

2.3.7.2.2. *¿Cómo se Lleva a Cabo el Método Aeropónico?*

En el método aeropónico, las raíces de las plantas se suspenden en el aire dentro de un recinto cerrado. Se utilizan pequeñas cestas o tapones de espuma para sostener las plantas, mientras se bombea una solución nutritiva a través de un sistema de pulverización que proporciona los nutrientes necesarios a las raíces.

2.3.7.2.3. *¿Qué se Puede Cultivar en este Método Aeropónico?*

Se recomienda cultivar cultivos de hojas y aromáticas, como lechuga, acelga, rúcula, menta, apio, perejil, orégano y kale, entre otros, ya que las raíces están suspendidas en el aire y no soportarían cultivos pesados.

2.3.7.2.4. *¿Quiénes Pueden Implementar el Método Aeropónico?*

Cualquier persona interesada en producir alimentos de manera sustentable y eficiente puede implementar el método aeropónico. No se requiere de mucha experiencia previa, solo dedicación y cuidado.

2.3.7.2.5. ¿Cuál es el Mantenimiento Necesario para el Método

Aeropónico?

Es necesario realizar un monitoreo periódico del sistema para abordar posibles problemas de plagas y enfermedades. Además, se deben realizar labores culturales como el raleo de plantas y el deshoje de hojas enfermas. También se debe mantener el sistema de pulverización para asegurar que las raíces reciban adecuadamente los nutrientes.

2.3.7.2.6. Ventajas.

- Tener que mantener el espacio de las raíces aisladas ayuda a aislar las plantas de enfermedades e infecciones (lo que significa que se usan menos pesticidas).
- En caso de infección local podemos quitar las plantas afectadas y evitar que se extienda. Si utilizamos hidroponía el agua puede extender las plagas muy rápidamente.
- Aprovecha muy bien el agua, ya que cada cultivo necesita mucha menos agua que en cultivos en suelo convencionales y algo menos que en hidroponía. Un cultivo NFT circula un litro por minuto de media, mientras que un aeropónico usa 1,5 mililitros en el mismo tiempo.
- ¡El crecimiento más rápido posible! Ejemplo de la NASA con tomates: Un cultivo tradicional puede dar una o dos cosechas al año, la aeroponía 6.
- Tener tanto control sobre las condiciones de las raíces hace que podamos cultivar virtualmente cualquier cosa.

2.3.7.2.7. Desventajas.

- El costo es mucho mayor, ya que requiere un mejor aislamiento del espacio donde tenemos las raíces, el sistema de pulverización de agua y temporizadores, entre otros.
- Si pretendemos construirlo nosotros, también es más complejo, ya que además de una bomba puede que tengamos que ocuparnos de la presión y que se pulverice el agua correctamente.

Un fallo en el sistema puede suponer un desastre para nuestras plantas en muy poco tiempo. Suele ser recomendable tener un sistema de emergencia (generalmente hidropónico), con las complicaciones que conlleva.

2.3.7.3. Sistema de Raíz Flotante

Imagen 5.

Sistema de raíz flotante



2.3.7.3.1. ¿Qué Implica el Método de Raíz Flotante?

El método de raíz flotante consiste en una técnica de cultivo acuático en la cual las plantas se desarrollan con su parte aérea flotando sobre una plataforma de Telgopor, que se mantiene en la superficie dentro de un recipiente. En este sistema, las

raíces de las plantas permanecen sumergidas en una solución nutritiva en todo momento.

2.3.7.3.2. *¿Cómo se Lleva a Cabo?*

El propósito principal de este método es proveer a las plantas los elementos esenciales para su crecimiento y desarrollo, como temperatura, humedad, agua y nutrientes. En contraste con la agricultura tradicional en campo abierto, este sistema permite un control más preciso de las condiciones ambientales y ofrece protección contra posibles amenazas como plagas y enfermedades. Es relevante destacar que en este método de cultivo hidropónico no se utiliza ningún tipo de sustrato, solo agua y solución nutritiva. Es crucial que las raíces permanezcan sumergidas en el agua en todo momento para garantizar el suministro adecuado de nutrientes.

2.3.7.3.3. *¿Qué se Puede Cultivar con este Método?*

Se sugiere cultivar principalmente aquellos cultivos de desarrollo superficial, como las verduras de hoja y las hierbas aromáticas. No se recomienda cultivar plantas de gran peso, ya que se mantienen flotando sobre una plancha de telgopor. Entre los cultivos más adecuados para este sistema se encuentran la lechuga, la acelga, la rúcula, la menta, el apio, el perejil, el orégano y el kale, entre otros.

2.3.7.3.4. *¿Quiénes Pueden Implementarlo?*

Cualquier persona interesada en producir alimentos de manera sostenible y con requerimientos mínimos puede llevar a cabo este método. Solo se necesita disposición y dedicación.

2.3.7.3.5. *¿Cuál es el Mantenimiento Necesario?*

Es crucial realizar un monitoreo regular durante el ciclo de cultivo para detectar y abordar de manera temprana posibles problemas como plagas y enfermedades, tomando las medidas pertinentes a tiempo. Al finalizar el ciclo, pueden

llevarse a cabo labores culturales como el raleo en el caso de la lechuga, así como la eliminación de hojas enfermas o de mala calidad.

2.3.7.3.6. ¿Qué Materiales se Requieren para Ponerlo en Práctica?

- Un recipiente, contenedor o cajón de plástico adecuado.
- Una bomba de aire para acuarios.
- Aproximadamente un metro de manguera (según el tamaño del recipiente).
- Una plancha de Telgopor con medidas apropiadas al recipiente utilizado.
- Agua y solución nutritiva.
- Plantines en espuma fenólica.

2.3.7.3.7. Solución Nutritiva.

Tabla 3.

Tabla Solución Nutritiva

SOLUCION NUTRITIVA	
Sal	Cantidades (gramos)
Nitrato de Calcio	99
Sulfato de Magnesio	49,5
Nitrato de Potasio	9,13
Dihidrogeno Fosfato de Potasio	13,6
Sulfato de Potasio	45,13
Quelato de hierro	3
Sulfato de Manganeso	0,19
Ácido Bórico en polvo	0,25
Sulfato de zinc	0,03
Sulfato de cobre	0,007
Molibdato de Sodio	0,0012

Aclaración: Las cantidades de sal son para 100 litros de agua.

2.3.7.3.8. Ventajas.

- Permite acortar el ciclo de cultivo y obtener cosechas más rápidas, como por ejemplo, la lechuga que puede cosecharse en un mes y medio.

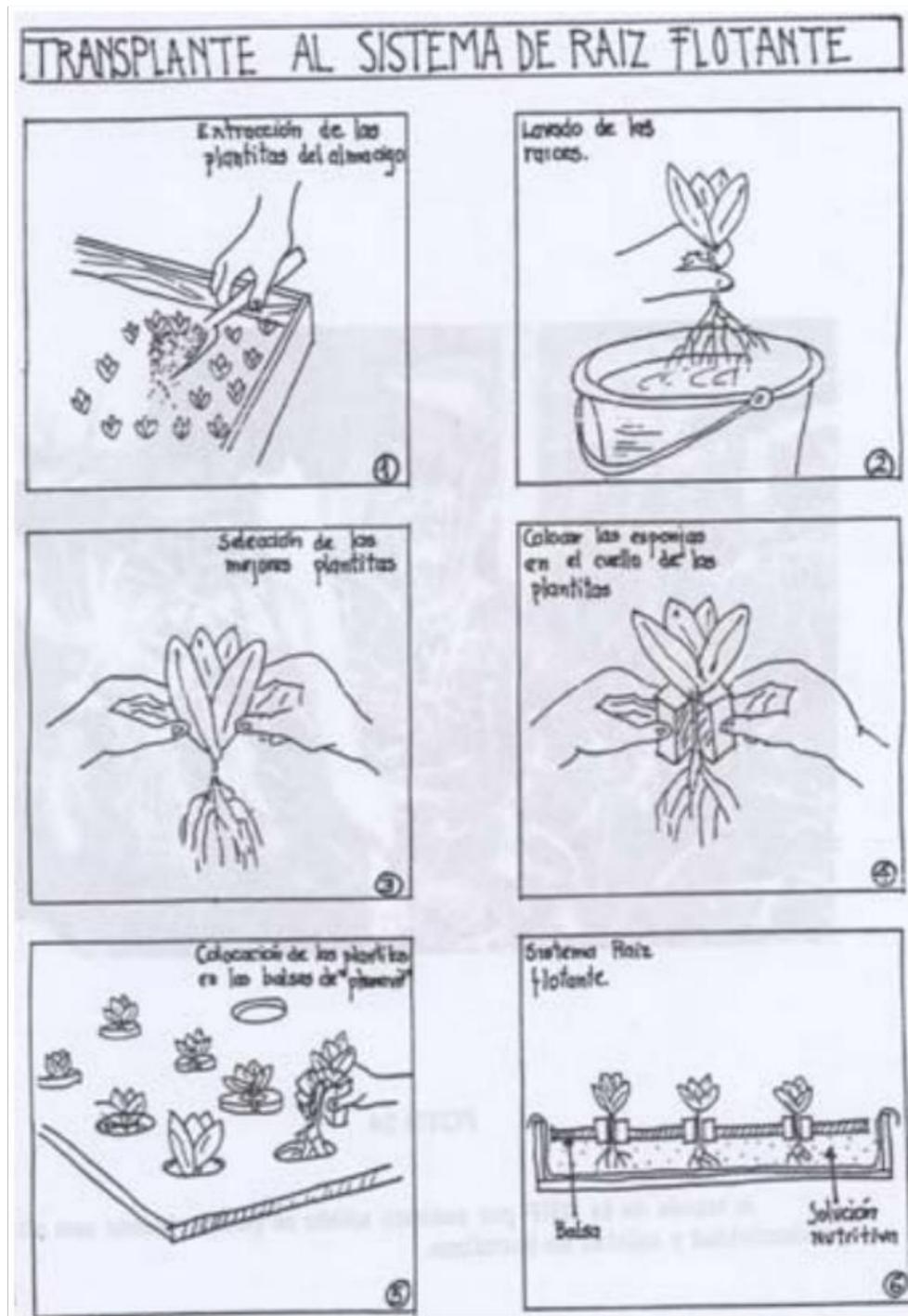
- Produce cultivos con mejor sanidad, sabor y tamaño en comparación con la agricultura tradicional.
- Permite un ahorro significativo de agua en comparación con otros métodos de cultivo.
- Es de fácil manejo y no requiere de una capacitación extensa para implementarlo.
- Genera ahorro en insumos agrícolas y permite una mayor eficiencia en el uso de fertilizantes, reduciendo los desperdicios.
- Permite una mayor producción en un espacio reducido.
- Contribuye a la producción sustentable de alimentos y al cuidado del medio ambiente.
- Requiere una inversión inicial baja en comparación con otros sistemas de cultivo.
- Produce alimentos de mayor calidad, lo que puede generar un mayor ingreso por su venta.

2.3.7.3.9. *Desventajas.*

- No todos los cultivos son adecuados para este método, lo que limita la variedad de productos que se pueden cultivar.
- Requiere un monitoreo diario por parte del hidrocultor, ya que las plantas dependen completamente de su cuidado.
- La falla o daño en la bomba de agua puede ocasionar la muerte de las plantas si no se detecta a tiempo.
- La inversión en la compra de plantines puede no ser práctica para producciones a gran escala.

Imagen 6.

Imagen de manera demostrativa de cómo hacer un trasplante a raíz flotante.



2.3.7.4. Sistema NFT (Nuestro sistema)

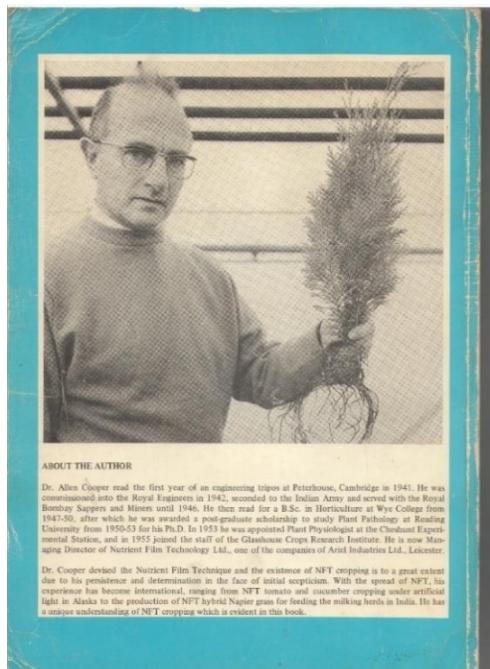
2.3.7.4.1. *Antecedentes.*

Los antecedentes del sistema de recirculación de solución nutritiva "NFT" - Nutrient Film Technique -, se remontan al Glasshouse Crop Research Institute en Inglaterra durante la década de los sesenta. Este método hidropónico implica el constante flujo de una delgada capa de solución nutritiva a través de las raíces de las plantas, sin que haya pérdida o salida al exterior de la solución, lo que lo convierte en un sistema cerrado. A diferencia de otros sistemas hidropónicos donde se utiliza sustrato, en el sistema NFT las plantas se cultivan sin suelo, suspendidas en canales de cultivo con o sin contenedores de soporte. Para que funcione adecuadamente, se requiere una pendiente en la superficie de cultivo que permita la recirculación de la solución nutritiva.

Inicialmente desarrollado por el Dr. Allan Cooper, el sistema consistía en un complejo circuito de canales de concreto con dos bombas para mantener el flujo de la solución nutritiva. Con el tiempo, el diseño se simplificó utilizando una sola bomba, aunque se continuó utilizando canales de cemento por un tiempo. Este sistema se popularizó como alternativa a la producción en suelo bajo invernadero, especialmente en países del norte de Europa, donde se cultivaban hortalizas frescas de alta calidad, como lechugas y tomates.

Imagen 7.

Dr. Allan Cooper



ABOUT THE AUTHOR

Dr. Allan Cooper read the first year of an engineering tripos at Peterhouse, Cambridge in 1941. He was commissioned into the Royal Engineers in 1942, seconded to the Indian Army and served with the Royal Bengali Horse in Malaya from 1944-45 and in Burma in 1945-46. He was demobilized in October 1947-50, after which he was awarded a post-graduate scholarship to study Plant Pathology at Reading University from 1950-53 for his Ph.D. In 1953 he was appointed Plant Physiologist at the Cheshunt Experimental Station, and in 1955 joined the staff of the Glasshouse Crop Research Institute. He is now Managing Director of Nutrient Film Technology Ltd., one of the companies of Aral Industries Ltd., Leicester.

Dr. Cooper devised the Nutrient Film Technique and the existence of NFT cropping is to a great extent due to his vision and determination in the face of initial scepticism. With the spread of NFT, his expertise has become international, ranging from NFT research and research cropping under artificial light in Alaska to the production of NFT hybrid Napier grass for feeding the milking herds in India. He has a unique understanding of NFT cropping which is evident in this book.

Hoy en día, el sistema NFT se está implementando en zonas áridas de América Latina y puede adaptarse a diversas condiciones agroecológicas. Requiere un conocimiento previo de las técnicas hidropónicas y una inversión mayor en comparación con otros sistemas. Aunque su implementación inicial puede ser costosa y se necesita personal capacitado en química para la preparación de soluciones nutritivas, con el tiempo puede ser competitivo con otros sistemas de cultivo. La transferencia tecnológica y la capacitación son clave para el éxito del sistema NFT.

Una de las ventajas que ofrece el sistema "NFT" es su mayor eficiencia en cuanto a la utilización de los elementos minerales esenciales para el crecimiento de las plantas, de agua y oxígeno. En contraste a los sistemas hidropónicos populares de sustrato sólido o a "raíz flotante", el "NFT" maximiza el contacto directo de las raíces con solución nutritiva que es constantemente renovada y por ende el crecimiento es acelerado siendo posible obtener en el año más ciclos de cultivo. Con la ausencia de

sustrato se evitan las labores de desinfección de éste, así como se favorece el establecimiento de una alta densidad de plantación

2.3.7.4.2. *Componentes y Materiales del Sistema "NFT".*

El sistema básico "NFT" se constituye de cinco elementos iniciales:

- **Estanque colector.**
- **Canales de cultivo.**
- **Bomba.**
- **Red de distribución.**
- **Tubería colectora.**

A continuación, se detallan las características más relevantes de cada elemento y los materiales factibles de utilizar para su implementación.

2.3.7.4.3. *Estanque Colector.*

La función principal del estanque colector es almacenar la solución nutritiva durante todo el ciclo de cultivo. Existen diversas opciones de contenedores que pueden desempeñar esta función, pero la selección debe basarse en consideraciones como el material, el tamaño y el aislamiento. Es fundamental realizar pruebas previas para evaluar la compatibilidad del material del contenedor con la solución nutritiva, observando cualquier signo de corrosión o cambio de color tanto en el estanque como en la solución. Si se detecta algún problema, el estanque no debería ser utilizado.

En caso de contar con contenedores de metal o asbesto, se recomienda aplicar una capa de pintura epóxica en su interior para evitar la corrosión. Aislarn internamente los estanques metálicos con polietileno de alta densidad no es aconsejable, ya que es una tarea complicada y puede resultar insegura debido al riesgo de futuras roturas del polietileno. Preferiblemente, los estanques colectores deben estar fabricados de PVC o fibra de vidrio tratada contra sustancias tóxicas. Aunque estos últimos son más

costosos, representan una inversión duradera en términos de durabilidad. No se recomienda ubicar los estanques por debajo del nivel del suelo en áreas donde el nivel freático pueda ser un problema, ya que esto podría provocar levantamientos y daños en la instalación.

En el mercado se pueden encontrar estanques de segunda mano a precios reducidos. En estos casos, es importante investigar qué tipo de sustancia se almacenó originalmente en el estanque, ya que podría ser tóxica para las plantas, incluso después de múltiples lavados, debido a posibles residuos de la sustancia inicial.

Imagen 8.

Nuestro estanque de agua, de PVC



2.3.7.4.4. ¿Qué Factores Influyen en el Tamaño del Estanque?

- **Número de plantas:** Cuantas más plantas tengas, más solución nutritiva necesitarás.
- **Especie para cultivar:** Algunas plantas, como los tomates, requieren más agua que otras, como las lechugas.
- **Época del año:** En verano, las plantas generalmente consumen más agua que en invierno.

- **Modalidad de corrección química:** Si utilizas un sistema de corrección manual, necesitarás un estanque más grande para almacenar la solución nutritiva extra que prepararás.

2.3.7.4.5. Ejemplos Prácticos.

- **Tomate:** En pleno crecimiento durante el verano, una planta de tomate consume aproximadamente 2.5 litros de solución nutritiva diluida por día. Para 100 plantas, necesitarás un estanque con capacidad para 250 litros por día.
- **Pepino:** En época de fructificación, una planta de pepino requiere alrededor de 3 litros de solución nutritiva por día. Para 50 plantas, necesitarás un estanque con capacidad para 150 litros por día.
- **Lechuga:** El consumo de agua de una planta de lechuga varía, pero en promedio es de 0.3 litros por día. Para 1,000 plantas, necesitarás un estanque con capacidad para 300 litros por día.

2.3.7.4.6. Volumen Remanente.

Es importante considerar que la bomba no debe dejar de funcionar, por lo que se debe dejar un volumen remanente de solución nutritiva en el estanque. Este volumen debe ser suficiente para que la bomba funcione durante un período de tiempo razonable en caso de un corte de energía o un fallo en el sistema.

Por otra parte, no sólo es necesario dimensionar la capacidad del estanque en base al volumen requerido de solución según las necesidades fisiológicas de la planta en particular y la época del año, sino también en relación con el volumen remanente en el estanque, el cual asegura que la bomba no deje de funcionar. En la siguiente tabla se describe un ejemplo de cómo calcular la dimensión del estanque según la especie en cultivo. Para producir 1.200 lechugas en 50 m^2 , el estanque debería

contener al menos 450 litros de solución. Además, no se debe olvidar que al momento de elegir el tamaño del estanque se deberá contemplar si a futuro se trabajará con mayores superficies o con otra especie de mayor demanda hídrica.

Tabla 4.

Volumen, densidad y capacidad de los cultivos.

Cultivo	Volumen aproximado de solucion consumida 1 planta /dia (1)	Densidad de plantacion planta/m al cuadrado	capacidad aproximada del estanque l/m al cuadrado (2)
Lechuga	0,3	24	9
Tomate	2,5	5	16
Pepino	2,0	5	19

Nota. (1) para una planta en su máximo estado de desarrollo. (2) Valor que, al multiplicarse por la superficie real de cultivo, estima el tamaño del estanque. Se considera un 25% del volumen consumido como remanente.

Cuando se utiliza un estanque de capacidad reducida, el volumen de la solución disminuirá rápidamente, lo que requerirá correcciones frecuentes en la solución. En algunos casos, estas correcciones pueden llegar a ser necesarias más de una vez al día, lo que hace que el sistema sea prácticamente inoperable. Por esta razón, es importante contar con instrumentos de control manual de la solución nutritiva y asegurarse de que el volumen de la solución sea al menos el doble de los requerimientos diarios del cultivo.

Por otro lado, si se dispone de un estanque colector de gran capacidad, los cambios de temperatura en la solución nutritiva serán más gradual, especialmente en áreas con grandes fluctuaciones de temperatura entre el día y la noche, como en zonas con veranos calurosos o en cultivos bajo invernadero. En tales condiciones, el uso de un estanque pequeño puede provocar un aumento significativo de la temperatura de la solución, lo que puede dañar irreversiblemente las raíces y afectar el cultivo.

La adecuada aislación del estanque colector es otro aspecto importante para mantener la calidad de la solución. Mantener el estanque cubierto ayuda a prevenir el

crecimiento de algas, que pueden consumir oxígeno y contaminar la solución con restos orgánicos. Por lo tanto, es esencial que el estanque esté cubierto con una tapa que sea fácil de quitar y permita el paso del tubo colector hacia el interior del estanque. En caso de adquirir un estanque sin tapa, se recomienda fabricar una tapa utilizando polietileno coextruido, con la cara interna de color negro para evitar la entrada de luz y la externa de color blanco opaco para evitar el calentamiento de la solución.

2.3.7.4.7. *Canales de Cultivo.*

El sistema "NFT" se distingue por su uso exclusivo de agua con sales minerales disueltas, sin necesidad de utilizar ningún tipo de sustrato. En este sistema hidropónico, las plantas se sostienen gracias al tipo de contenedor utilizado y al canal de cultivo, que también cumple la función de permitir el paso eficiente de la solución nutritiva.

Los canales de cultivo tienen dos funciones principales de igual importancia. Por un lado, proporcionan el soporte necesario para las plantas y sus contenedores. Por otro lado, permiten que la solución nutritiva circule de manera fluida a través de ellos. Por esta razón, se recomienda el uso de canales de sección rectangular, ya que esta forma ayuda a mantener una lámina de solución uniforme a lo largo del canal. Además, es importante que la superficie de los canales sea lisa para facilitar el movimiento rápido de la solución.

Existen diferentes tipos de canales de cultivo según la especie que se vaya a cultivar. Para plantas de tamaño pequeño, como la lechuga, se aconseja utilizar canales de baja altura que permitan sujetar la planta y su contenedor. Estos canales suelen recubrirse con materiales aislantes de bajo costo y fácil reposición, como el poliestireno expandido.

En el caso de cultivos de crecimiento alto, como el tomate, se requieren canales que puedan sostener tanto el desarrollo aéreo como radical de las plantas y sus contenedores. Por lo general, se utilizan mangas abiertas de polietileno coextruido formando un canal sostenido. Este material es reutilizable y se limpia fácilmente antes de cada cultivo. Estos canales son ideales para especies como tomate, pimiento, berenjena, melón, pepino y calabacín.

Imagen 9.

Canal confeccionado con polietileno para cultivos altos, por ejemplo, para tomate.



Imagen 10.

Canal conformado por polietileno coextrusado, especialmente utilizado para cultivos altos, como, por ejemplo: pepino



Imagen 11.

Canales de cultivo en PVC de sección semicircular (tomate, pepino, pimentón, melón, etc.)



Imagen 12.

Cubierta de poliestireno expandido para varios canales de cultivo



2.3.7.4.8. Bomba.

La bomba es uno de los componentes más importantes del sistema hidropónico NFT, y requiere especial atención tanto en su elección como en su funcionamiento. Su función principal es impulsar la solución nutritiva de manera constante desde el estanque colector hasta la parte superior de los canales de cultivo.

2.3.7.4.9. ¿Por qué es Tan Importante la Bomba?

- **Determina el éxito del cultivo:** Una falla en la bomba puede detener el flujo de solución nutritiva, dejando a las plantas sin los nutrientes

necesarios para sobrevivir. Esto puede ocasionar graves daños e incluso la pérdida total del cultivo.

- **Influye en los costos de producción:** La elección de la bomba adecuada no solo impacta en la inversión inicial, sino también en los gastos posteriores de operación y mantenimiento.

2.3.7.4.10. ¿Qué Tipo de Bomba Elegir?

Existen dos tipos principales de bombas para sistemas hidropónicos NFT:

- **Sumergibles:** Son más silenciosas y requieren menos energía, pero son más costosas debido a la calidad del blindaje que necesitan para proteger el motor del contacto con la solución nutritiva.
- **No sumergibles:** Son más económicas, pero requieren cebado (llenar la tubería de succión y la cámara de la bomba con líquido) y más accesorios para su instalación.

2.3.7.4.11. Recomendaciones para Elegir la Bomba.

Para la selección de la bomba deben considerarse los siguientes aspectos:

- a) Solidez y calidad de los componentes del motor y bomba:** Con la utilización de una bomba sólida y constituida por elementos de buena calidad se permitirá resistir una gran cantidad de horas de funcionamiento, como lo son las requeridas para cualquier especie que se establece en el sistema "NFT".
- b) Resistencia de la bomba a la acción corrosiva de la solución nutritiva a través del tiempo:** Si la bomba no es resistente a la corrosión, la vida útil de ésta disminuirá rápidamente, por lo cual se deberán reponer frecuentemente los elementos deteriorados para mantener su operación.
- c) Caudal de operación con relación a la altura manométrica requerida y eficiencia:** Dado que en general existe una escasa diferencia de altura entre el nivel

mínimo de solución nutritiva dentro del estanque y el punto más alto de los canales de cultivo, la bomba deberá ser capaz de impulsar eficientemente (a baja altura manométrica) un caudal máximo equivalente al producto del caudal que se maneja para cada canal de cultivo (2-3 litros por minuto) por el número de canales de cultivo. Este valor debe aumentarse en un 20% como margen de seguridad frente a mayores demandas de alguna especie que se cultive eventualmente en el sistema.

Es importante considerar las futuras ampliaciones del módulo productivo, de manera de evaluar el tamaño más conveniente. Ello puede considerar, desde un comienzo, la adquisición de una bomba de mayor tamaño, con los consiguientes costos de operación, o simplemente contar posteriormente con otra unidad acorde al incremento de la superficie productiva.

Es recomendable instalar dispositivos de alarma que indiquen una interrupción no deseada en el funcionamiento de la bomba. Esto te permitirá actuar rápidamente y evitar daños al cultivo.

La bomba debe estar colocada cerca del estanque colector, sobre una base sólida para prevenir movimientos no deseados y vibraciones. Es fundamental evitar que la bomba funcione sin agua y tomar medidas para protegerla contra posibles fallos del sistema mediante dispositivos termoeléctricos adecuados.

Por lo general, la ubicación de la bomba es en el nivel superior del estanque colector, y es crucial que la tubería de succión esté equipada con una válvula de retención para mantener el sistema de succión "cebado" ante cualquier interrupción, ya sea intencionada o no, como, por ejemplo, una pérdida de energía en el suministro eléctrico.

Es fundamental realizar una supervisión periódica del funcionamiento de la bomba, no solo para verificar el flujo de agua en los canales de cultivo, tanto en la

parte superior como en la inferior, sino también para detectar cualquier ruido o vibración anormal, lo que podría indicar un mal funcionamiento que requeriría reparación.

2.3.7.4.12. *Red de Distribución.*

La red de distribución de la solución nutritiva se compone de tuberías y mangueras de PVC o goma que se extienden desde la bomba impulsora hasta la parte superior de los canales de cultivo. Actualmente, se prefieren estos materiales sobre las aleaciones metálicas, ya que estas últimas pueden interactuar con los minerales presentes en la solución nutritiva. El tamaño de las tuberías depende del volumen que se transporte a través del sistema, aunque generalmente, dado que el flujo requerido no es alto (entre 2 a 3 litros por minuto), el diámetro de las tuberías suele ser de aproximadamente 1 pulgada.

Para sistemas de cultivo de superficies pequeñas, menores a 100 m², no es necesario utilizar tuberías de PVC; bastaría con mangueras de jardín de 1 a 2 cm de diámetro interno para distribuir la solución nutritiva hacia los canales de cultivo. Sin embargo, para superficies mayores, donde los canales de cultivo son más largos y, por lo tanto, el volumen de solución circulante es mayor, se recomienda el uso de tuberías de PVC.

2.3.7.4.13. *Tubería Colectora.*

La tubería colectora tiene la función de recoger la solución nutritiva de los canales de cultivo y llevarla de vuelta al estanque colector. Esta tubería se coloca justo en frente y a un nivel más bajo que la parte inferior de los canales, permitiendo que la solución nutritiva fluya por gravedad y se oxigene en el proceso.

Además, la tubería está inclinada hacia abajo en dirección al estanque colector. En el extremo de la tubería, se recomienda instalar un codo de PVC cubierto con material aislante, como polietileno, para facilitar el flujo de la solución.

Los materiales preferidos son aquellos que no reaccionan con los minerales disueltos en la solución nutritiva, por lo que las tuberías de PVC son comúnmente utilizadas en la actualidad. También es posible utilizar canaletas abiertas de madera u otro material, siempre y cuando estén recubiertas con plástico para aislarlas. La elección entre una tubería colectora abierta o cerrada depende de la superficie de cultivo y las temperaturas máximas alcanzadas.

Para superficies pequeñas y temperaturas moderadas, se prefiere una tubería colectora abierta para evitar obstrucciones causadas por las raíces. Se recomienda cubrir esta tubería con polietileno opaco para evitar la contaminación y la evaporación de la solución nutritiva. En cambio, para superficies más grandes y ambientes cálidos, se utiliza una tubería colectora cerrada, con aberturas individuales frente a cada canal de cultivo para recibir la solución nutritiva. El diámetro de esta tubería debe ser igual o mayor que el ancho del canal de cultivo para evitar obstrucciones debido a las raíces de las plantas en el borde del canal.

Imagen 13.

Nuestro sistema de tuberías



2.3.8. Oxigenación de la Solución Nutritiva:

La solución nutritiva se oxigena no solamente por su circulación a través de los canales de cultivo, sino principalmente, al caer abruptamente sobre el remanente de solución en el estanque colector, donde se produce turbulencia y por lo tanto su aireación. De esta forma es aconsejable dejar la mayor distancia posible entre la desembocadura de la tubería colectora y el nivel de solución en el estanque para facilitar la aireación de ésta. Es aconsejable considerar al menos 50 cm de altura

2.3.9. Pendiente

Para que la solución nutritiva fluya constantemente en el sistema, se requiere que ésta sea impulsada desde el estanque hacia la parte elevada de los canales de cultivo, y luego descienda a través de ellos por gravedad.

La clave para este descenso controlado reside en la pendiente longitudinal de los canales. Una inclinación de alrededor del 2% se considera ideal, permitiendo un equilibrio perfecto entre la velocidad del flujo y la absorción eficiente de nutrientes por las raíces.

Sin embargo, este equilibrio no es inmutable. Pendientes superiores al 4% pueden convertir la absorción en un desafío para las raíces, mientras que pendientes inferiores al 2% dificultan el retorno de la solución al reservorio y el mantenimiento de la lámina de solución nutritiva.

Solo en casos excepcionales, cuando se cultivan especies con un desarrollo radical extenso que obstaculice el flujo normal, se recomienda aumentar la pendiente de los canales. Esta medida previene el estancamiento de la solución en el "colchón de raíces", asegurando un suministro constante de nutrientes a las plantas.

2.3.10. Nutrición de las Plantas

Las soluciones nutritivas concentradas contienen todos los elementos que las plantas necesitan para su correcto desarrollo y adecuada producción de raíces, bulbos, tallos, hojas, flores, frutos o semillas.

Composición de las Soluciones Nutritivas.

Además de los elementos que los vegetales extraen del aire y del agua (Carbono, Hidrógeno y Oxígeno) ellos consumen con diferentes grados de intensidad los siguientes elementos:

2.3.10.1. Indispensables para la Vida de los Vegetales.

Tabla 5.

Cantidades que son requeridos por las plantas

Grandes	Intermedias	Muy pequeñas (elementos menores)
Nitrógeno	Azufre	Hierro
Fósforo	Calcio	Manganoso
Potasio	Magnesio	Cobre
		Zinc

2.3.10.2. Útiles, pero no indispensables para su vida.

- Cloro.
- Sodio.
- Silicio.

2.3.10.3. Tóxicos para el vegetal.

- Aluminio.

Es muy importante tener en cuenta que cualquiera de los elementos antes mencionados puede ser tóxicos para las plantas si se agregan al medio en proporciones inadecuadas, especialmente aquéllos que se han denominado elementos menores.

2.3.11. Solución Nutritiva

En hidroponía, los nutrientes esenciales se suministran únicamente a través de la solución nutritiva, la cual se compone de sales fertilizantes disueltas en agua. Por lo tanto, la formulación y el control preciso de esta solución, junto con la selección adecuada de las fuentes de sales minerales solubles, son fundamentales para el éxito del cultivo hidropónico. En el sistema "NFT", este aspecto adquiere una importancia particular.

La eficiencia en la utilización de los nutrientes por parte de las plantas varía según el sistema hidropónico utilizado. En el caso de la técnica "NFT", esta eficiencia es continua, ya que la solución nutritiva circula constantemente, proporcionando un suministro constante de nutrientes a las raíces. Además, la formulación de la solución se realiza de manera que proporcione un nivel equilibrado de todos los nutrientes necesarios, lo que facilita su manejo.

Tabla 6.

Elementos minerales esenciales para las plantas

Elemento mineral	Símbolo químico	Peso atómico
MACRONUTRIENTES		
Nitrógeno	N	14
Fósforo	P	31
Potasio	K	39
Calcio	Ca	40
Magnesio	Mg	24
Azufre	S	32
MICRONUTRIENTES		
Hierro	Fe	56
Manganoso	Mn	55
Zinc	Zn	65,5
Boro	B	11
Cobre	Cu	64
Molibdeno	Mo	96
Cloro	Cl	35,5

Tabla 7.

Sales fertilizantes utilizadas en hidroponía

Nombre químico	Fórmula química	Solubilidad (gramos por litro)
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	1220
Nitrato de potasio	KNO_3	130
Nitrato de magnesio	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	279
Fosfato monopotásico	KH_2PO_4	230
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	710
Sulfato de potasio	K_2SO_4	111
Sulfato de manganeso	MnSO_4	980
Ácido bórico	H_3BO_3	60
Sulfato de cobre	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	310
Sulfato de zinc	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	960
Molibdato de amonio	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	430

Tabla 8.

Rangos de concentración de elementos minerales esenciales según diversos autores

	Concentración (ppm)						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
N	210	168	150-225	106	172	200-236	167
P	31	41	30-45	62	41	60	31
K	234	156	300-500	156	300	300	277
Mg	34	36	40-50	48	48	50	49
Ca	160	160	150-300	93	180	170-185	183
S	64	48	--	64	158	68	--
Fe	2,5	2,8	3-6	3,8	3	12	2-4
Mn	0,5	0,54	0,5-1	0,81	1,3	2	0,62
B	0,5	0,54	0-0,4	0,46	1	0,3	0,44
Cu	0,02	0,064	0,1	0,05	0,3	0,1	0,02
Zn	0,05	0,065	0,1	0,09	0,3	0,1	0,11
Mo	0,01	0,04	0,05	0,03	0,07	0,2	--

(1) Hoagland y Arnon (1938) (2) Hewitt (1966) (3) FAO (1990)
 (4) Jensen (s/fecha) (5) Larsen (s/fecha) (6) Cooper (1979)
 (7) Steiner (1984)

Fuente: (1), (2),(3) y (7) en Windsor and Schwarz (1990); (4)y (5) en Lorenz and Maynard (1988); (6) en Cooper (1988)

Tabla 9.

Ajuste de una formulación de solución nutritiva

Elemento	Análisis de agua (ppm)	Formulación de Solución Wye(*) (ppm)	Formulación ajustada (ppm)
N	0	165	165
P	0	35	35
K	0,9	339	339
Ca	36,8	78	41,2
Mg	5,8	23	17,2
S	0	49	49
Fe	0	5	5
Mn	0	0,2	0,2
B	0	0,11	0,11
Cu	0	0,1	0,1
Mo	0	0,03	0,03
Zn	0	0,14	0,14

2.3.12. Conductividad eléctrica:

Es posible determinar la concentración de cada uno de los elementos nutritivos presentes en la solución a través de análisis químicos. Sin embargo, para las empresas de mediana escala que operan el sistema "NFT", realizar análisis diarios puede ser costoso y engorroso, además de no proporcionar una evaluación inmediata del estado real de la solución. En lugar de eso, en esta tesis se propone una alternativa que estima la concentración total de elementos nutritivos disueltos en la solución utilizando la conductividad eléctrica, aprovechando un conductímetro portátil, el cual generalmente tiene un costo accesible.

La efectividad de este método se basa en la relación entre la conductividad eléctrica de una solución y la concentración de sales disueltas, siempre y cuando la solución nutritiva tenga una baja concentración de elementos no esenciales. Por lo tanto, el éxito del sistema "NFT" depende en gran medida de la formulación adecuada de la solución nutritiva.

La unidad de medida de la conductividad eléctrica es el milisiemens por centímetro (mS/cm), y en hidroponía, se trabaja con el Factor de Conductividad (Fc), que se calcula multiplicando la conductividad eléctrica por 10. Por ejemplo, un Fc de

20 equivale a 2 mS/cm. El rango de conductividad eléctrica generalmente requerido para un crecimiento óptimo del cultivo oscila entre un Fc de 15 a 30. La elección del valor dentro de este rango dependerá de la especie cultivada, su etapa de desarrollo y los niveles de conductividad del agua utilizada para preparar la solución nutritiva.

La medición de la conductividad eléctrica se lleva a cabo utilizando un medidor portátil o automático, y es crucial calibrar el instrumento según las indicaciones del proveedor para obtener mediciones precisas. La conductividad eléctrica ideal de la solución nutritiva debe estar entre los 1 y 2.3 mS/cm². En caso de que existan días con temperaturas por encima de los 80°F, la conductividad eléctrica debe bajarse a niveles próximos a 1 mS/cm².

Tabla 10.

Conductividad eléctrica de diferentes cultivos

Hortalizas	CE (dS m ⁻¹)
Alcachofa	0,4
Cebolla	1,2
Espinaca	2,0
Lechuga	1,3
Pimentón	1,5
Tomate	2,5

2.3.12.1. Ventajas de una Conductividad Eléctrica Adecuada.

Un nivel de EC adecuado es importante para que las plantas obtengan los nutrientes esenciales para un crecimiento saludable. Una EC baja significa que las plantas no reciben los nutrientes necesarios para su desarrollo, mientras que una EC alta puede provocar un exceso de nutrientes que pueden dañar a las plantas.

Además, una conductividad eléctrica adecuada permite a los productores de hidroponía controlar mejor la solución nutritiva. Esto significa que los productores pueden ajustar la solución nutritiva según el tipo de planta que estén cultivando. Esto les permite garantizar que la solución nutritiva sea adecuada para cada tipo de planta.

2.3.12.2. Cómo Controlar la Conductividad Eléctrica.

Existen varias formas de controlar la conductividad eléctrica en la hidroponía. El primer paso es asegurarse de que la solución nutritiva está en el rango óptimo de 1-2.3 mS/cm. Esto se puede hacer ajustando la cantidad de nutrientes disueltos en el agua.

Otra forma de controlar la conductividad eléctrica es mediante el uso de un medidor de conductividad eléctrica. Estos dispositivos miden la conductividad eléctrica de la solución nutritiva y permiten a los productores ajustar los niveles de EC de acuerdo con las necesidades de la planta.

También es importante asegurarse de que el agua que se usa para la hidroponía tenga una EC adecuada. El agua debe tener una EC entre 0.5-1.5 mS/cm para que la solución nutritiva tenga una EC óptima. Si el agua tiene una EC alta, se puede diluir con agua de una EC baja para ajustar la solución nutritiva a un nivel óptimo.

2.3.12.3. Consejos para Medir la Conductividad Eléctrica en Hidroponía

- Asegúrate de usar un medidor de Conductividad Eléctrica de calidad para obtener resultados precisos.
- Asegúrate de calibrar el medidor EC antes de cada uso para obtener resultados precisos.
- Utiliza una solución de referencia para calibrar el medidor EC.
- Toma la lectura del medidor EC en una solución de nutrientes y anota los resultados.
- Compara los resultados con los niveles de nutrientes

2.3.13. El pH

Otro parámetro que se debe controlar para mantener disponibles los elementos nutritivos en la solución nutritiva es el pH, o sea el grado de acidez o alcalinidad de la solución. El rango de pH en el cual los nutrientes se encuentran disponibles ocurre entre 5,5 y 7. Para medir el pH se utiliza un medidor portátil, el cual debe estar calibrado durante todo el período de uso, de acuerdo a las instrucciones comerciales.

Las correcciones de pH generalmente se realizan para acidificar la solución al rango óptimo anteriormente señalado. Esto se explica en el hecho de que a medida que se repone el volumen consumido, se agrega agua hasta obtener el volumen inicial aumentándose el pH.

Para disminuir el pH a un valor mínimo de 5,5, se agrega una solución ácida, la cual se compone de una mezcla de ácido nítrico (HNO_3) y ácido ortofosfórico (H_3PO_4) en una proporción de 3 : 1, preparada al 5%. Es decir, al preparar 10 litros de solución con la mezcla indicada, se agrega a 9.500 cc de agua contenidos en un contenedor, 380 cc de ácido nítrico (HNO_3) y 120 cc de ácido ortofosfórico (H_3PO_4).

Si no se dispusiera de alguno de estos dos ácidos, se sugiere preparar la solución con el ácido existente, agregando 500 ml de ácido nítrico (HNO_3) o ácido ortofosfórico (H_3PO_4) a 9.500 cc de agua.

La manipulación de la solución ácida como también su preparación, la debe realizar una persona responsable que use gafas y guantes protectores para evitar quemaduras por ácido. Además, debe cuidar que no existan derrames de los ácidos concentrados ni de la solución ácida. Tampoco se debe olvidar que, al prepararla, siempre el ácido se debe agregar a un volumen de agua previamente depositado en el estanque contenedor. De otra forma es posible que ocurra una explosión. Los tipos de ácidos utilizados no requieren ser productos puros, por el contrario, utilice de preferencia ácidos ofrecidos para uso comercial con un 85 % de pureza. Además, son de menor costo.

Si es requiere alcalinizar la solución nutritiva, o sea aumentar el pH hasta el rango óptimo, se deberá preparar una solución básica al 10% de hidróxido de potasio (KOH) para luego aplicar un pequeño volumen a la solución. Los gránulos de este compuesto se agregan a 500 cc de agua agitando constantemente hasta disolver la sal. Luego se rellena con el agua restante hasta alcanzar 1 litro de solución.

Tabla 11.

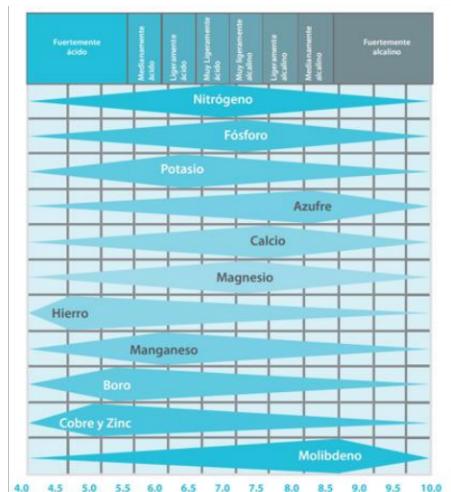
Valores de PH de diferentes cultivos

Hortaliza	Intervalos de pH
Apió	6.0-7.0
Berenjena	5.5-6.0
Betabel	6.0-7.0
Calabaza	5.5-6.5
Camote	5.8-5.8
Cebolla	6.0-6.5
Chícharo	6.0-7.0
Col	5.8-7.0
Coliflor	6.0-7.0
Espárrago	6.0-7.0
Espinaca	6.0-7.0
Fresa	5.3-6.5
Frijol ejotero	5.4-6.9
Jitomate	5.5-6.8
Lechuga	6.0-7.0
Melón	5.9-8.0
Nabo	5.5-6.5
Papa	5.0-5.4
Pepino	5.5-5.8
Rábano	5.5-6.5
Sandía	5.0-5.5
Verdolaga	6.5-8.0
Zanahoria	5.8-7.0

Nota. Fuentes: National Plant Food Institute. Manual de fertilizantes. LIMUSA, México, D.F., 1984; Raymond, D. Cultivo práctico de hortalizas. CECSA, México, D.F. 1975.

Imagen 14.

Grafica que muestra la disponibilidad de los nutrientes en relación con el pH



2.3.14. Control Diario de la Solución Nutritiva

Para mantener la solución nutritiva en condiciones óptimas, es necesario realizar un control diario detallado. Este proceso comienza deteniendo brevemente el funcionamiento de la bomba para permitir que la mayor parte de la solución circulante regrese al estanque colector. Luego, se rellena el estanque con agua hasta alcanzar el nivel inicial de solución marcado previamente. A continuación, se agita la solución y se mide el pH. Si el pH está por encima del rango óptimo (5,5), se añade una pequeña cantidad de solución ácida, se agita y se vuelve a medir el pH. Este proceso se repite hasta alcanzar el pH deseado.

Después de ajustar el pH, se mide la conductividad eléctrica de la solución utilizando un medidor adecuado. Si el valor obtenido es inferior al rango óptimo, se agregan volúmenes iguales de solución concentrada A y B, se agita y se vuelve a medir la conductividad. Si aún está por debajo del rango requerido, se repite el proceso. Es importante anotar todos los valores de conductividad y pH, así como las correcciones realizadas, para evaluar el funcionamiento del sistema.

2.3.15. Duración y Renovación de la Solución Nutritiva

La duración de la solución nutritiva depende de su formulación y de los cuidados en su mantenimiento. Con una fórmula adecuada y correcciones frecuentes de conductividad y pH, la solución puede mantenerse en circulación durante 3 a 4 meses. Durante este tiempo, es crucial mantener la solución limpia y en la oscuridad, lo cual se logra manteniendo cubiertos el estanque y los tubos colectores. Esto ayuda a prevenir la proliferación de algas, la evaporación de la solución y la entrada de animales.

2.3.16. Manejo de cultivo en el sistema NFT

A continuación, se presentará la ficha de cultivo de la especie que seleccionamos para el proyecto el cual es la lechuga.

La lechuga es considerada la hortaliza de hoja por excelencia, dada su alta calidad culinaria como ensalada fresca. Pertenece a la familia de las Compuestas. 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

Entre los diferentes tipos de lechuga, las "butterhead" o "mantecosas" son las más cultivadas en este sistema hidropónico, ya que destaca su mejor calidad con relación a las cultivadas en suelo y al aire libre. Las lechugas "mantecosas" forman una cabeza central, sus hojas son de textura suave de alta palatabilidad; son precoces con relación a otros tipos de lechuga existiendo variedades 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". Cuando se cultivan este tipo de lechugas en "NFT", se deben cuidar las condiciones de temperatura, humedad y luminosidad del invernadero, para así obtener una lechuga de cabeza firme y alto valor comercial. La temperatura óptima para la formación de la cabeza es de alrededor de 20°C. Para la obtención de lechugas de mayor cabeza se requiere un mayor número de hojas por lo que se debe mantener mayor tiempo el cultivo, lo que debiera ser analizado económicoamente.

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.

También existe la posibilidad de comercializar las hojas de estas u otras lechugas en bolsas como ensaladas de "cuarta generación". 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 atrayente como producto "gourmet".

Imagen 15.

Lechuga Tipo Mantecosa (Izquierda) y Lechuga Divina (Derecha)

**Imagen 16.**

Lechuga sierra

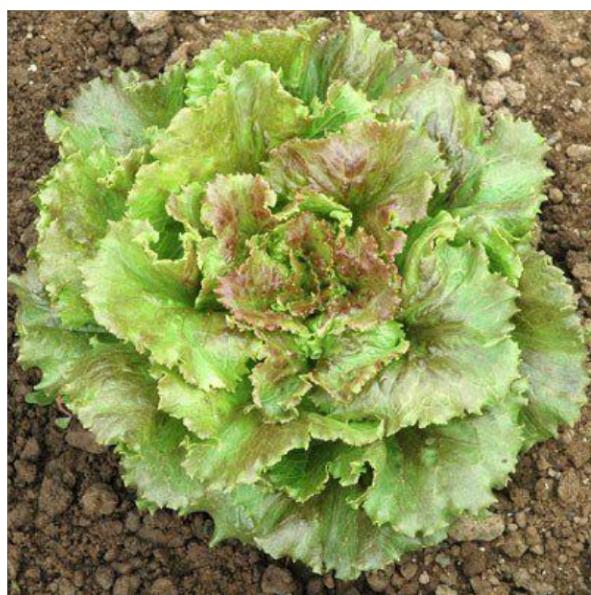


Imagen 17.

Variedades de lechuga.



2.3.17. Luces Led

Ahora nos enfocaremos en un aspecto crucial para el funcionamiento de la automatización de este proyecto: la electrónica. En esta área, evitaremos redundar en la discusión sobre la bomba, dado que ya ha sido mencionada anteriormente, junto con como seleccionarla y su importancia. Dicho esto, centrémonos en un componente clave:

Las luces LED representan una innovación significativa en la agricultura moderna, especialmente en el contexto de los cultivos hidropónicos. Varios estudios han demostrado su eficiencia y beneficios para el crecimiento de las plantas. Según un artículo publicado en el Journal of Experimental Botany (Mitchell et al., 2016), las

luces LED tienen una alta eficiencia energética y pueden proporcionar el espectro de luz óptimo para el crecimiento de diferentes tipos de plantas.

Uno de los aspectos más destacados de las luces LED es su capacidad para emitir luz en un espectro específico que puede ser ajustado según las necesidades de los cultivos. Investigaciones recientes, como el estudio realizado por Smith et al. (2018) y publicado en el Journal of Plant Physiology, han demostrado que la calidad espectral de la luz LED puede influir en varios procesos fisiológicos de las plantas, como la fotosíntesis, la floración y la producción de compuestos bioactivos.

Además de su eficiencia energética y su capacidad para proporcionar el espectro de luz adecuado, las luces LED también ofrecen ventajas en términos de durabilidad y vida útil prolongada. Según un informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2020), las luces LED tienen una vida útil significativamente más larga que otras fuentes de luz, lo que reduce los costos de mantenimiento a largo plazo y contribuye a la sostenibilidad del sistema de cultivo.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es el control preciso que las luces LED ofrecen sobre la intensidad y el ciclo de luz. Un estudio realizado por García et al. (2019) y publicado en el Journal of Horticultural Science & Technology, encontró que el uso de luces LED en sistemas hidropónicos permitió un mejor control sobre el crecimiento de las plantas, lo que resultó en una mayor productividad y calidad de los cultivos.

Las luces LED tienen una capacidad casi completa de reproducir la radiación y pueden generar diferentes tipos de emisiones lumínicas:

- Emiten luz monocromática tanto dentro como fuera del espectro visible, incluyendo infrarrojo (IR) y ultravioleta (UV).

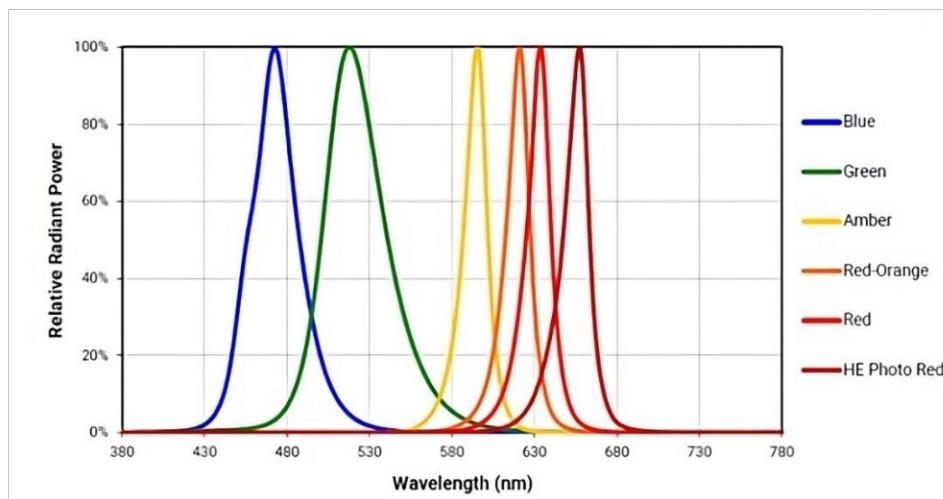
- También pueden producir emisiones de espectro continuo con distintas cantidades de luz en cada frecuencia.

La gran flexibilidad de las luces LED permite combinar estas dos clases de emisiones. Cada fuente de luz monocromática puede ajustarse con precisión en pasos muy pequeños, típicamente de 5 o 10 nm. Por lo tanto, es esencial no solo identificar los colores generales utilizados, sino también detallar las longitudes de onda de todos los picos significativos empleados. Estos valores suelen ser proporcionados por el fabricante o medidos con un espectro-radiómetro que produce curvas de información.

En el caso de los espectros continuos que generan luz blanca, se requiere caracterizar todo el diagrama radiante. En ausencia de este dato, se pueden utilizar variables aproximadas como la Temperatura de Color Correlacionada (CCT) y el Índice de Reproducción Cromática (CRI).

Imagen 18.

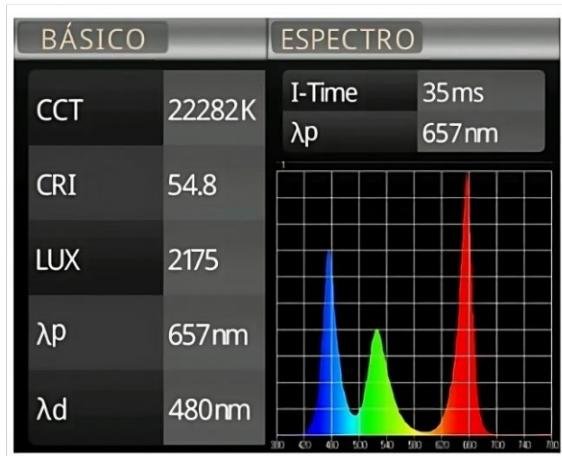
Emisiones monocromáticas generables con LED monocromáticos.



Nota. Tomado de Descripción y estandarización de la iluminación LED para su utilización en el cultivo in vitro de plantas, por Gago et al, s.f.

Imagen 19.

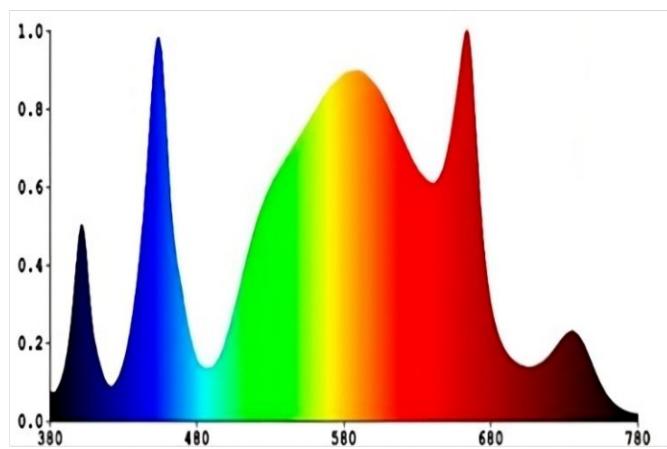
Medida con espectro radiómetro de luminaria de combinación de emisores monocromáticos.



Nota. Tomado de Descripción y estandarización de la iluminación LED para su utilización en el cultivo in vitro de plantas, por Gago et al, s.f.

Imagen 20.

Caracterización de fabricante de luminaria LED que combina emisores de espectro continuo (blanco neutro) con emisores monocromáticos (UV + PhotoRed 660 nm + Far Red 720 nm]



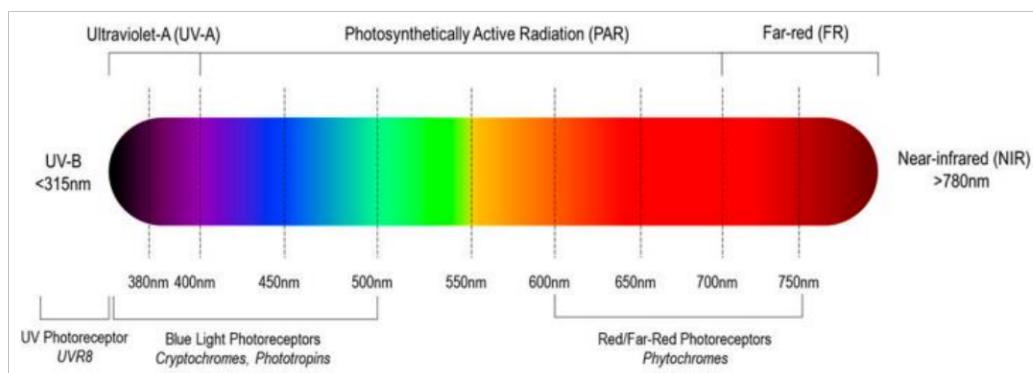
Nota. Tomado de Descripción y estandarización de la iluminación LED para su utilización en el cultivo in vitro de plantas, por Gago et al, s.f.

A menudo, los fabricantes de iluminación proporcionan medidas de la cantidad de luz en términos de lúmenes por metro cuadrado, una unidad que considera la sensibilidad del ojo humano a diferentes longitudes de onda. Por ejemplo, una luz verde mostrará una lectura de lux más alta que una luz azul o roja, aunque ambas tengan la misma salida de luz en términos de irradiancia ($\text{W}\cdot\text{m}^2$). Sin embargo, cuando se trata de la intensidad de la luz en relación con el rendimiento del cultivo, es más apropiado utilizar unidades basadas en PPF (flujo de fotones fotosintéticamente activos) o radiación iridiscente, ya que estas consideran la importancia de las longitudes de onda rojas y azules para la fotosíntesis.

La fotosíntesis, el proceso mediante el cual las plantas convierten la energía luminosa en azúcares, es esencial para su crecimiento y desarrollo. Esta absorción de luz se debe principalmente a los pigmentos de clorofila, que tienen picos de absorbancia en las longitudes de onda rojas y azules. Sin embargo, aunque la luz es esencial para este proceso, un exceso de la misma puede ser perjudicial para las plantas, especialmente cuando se combina con otros factores estresantes ambientales.

Las plantas han desarrollado mecanismos para disipar el exceso de energía luminosa, como el uso de pigmentos como los carotenoides, que convierten la energía luminosa absorbida en calor, evitando así la producción de especies reactivas de oxígeno y radicales libres que pueden dañar las células vegetales. Además, otros pigmentos como las antocianinas, que dan a las hojas un color púrpura, también ayudan a reducir la absorción de luz y actúan como antioxidantes, protegiendo así a la planta del estrés oxidativo. Estos mecanismos son esenciales para la supervivencia y el éxito reproductivo de las plantas, ya que les permiten adaptarse y responder a las condiciones ambientales cambiantes a corto y largo plazo.

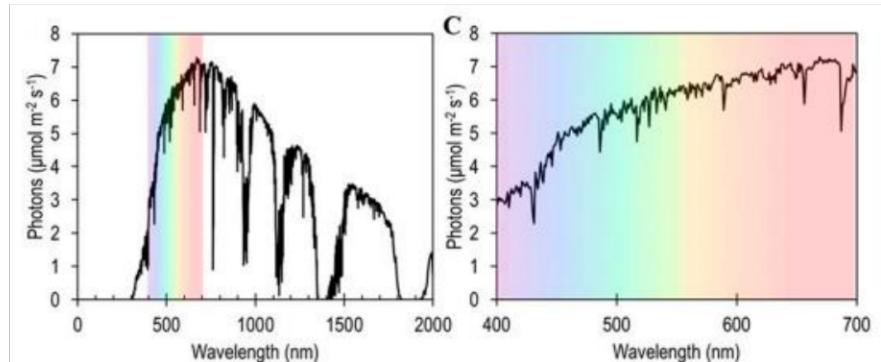
Las plantas absorben y utilizan distintas longitudes de onda del espectro electromagnético para llevar a cabo la fotosíntesis. Se pueden identificar tres regiones principales: ultravioleta, que contiene fotones de luz de alta energía que pueden ser potencialmente dañinos; la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR), que abarca el espectro absorbido por los pigmentos de las plantas para proporcionar la energía necesaria para la fotosíntesis; y la luz roja lejana (FR), que contiene fotones de menor energía. También se identifican los fotorreceptores clave y sus espectros de absorción asociados, que muestran las regiones de detección de luz ultravioleta, azul, roja y FR por parte de los fotorreceptores. Por ejemplo, los criptocromos y las fototropinas tienen un papel en la detección de luz azul, como se utiliza en el fototropismo o en la protección de pigmentos vegetales contra la alta intensidad lumínica. Los fitocromos son responsables de la detección de luz roja y FR, regulando el crecimiento de las plantas en respuesta al aumento de la luz FR asociada con la sombra. UVR8 detecta la luz ultravioleta y, al igual que los receptores de luz azul, participa en la regulación de los pigmentos protectores contra la luz ultravioleta.



Nota. Tomado de LED Lighting: A Grower's Guide to Light Spectra, por Satamford et al, 2023.

Este gráfico muestra la densidad de flujo de fotones de la luz solar irradiada por longitud de onda en nanómetros, basado en el promedio de los 48 estados contiguos de EE. UU. durante un período de 1 año. (C) Observamos de cerca los

espectros visibles, donde se observan intensidades de luz más altas en longitudes de onda verde, naranja y roja en comparación con las longitudes de onda azul. La densidad de flujo de fotones fotosintéticos total es de $1739 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.



Nota. Tomado de LED Lighting: A Grower's Guide to Light Spectra, por Satamford et al, 2023.

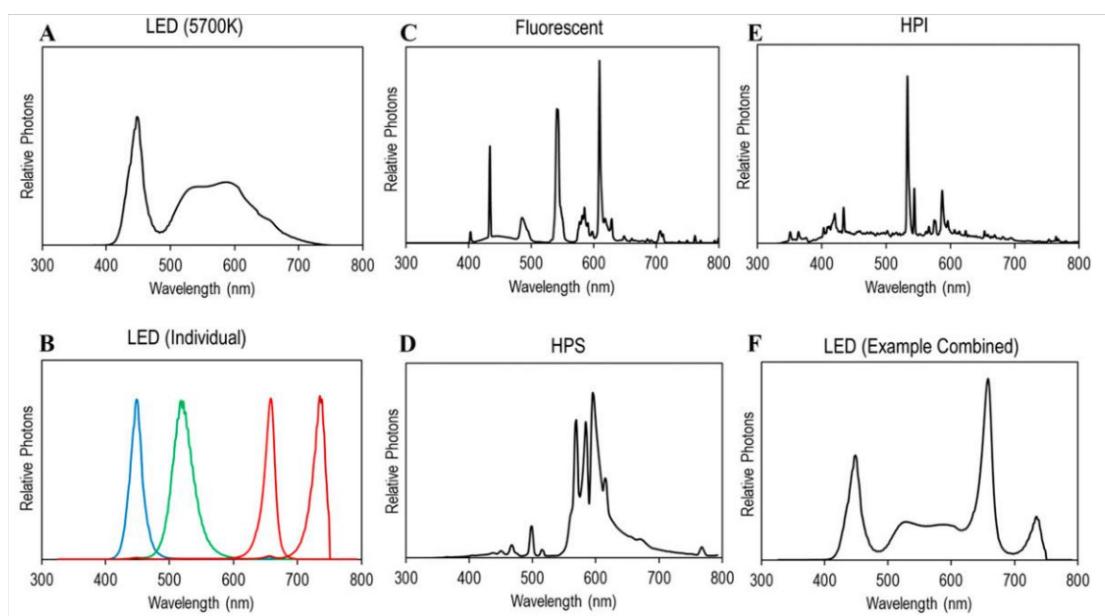
2.3.18. Ejemplos de espectros de varias fuentes de luz comúnmente utilizadas para el crecimiento de plantas:

- (A) Un diodo emisor de luz (LED) blanco estándar con una temperatura de color de 5700 K.
- (B) Muestra una selección de LEDs para longitudes de onda específicas: 450 nm (azul), 520 nm (verde), 660 nm (rojo) y 735 nm (rojo lejano), que son frecuencias comunes en la iluminación hortícola, aunque existen muchas otras disponibles. Las intensidades relativas pueden variar entre fabricantes, y aquí se muestra una intensidad máxima uniforme con fines ilustrativos.
- (C) Se incluye una bombilla fluorescente.
- (D) Una lámpara de sodio de alta presión (HPS) que se utiliza a menudo como iluminación adicional.
- (E) Un espectro HPI, un tipo de lámpara de halogenuros metálicos.
- (F) Un espectro LED de ejemplo, creado combinando los espectros de las fuentes de luz presentadas en A y B, lo que ilustra la flexibilidad que ofrece la

iluminación LED. Los espectros de cada tipo de fuente de luz se midieron internamente en la Universidad de Essex, lo que resulta en densidades relativas de flujo de fotones para cada fuente de luz; por lo tanto, la intensidad de la luz entre las fuentes de luz en esta figura no es directamente comparable.

Imagen 21.

Imagen representando diferentes ejemplos de varias fuentes de luz



Nota. Tomado de LED Lighting: A Grower's Guide to Light Spectra, por Satamford et al, 2023.

2.3.19. Plagas principales

2.3.19.1. Arañuela roja: *Tetranychus urticae* (Clase Arácnida-Orden Acari).

Es un ácaro de pequeño tamaño, mide aproximadamente 0,6 mm; se puede reconocer su presencia a simple vista como pequeños puntos rojizos en las hojas o en los tallos. Durante el verano poseen una coloración verdosa con dos manchas más oscuras en los laterales, pero cuando se aproxima el invierno, la coloración es rojo intenso, siendo la forma de resistencia. En condiciones óptimas de temperatura (23-30°C), desarrollan su ciclo (Huevo-Larva-Protoninfa-Deutoninfa-Adulto) entre 8-14

días. Cada hembra puede vivir 20-28 días y en ese período coloca 100-200 huevos. Las abundantes colonias de arañuela roja viven generalmente agrupadas en el envés de las hojas. Producen hilos de seda en gran cantidad, que le sirven de protección frente a enemigos naturales y controles químicos con acaricidas.

Imagen 22.

Arañuela roja. (cortesía Urretabizkaya, N.)



2.3.19.1.1. Daños.

Es un ácaro muy polífago pudiendo atacar especies hortícolas, florícolas, ornamentales, etc. La estructura bucal consta de 2 quelíceros con los que punza células superficiales, se alimenta del contenido o jugo celular principalmente de hojas, absorbiéndolo célula a célula, dejando una pequeña mancha amarillenta (puntuaciones cloróticas) que contrasta con el verde normal de la hoja.

Ataques severos causan decoloración generalizada de las hojas con muerte posterior de los tejidos (necrosis) evidenciándose de color castaño, deshidratadas provocan intensas defoliaciones. Con altas temperaturas y sequía, la abundante tela con la que envuelve las hojas reduce la fotosíntesis e incluso llegan a matar a la

planta. Los ataques se dan en focos y la multiplicación se ve favorecida por el buen estado nutricional de las plantas específicamente con respecto al nitrógeno. Los daños directos consisten en la destrucción de tejido epidérmico, la deformación y muerte de hojas y brotes, el debilitamiento general y muerte de plantas; mientras que los indirectos conducen a la pérdida de calidad comercial.

2.3.19.2. Trips: Thrips sp. Frankliniella sp. (Clase Insecta-Orden

Tisanóptero)

Son insectos de pequeño tamaño, alcanzando a medir entre 1-2 mm de longitud; cuerpo alargado de color amarillento a castaño oscuro. La estructura bucal consta de un cono bucal (aparato bucal picador-sucto de 3 estiletes), con el cual perforan/roen la epidermis, inyectan saliva y se alimentan de jugos celulares, las células así vaciadas, se llenan de aire tomando la zona atacada color plateado. La mayoría de las especies son polífagas atacando cultivos hortícolas, florícolas, frutales, malezas, etc. Ciclo biológico (Huevo, Ninfa1, Ninfa2, Prepupa, Pupa y Adulto) es de duración variable, pero las especies de mayor importancia como: *Frankliniella schultzei*, "trips de las flores"; *Thrips tabaci*, "trips de la cebolla" y *Frankliniella occidentalis* "trips californiano de las flores" pueden cumplirlo en 15 días o menos, favoreciéndolo las altas temperaturas y escasa humedad ambiental, resultando así en más de 10 generaciones por año. Los huevos son encastrados por la hembra, dentro del tejido vegetal, colocando hasta 300 huevos durante 1 mes. Los estados pupales no ocasionan daños, son inactivos y se encuentran ocultos en la base de la planta.

Imagen 23.

Vaquitas (*cortesía Urretabizkaya, N.*)



2.3.19.2.1. Daños.

Los daños directos los realizan por oviposición y alimentación: Un tipo de lesión lo ocasionan las hembras al encastrar sus desoves; los huevos reniformes son colocados debajo de la epidermis y cubiertos por excrementos, dando el aspecto de “hojas sucias”. Alrededor de la zona de la incisión se apreciará tejido clorótico o corchoso. Otro daño lo realizan con el aparato bucal tanto adultos como ninfas, resultando zonas alargadas plateadas, porque las células atacadas se llenan de aire al ser raspadas y vaciados sus jugos celulares, con posterior necrosis y defoliación.

Los daños directos los realizan atacando tejidos tiernos de yemas, de hojas, flores y frutos en crecimiento, mediante manchas en forma de estrías plateadas, luego necrosis con coloración parda (Figura 2). En ataques importantes producen deformación de yemas y aborto de flores y frutos. Los daños indirectos lo realizan por ser vectores de enfermedades virales, en cultivos hortícolas y florícolas predomina la transmisión del virus de la Peste Negra (TSWV) que es adquirido por las Ninfas1 al atacar una planta enferma y es transmitido por los adultos cada vez que se alimentan.

Las plantas enfermas con peste negra, 114 se presentarán amarillentas, enanas, con hojas manchadas, deformadas; con aborto de botones florales y manchados de frutos, entre otros síntomas.

2.3.20. Pulgones: *Myzus persicae*, *Aphis fabae*, *Macrosiphum euphorbiae*, *Aulacorthum solani*, *Brevicoryne brassicae*, *Uroleucon ambrosiae*. (Clase Insecta-Orden Hemípteros-Flia. Afididos)

Los pulgones o áfidos son pequeños insectos, alcanzan a medir entre 1,5 a 4,5 mm de longitud, de cuerpo globoso y blando, de colores variables como verde claro u oscuro (Figura 3), amarillento, rojizo, grisáceo o negro. Con el aparato bucal picador suctor, punzan, inyectan saliva con sustancias a veces tóxica y extraen por succión savia de hojas y brotes. Las numerosas colonias viven formando masas de poblaciones de insectos, principalmente sobre tejidos en crecimiento con presencia de jóvenes y adultos con o sin alas. La mayoría de los pulgones eliminan por la cámara filtro del aparato digestivo grandes cantidades de melado permitiendo el desarrollo de hongos fumagina, que al cubrir el follaje impiden la fotosíntesis y la acción de controles químicos. Las hembras sin haber sido fecundadas pueden parir jóvenes embriones llamadas ninfas; que luego de 4 estadios ninfales se transforman en adultos. Desarrollan el ciclo en pocos días, ejemplo: el pulgón *Myzus persicae* en condiciones óptimas a 24°C puede realizar un ciclo completo en 7 días; las hembras pueden parir 400 ninfas hijas en 15 días. Cuando el alimento vegetal es escaso o hay superpoblación, surgen los individuos adultos alados que migran a otras plantas en busca de nuevos cultivos.

Imagen 24.

Pulgones (*cortesía Urretabizkaya, N.*)

**2.3.20.1.1. Daños.**

La mayoría de las especies de áfidos son polífagas de cultivos hortícolas, florícolas, cereales, frutales, etc., mientras que algunas son específicas de ciertos grupos botánicos (Ej. B. brassicae en brassicáceas). Cuando las poblaciones de pulgones son abundantes, la extracción de savia en grandes cantidades debilita la planta hasta poder ocasionar su muerte. Otro daño directo observable consiste en la deformación de hojas y brotes ocasionando la pérdida de flores y frutos.

Los daños indirectos consisten en la producción de líquido azucarado (melado) sobre el cual desarrolla el hongo fumagina, que es una cubierta de apariencia pulverulenta de color negro, sobre la superficie de las hojas, la cual disminuye la capacidad fotosintética y evapotranspiración foliar. Otro daño indirecto resulta al enfermar los cultivos ya 117 que pueden trasmitir virus a las plantas, los cuales causan cuantiosas pérdidas económicas ya que el cultivo se puede perder completamente.

Imagen 25.

Ficha de las Lechugas en el Cultivo NFT

ANTECEDENTES DEL CULTIVO	
Rango de temperatura óptimo de germinación	4,5- 27°C
Tiempo aproximado de germinación	6 - 12 días
Nº aproximado de semillas/gramo	800
Longevidad de la semilla	3 años
Nº plantas/m ² en sistema "NFT"	22 - 24 según el cultivar
Tiempo aproximado de trasplante a cosecha	25 - 40 días
SISTEMA "NFT"	
SOLUCION NUTRITIVA	
Factor de conductividad	15 - 25
pH	5,5 - 6,5
Consumo de solución aproximado por planta	0,25 litros/planta
CANAL DE CULTIVO	
Tipo de canal	bajo
Ancho mínimo de canal	6 cm

Imagen 26.

Costos operacionales para una cosecha de lechugas

COSTOS OPERACIONALES	CANTIDAD REQUERIDA	VALOR TOTAL (US\$)	VALOR UNITARIO (US\$/m²)
Semilla	10 g	0,4	0,0016
Solución nutritiva	0,317 l	187,43	0,743
Cubo de espuma	6800 cubos	9,76	0,039
Poliestireno (0,5m ²)	126 láminas	81,9	0,325
Energía eléctrica	630 KW	97,65	0,3875
Mano de obra	52,5 JH	262,5	1,0416
Depreciación		59,66 (*)	
Subtotal		699,3	
Costo de venta (3%)		20,97	
Imprevistos (5%)		34,96	
Total		755,23	2,69

Nota. () Este valor se ha obtenido al dividir la sumatoria de la depreciación por 8 cosechas realizadas anualmente.*

3. Marco Metodológico

3.1. Tipo y Enfoque de la Investigación

Para abordar los desafíos relacionados con la agricultura en la República Dominicana, se ha seleccionado un enfoque de investigación aplicada, centrado en encontrar soluciones prácticas y efectivas para mejorar el uso del agua, reducir los riesgos asociados con los pesticidas y disminuir la dependencia de la luz solar en las plantaciones de lechugas.

3.1.1. De tipo Cuantitativo

El enfoque cuantitativo se utilizará para recopilar datos numéricos sobre el consumo de agua en la agricultura, los efectos de los pesticidas en el cultivo, el agua, la salud y la eficacia de las técnicas de cultivo hidropónico. Esto implicará la medición precisa de variables como el uso de agua y el rendimiento de los cultivos.

3.1.2. De tipo Experimental

Se utilizará un enfoque experimental para probar y evaluar la efectividad de las técnicas de cultivo hidropónico en comparación con los métodos tradicionales. Se diseñarán experimentos controlados para determinar el impacto de la hidroponía en la reducción del consumo de agua, la contaminación por pesticidas y la dependencia de la luz solar en las plantaciones de lechugas.

3.1.3. Métodos de Investigación

Con el objetivo de obtener datos relevantes y precisos para la investigación, se utilizarán varios métodos de investigación.

3.1.4. Método Descriptivo

Se empleará el método descriptivo para analizar la situación actual de la agricultura en la República Dominicana, incluyendo el uso del agua, la aplicación de

pesticidas y los problemas asociados con la dependencia de la luz solar. Esto ayudará a comprender mejor los desafíos que enfrenta el sector agrícola y a identificar áreas donde se pueden implementar mejoras.

3.1.5. *Método Mixto*

Se aplicará un enfoque mixto que combina técnicas cualitativas y cuantitativas para recopilar datos. Esto incluirá entrevistas con agricultores y expertos en el tema, así como la recopilación de datos numéricos sobre el consumo de agua, la contaminación por pesticidas y otros factores relevantes para la investigación.

3.1.6. *Método Macro*

La investigación se llevará a cabo a nivel nacional, abarcando diferentes regiones de la República Dominicana. Esto permitirá obtener una visión completa de los desafíos que enfrenta la agricultura en todo el país y garantizar que las soluciones propuestas sean aplicables en diferentes contextos. Además, se establecerá un sistema de seguimiento y monitoreo continuo para evaluar el impacto de las intervenciones a lo largo del tiempo.

3.2. *Método, Técnicas e Instrumentos*

3.2.1. *Método*

El método utilizado en esta investigación será principalmente empírico, ya que se basará en la observación, experimentación y medición de variables relacionadas con el uso del agua en la agricultura, el uso de pesticidas y la implementación de técnicas de cultivo hidropónico. También se utilizará un enfoque lógico, particularmente analítico-sintético, para analizar y sintetizar los datos recopilados y llegar a conclusiones significativas.

3.2.2. Técnicas e instrumentos de investigación

1. Observación directa del sistema hidropónico NFT: Se observaron varios sistemas hidropónicos en persona, hicimos varias visitas para saber cómo funcionan y así poder implementar nuestro sistema.

2. Entrevistas con expertos en hidroponía: Se realizaron varias entrevistas con personas que hoy en día viven de la hidroponía, mención especial a Don Lechuga.

3. Cuestionarios para usuarios del sistema: Se diseñaron cuestionarios dirigidos a los usuarios sistema hidropónico NFT (por ejemplo, agricultores o responsables de cultivos) para recopilar información sobre su experiencia, satisfacción, dificultades encontradas y sugerencias de mejora.

4. Análisis de datos de producción de cultivos: Se analizó datos cuantitativos recopilados en el país, tanto por el ministerio de agricultura como el ministerio de estadísticas y estrategias de República Dominicana para así asegurar el rendimiento de los cultivos, tasa de crecimiento, calidad de los productos, consumo de agua y nutrientes, entre otros. Esto nos permitió evaluar la eficacia de nuestro sistema en comparación con otros métodos de cultivo.

5. Visitas a proyectos similares: Se realizaron 2 visitas a lugares donde hacen hidroponía tanto en NFT como en aeroponía.

6. Análisis económico y de costos: Se realizó un análisis económico detallado para evaluar la viabilidad financiera del sistema hidropónico NFT, incluyendo costos de construcción, operación y mantenimiento, así como beneficios económicos esperados, como ahorro de agua, aumento de la productividad y reducción de costos de insumos.

7. Documentos de fuentes oficiales: Ingresamos a las páginas oficiales de las instituciones que trabajan con Hidroponia, para obtener información verídica.

3.3. Población

La población objetivo incluirá agricultores, expertos en agricultura, funcionarios gubernamentales y otros actores relevantes en el sector agrícola de la República Dominicana. Estos participantes se encontrarán distribuidos en diferentes regiones del país y serán investigados durante un período de tiempo determinado.

3.4. Muestra

Se entrevistarán y encuestarán aproximadamente 50 agricultores, 10 expertos en agricultura y 5 funcionarios gubernamentales. La selección de la muestra se realizará de manera estratificada, asegurando la representatividad de diferentes regiones geográficas y sectores agrícolas.

3.5. Tipo de Muestreo

Se utilizará un muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando participantes que estén fácilmente disponibles y dispuestos a colaborar en el estudio.

3.5.1. Procedimiento

1. Selección y contacto con los participantes.
2. Aplicación de cuestionarios y entrevistas.
3. Análisis de datos cualitativos y cuantitativos.
4. Interpretación de resultados y formulación de conclusiones.
5. Elaboración de informe final de investigación.

3.6. Criterios de Inclusión

- Participantes que posean conocimientos básicos sobre agricultura y cultivo de plantas.
- Agricultores o horticultores interesados en adoptar nuevas técnicas de cultivo.

- Individuos con acceso a recursos básicos como agua, electricidad y espacio adecuado para instalar un sistema hidropónico.
- Personas que estén dispuestas a seguir las instrucciones y recomendaciones para el mantenimiento del sistema.
- Agricultores que busquen mejorar la eficiencia del uso del agua y los nutrientes en sus cultivos.
- Participantes que estén dispuestos a proporcionar retroalimentación y datos sobre el rendimiento del sistema.

3.7. Criterios de Exclusión

- Agricultores que no estén dispuestos a invertir tiempo en el aprendizaje y la operación del sistema hidropónico.
- Personas con limitaciones físicas que les impidan participar activamente en las tareas de mantenimiento del sistema.
- Agricultores que no estén dispuestos a seguir las recomendaciones técnicas o las buenas prácticas de cultivo.
- Individuos que busquen únicamente soluciones de cultivo a corto plazo sin interés en la sostenibilidad a largo plazo.
- Participantes que no estén dispuestos a proporcionar retroalimentación o datos sobre el rendimiento del sistema para propósitos de evaluación y mejora continua.

3.8. Alcance y Limitaciones

3.8.1. Alcance

Objetivos del proyecto: diseñar, desarrollar e implementar un sistema hidropónico NFT que permita un control total del crecimiento de los cultivos.

3.8.2. Recursos

- Equipo de Mecatrónica (cinco personas): 30 horas de trabajo a la semana durante 16 semanas
- Equipo de investigación (cinco personas): 30 horas de trabajo a la semana durante 5 semanas.
- RD \$1,200 pesos en planchas de PVC
- RD \$800 pesos nutrientes de los cultivos.
- RD \$1,200 pesos en madera.

3.8.3. Entregables

- Circuito electrónico para el funcionamiento del proyecto.
- Estructura completa del proyecto.
- Aplicación acompañada con el proyecto.
- Lechugas cultivadas.

3.8.4. Hoja de ruta del proyecto

- **Primer mes:** Asesoría, iniciación del proyecto, investigación del mercado, elección sobre el sistema de hidroponía.
- **Segundo mes:** Compra de materiales, investigación y plasmación, diseño de estructura, inicio de la aplicación, inicio de la estructura, pruebas de la electrónica.
- **Tercer mes:** Termino de estructura, implementación de la electrónica, implementación de la aplicación, diseño de PCB, diseño de software.
- **Cuarto mes:** Finalización de electrónica, finalización de aplicación, publicación y presentación de resultados.

3.8.5. Limitaciones

- Tecnología complicada y costosa de adquirir.

- Dependencia de la energía y la conectividad

4. Resultados de la investigación:

Después de investigar y explorar diferentes diseños de sistemas hidropónicos automatizados, nuestro proyecto se enfocó en desarrollar una solución integral que abordara múltiples aspectos clave de la agricultura hidropónica. Uno de nuestros principales objetivos fue reducir la dependencia del sol mediante la implementación de luces LED de alta eficiencia energética. Estas luces proporcionan la iluminación necesaria para el crecimiento de las plantas durante todas las etapas del cultivo, lo que permite un control total sobre el entorno de crecimiento y elimina la restricción de la luz solar.

Además, nos propusimos optimizar el uso del agua mediante la implementación de un sistema de recirculación y reutilización del agua en el sistema hidropónico. Esto significa que el agua utilizada para regar las plantas se recoge, filtra y vuelve a circular a través del sistema, minimizando así el desperdicio y reduciendo la cantidad total de agua necesaria para el cultivo.

Al combinar estas innovaciones con la automatización del suministro de nutrientes y la monitorización de variables ambientales como el pH y la temperatura, nuestro sistema hidropónico automatizado ofrece una solución completa y sostenible para el cultivo de plantas en interiores. Nuestro objetivo es proporcionar a los agricultores una herramienta versátil y eficiente que les permita aumentar la productividad y la rentabilidad de sus cultivos, al tiempo que reducen su impacto ambiental.

4.1.1. Desarrollo de la propuesta de solución

Ahora estamos listos para presentar los resultados y ver si logramos alcanzar los objetivos establecidos en nuestra propuesta inicial.

1. Reducción del uso de agua: Nuestro sistema hidropónico ha demostrado ser altamente eficiente en el uso del agua. Mediante el uso de soluciones nutritivas y recirculación de agua, hemos logrado reducir significativamente la cantidad de agua necesaria para el cultivo en comparación con los métodos tradicionales de riego por inundación. Esto se refleja en una disminución del porcentaje de agua utilizada en la agricultura, lo que contribuye a la conservación de este recurso tan importante.

2. Disminución del uso de pesticidas: Una de nuestras metas principales era reducir la dependencia de pesticidas en la agricultura. Al implementar prácticas de cultivo hidropónico que minimizan la exposición de las plantas a plagas y enfermedades, hemos logrado reducir significativamente el uso de pesticidas. Esto no solo beneficia la salud humana y el medio ambiente al disminuir la contaminación del agua y del suelo, sino que también contribuye a la seguridad alimentaria al producir cultivos más saludables y libres de residuos químicos.

3. Eliminación de la dependencia del sol: Con la incorporación de iluminación artificial de alta eficiencia energética, como luces LED, hemos logrado eliminar la dependencia del sol para el crecimiento de los cultivos. Esto significa que ahora podemos cultivar de manera consistente y predecible, independientemente de las condiciones climáticas exteriores. Además, esta tecnología nos permite controlar mejor el ciclo de crecimiento de las plantas y optimizar su rendimiento.

4. Reducción de enfermedades en los cultivos: Al cultivar en un ambiente controlado y libre de suelo, hemos observado una disminución significativa en la incidencia de enfermedades en nuestro cultivo, pero no nula, ya que se nos han enfermado algunas lechugas por tema de PH elevado. La separación de las plantas del suelo reduce la exposición a patógenos del suelo y otros organismos causantes de

enfermedades. Como resultado, hemos logrado producir cultivos más sanos y resistentes, lo que se traduce en una mayor productividad y calidad.

Nuestro sistema hidropónico controlado ha demostrado ser una solución efectiva para abordar los desafíos específicos de la agricultura en la República Dominicana. Hemos logrado economizar agua, reducir el uso de pesticidas, eliminar la dependencia del sol y disminuir las enfermedades en los cultivos, lo que contribuye a la sostenibilidad, la eficiencia y la seguridad alimentaria en el país.

4.2. Inversión Inicial

No.	Item	Cantidad	Precio	Coupon	Tax	Envío	Subtotal	Enlace
1	Gravity: Analog pH Sensor/Meter Kit V2	1	\$ 39.50	0%	0%	\$ 5.99	\$ 45.49	https://www.mouser.com/ProductDetail/426-SEN0161-V2
2	Gravity: DHT22 Temperature & Humidity Sensor	1	\$ 5.90	0%	0%	\$ -	\$ 5.90	https://www.mouser.com/ProductDetail/426-SEN0137
3	Plant Grow Light (LED)	2	\$ 9.77	10%	0%	\$ -	\$ 17.59	https://www.amazon.com/LBW-Spectrum-Lighting-Dimmable-Suitable/dp/B0B9WCBYPY
4	Pantalla OLED	1	\$ 9.32	2%	7%	\$ -	\$ 9.86	https://www.aliexpress.us/item/3256806171080517.html
5	VIVOSUN 480GPH Submersible Pump	1	\$ 16.99	15%	0%	\$ -	\$ 14.44	https://www.amazon.com/dp/B082M7FNKG
6	ESP32	1	\$ 9.00	0%	18%	\$ 3.40	\$ 14.20	https://www.mouser.com/ProductDetail/Espresif-Systems/ESP32-C3-DevKitM-1
7	Sintra 1.22 x 2.44 M (5MM)	1	\$ 16.00	0%	0%	\$ -	\$ 16.00	
8	Codo CPVC 1/2"	1	\$ 1.00	0%	0%	\$ -	\$ 1.00	
9	Tabla de Madera	1	\$ 15.16	0%	0%	\$ -	\$ 15.16	
10	PCB	1	\$ 6.40	0%	0%	\$ -	\$ 6.40	
11	Componentes Electrónicos	1	\$ 10.11	0%	0%	\$ -	\$ 10.11	
12	Malla Negra 3'	1	\$ 4.55	0%	0%	\$ -	\$ 4.55	
13	Modulo 16 bit ADS115	1	\$ 1.44	2%	7%	\$ -	\$ 1.58	https://www.aliexpress.us/item/3256805787660372.html
14	Modulo RTC DS3231	1	\$ 1.27	2%	7%	\$ -	\$ 1.40	https://www.aliexpress.us/item/3256805787657405.html
15	Digital PH /TDS/ EC Meter Tester	1	\$ 5.31	2%	7%	\$ -	\$ 5.65	https://www.aliexpress.us/item/3256805855219327.html
16	Manguera 1/2"	3	\$ 0.51		0%	\$ -	\$ 1.53	
17	Ventiladores 80x80x20mm	2	\$ 3.10	2%	7%	\$ -	\$ 6.43	https://www.aliexpress.us/item/3256805775465255.html
							Total USD \$ 177.28	
							Total DOP \$ 10,705.91	

Nota. Aquí podemos ver el aproximado que se nos ha llevado la realización de dicho proyecto.

4.2.1. Fuente de financiamiento:

1. Gobierno dominicano: El gobierno podría participar como inversor principal en el proyecto de implementación del sistema hidropónico controlado, ofreciendo financiamiento directo o a través de programas de desarrollo agrícola.

2. Empresas privadas: Empresas interesadas en el desarrollo y la sostenibilidad agrícola podrían ser socios financieros del proyecto, contribuyendo con fondos para la investigación, desarrollo y comercialización del sistema hidropónico.

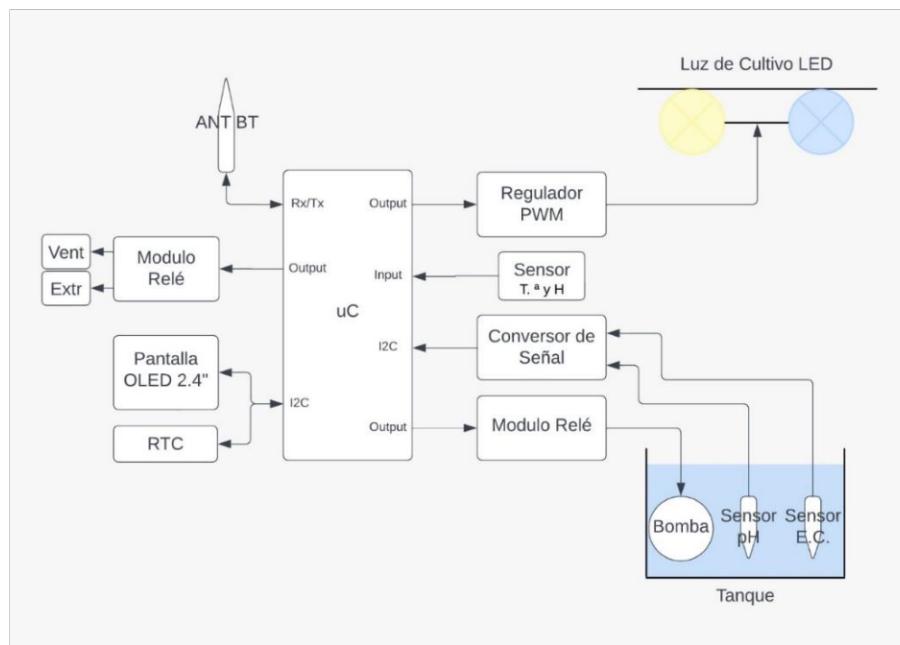
3. Inversionistas: Individuos o grupos de inversionistas que reconozcan el potencial del proyecto podrían proporcionar financiamiento en forma de capital o inversión directa.

4. Préstamos bancarios: Obtener préstamos de instituciones financieras locales o internacionales podría ser una opción para financiar el proyecto. Los fondos obtenidos se utilizarían para cubrir los costos iniciales del desarrollo y la implementación del sistema hidropónico, con la posibilidad de devolver el préstamo una vez que el proyecto esté en marcha y genere ingresos.

4.3. Diseño de Bloques

Imagen 27.

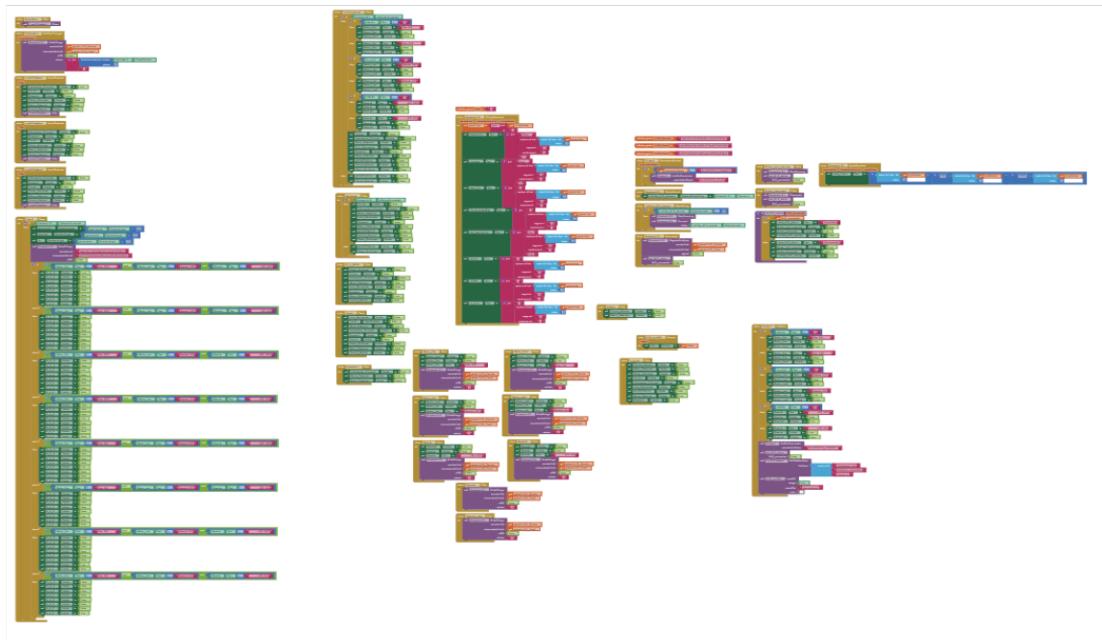
Diseño del sistema electrónico



Nota. Esta es una muestra del diseño que implementamos en la parte electrónica, donde lo veremos más detallado con los PCB, y diseño en KidCad.

El proyecto consta de una aplicación móvil donde se puede monitorear y configurar de manera manual todos los componentes que hacen funcionar el sistema, utilizando este diseño en bloques como referencia y guía.

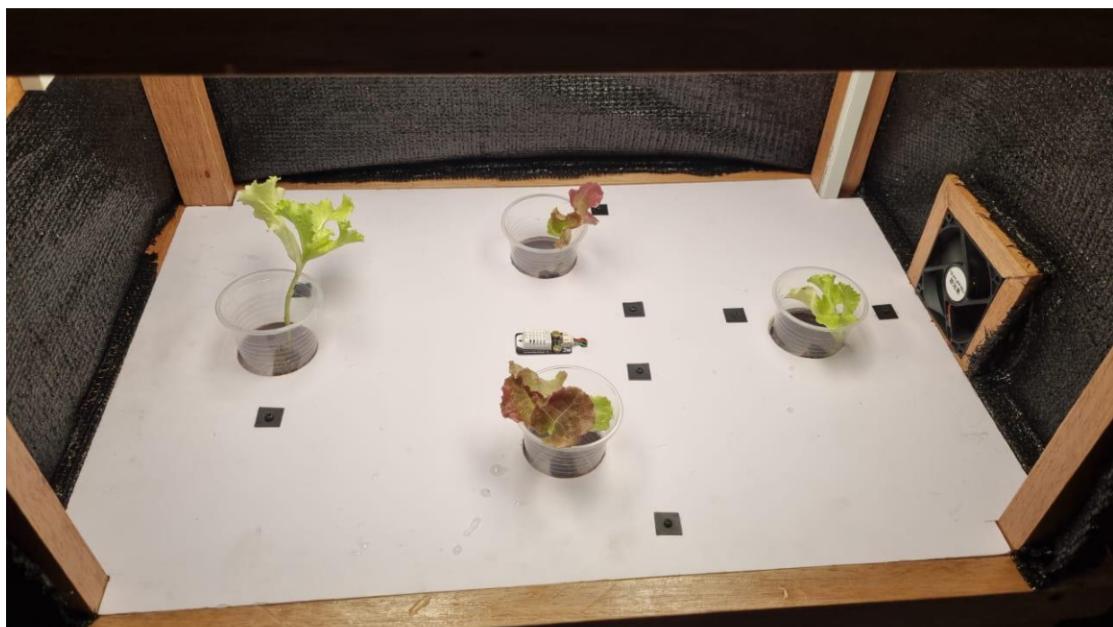
4.4. Diseño de la Aplicación



Nota. Este es el diseño en bloques de la aplicación que se utiliza para el sistema. La aplicación se realizó para métodos de monitoreo y control manual de todo el sistema.

4.5. Proceso de crecimiento de las lechugas

4.5.1. *Proyecto Funcionando en perfectas condiciones en un lapso de 14 días.*



Nota. Día 1 de haber colocado las lechugas.



Nota: Lechugas luego de 14 días en el sistema.

Esta es la segunda prueba que se realizó con las lechugas. En la primera, llevamos a cabo el experimento fuera de la estructura, aplicándoles la solución nutritiva, las luces LED y regulando su temperatura. Sin embargo, este experimento resultó ser un fracaso, ya que alrededor del noveno día las lechugas estaban muertas. Ahora, podemos observar el proyecto funcionando de manera perfecta en un período de 14 días. Los resultados fueron los esperados: las lechugas están creciendo de manera muy favorable, y el funcionamiento de cada variable es perfecto. Podemos afirmar que el proyecto se logró con éxito, ya que pudimos cultivar lechugas en hidroponía con un sistema automatizado y controlado.

4.5.2. Primer experimento en el proyecto.



Nota. Este fue el primer experimento donde se aplicó la solución nutritiva fuera del sistema, resultó ser un fracaso.

4.5.3. Lechugas aplicándole solamente sol y solución nutritiva.



Nota. Este es un grupo de lechugas que utilizamos para hacer las comparaciones del resultado, donde en este grupo solo se le aplicaba sol y solución nutritiva.

4.6. Diseño de nuestro proyecto

Imagen 28.

Estructura del proyecto

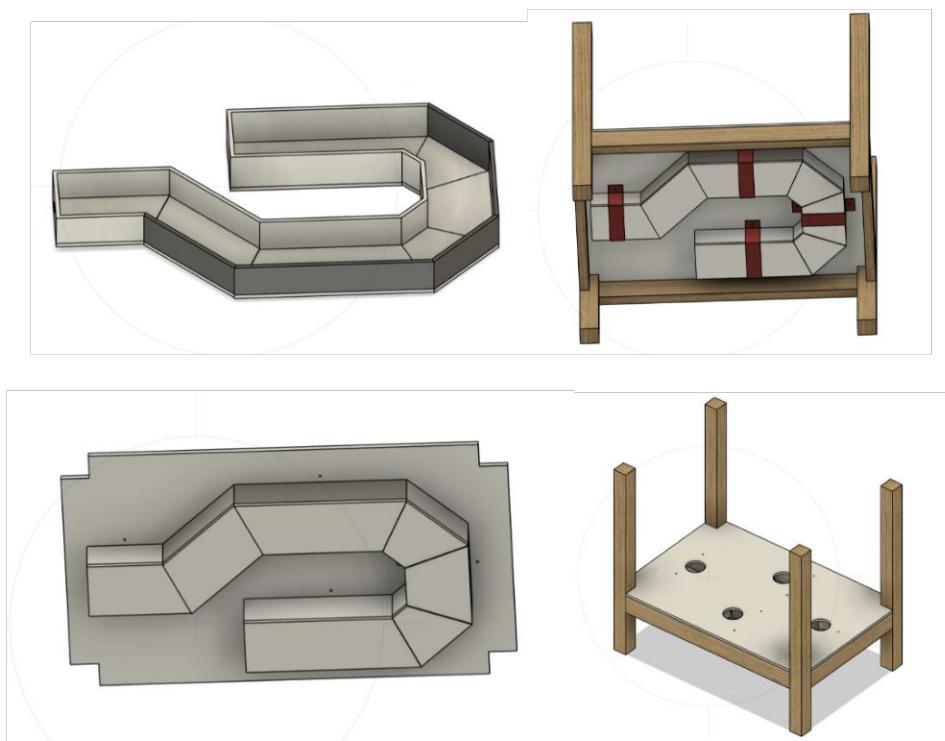


Nota. La estructura final cambió estéticamente, pero utilizando la base del diseño.

Sistema de tuberías:

Imagen 29.

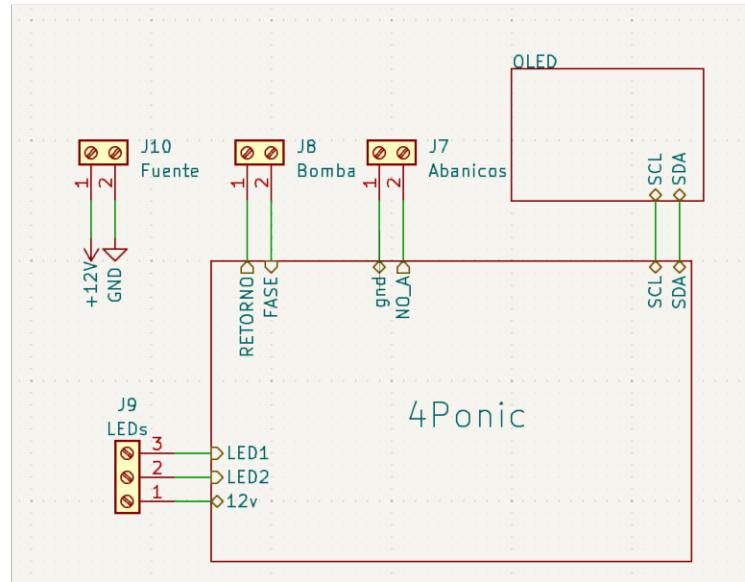
Sistemas de tuberías del proyecto



PCB:

Imagen 30.

Diagrama Esquemático del PCB



Nota. Representación esquemática del sistema, donde 4Ponic representa la PCB, J7-J10 los bloques de terminales para conectar los abanicos, la bomba, las luces LEDs y la fuente de alimentación, y OLED la pantalla de monitoreo.

Imagen 31.

Diagrama de bloques de los componentes de la PCB

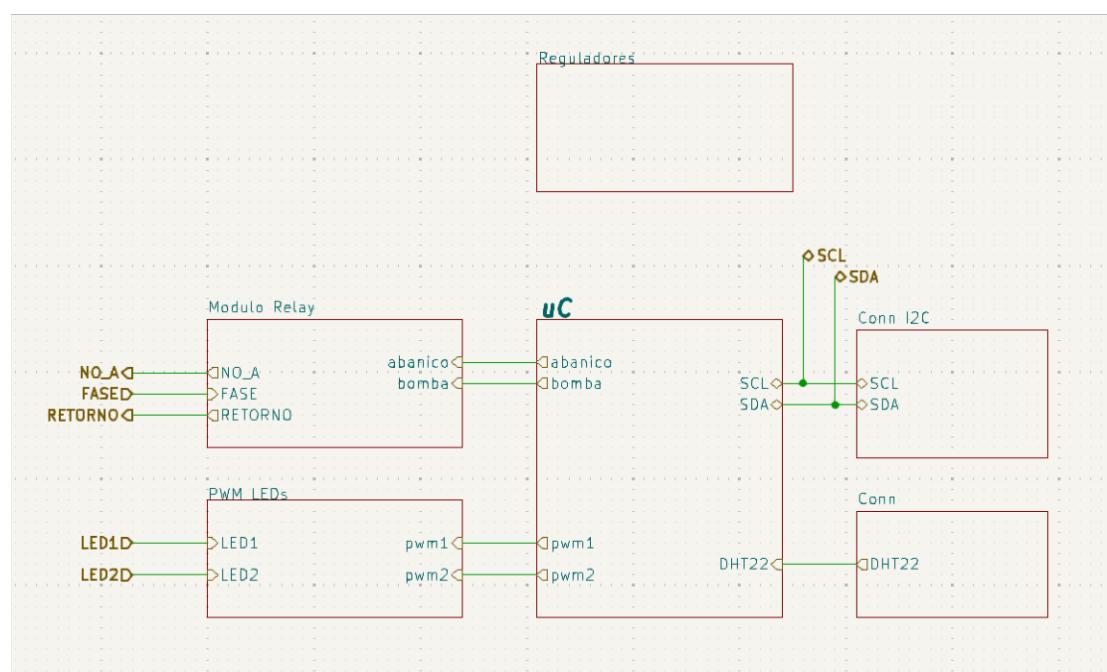
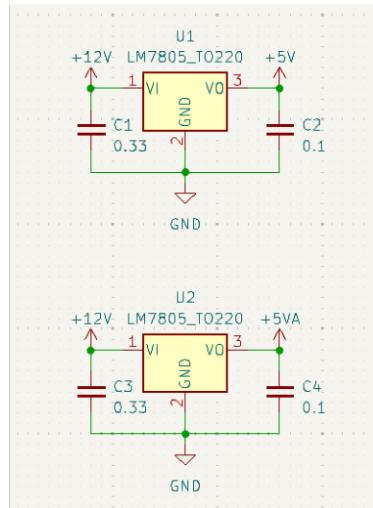


Imagen 32.

Esquemático de los reguladores



Nota. U2 fue reemplazado por un módulo LM2596 (regulador de voltaje step down) debido a problemas de calentamientos.

Imagen 33.

Esquemático del circuito de los relés

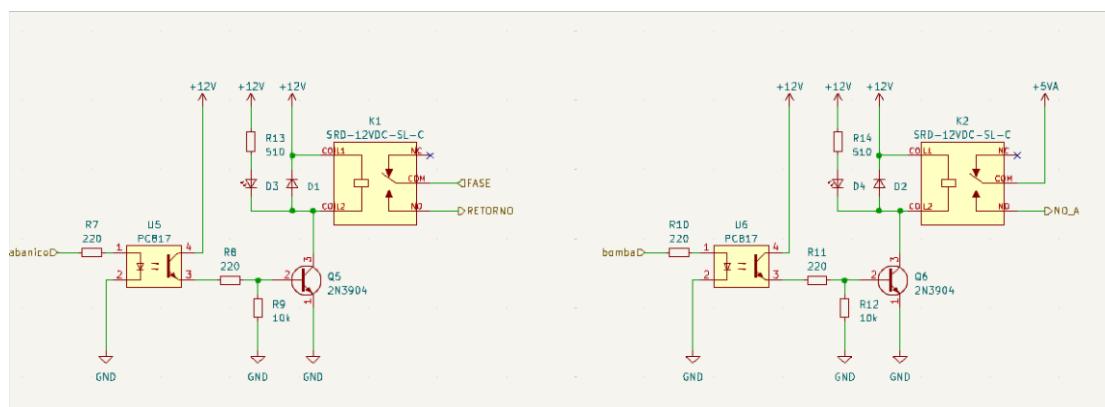


Imagen 34.

Esquemático del controlador de las luces LEDs

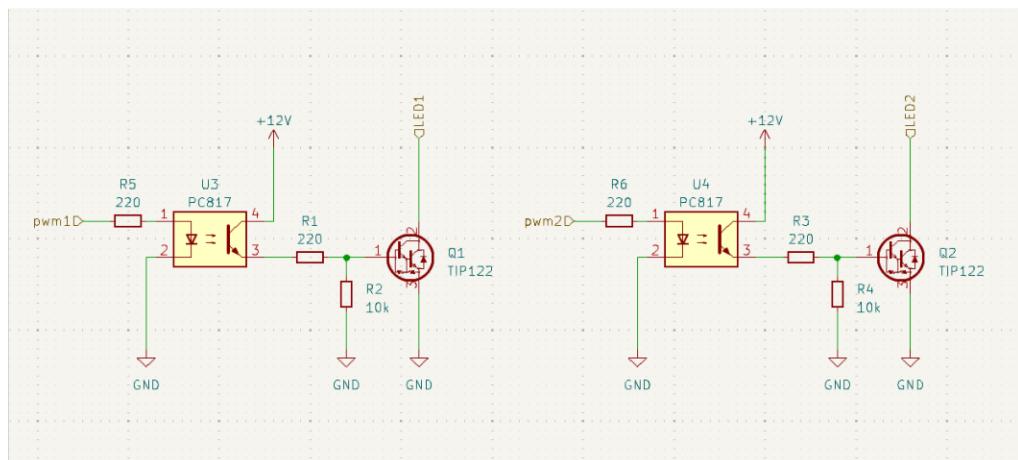


Imagen 35.

Esquemático de los conectores para los módulos externos

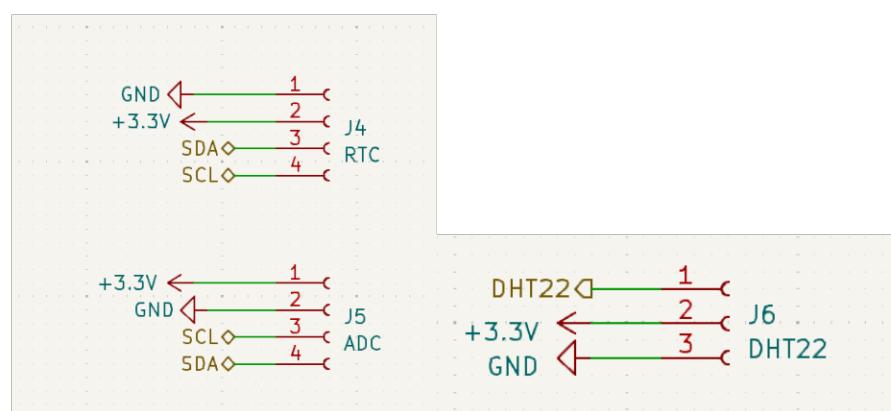


Imagen 36.

Esquemático de los conectores y conexiones para el ESP32 C3

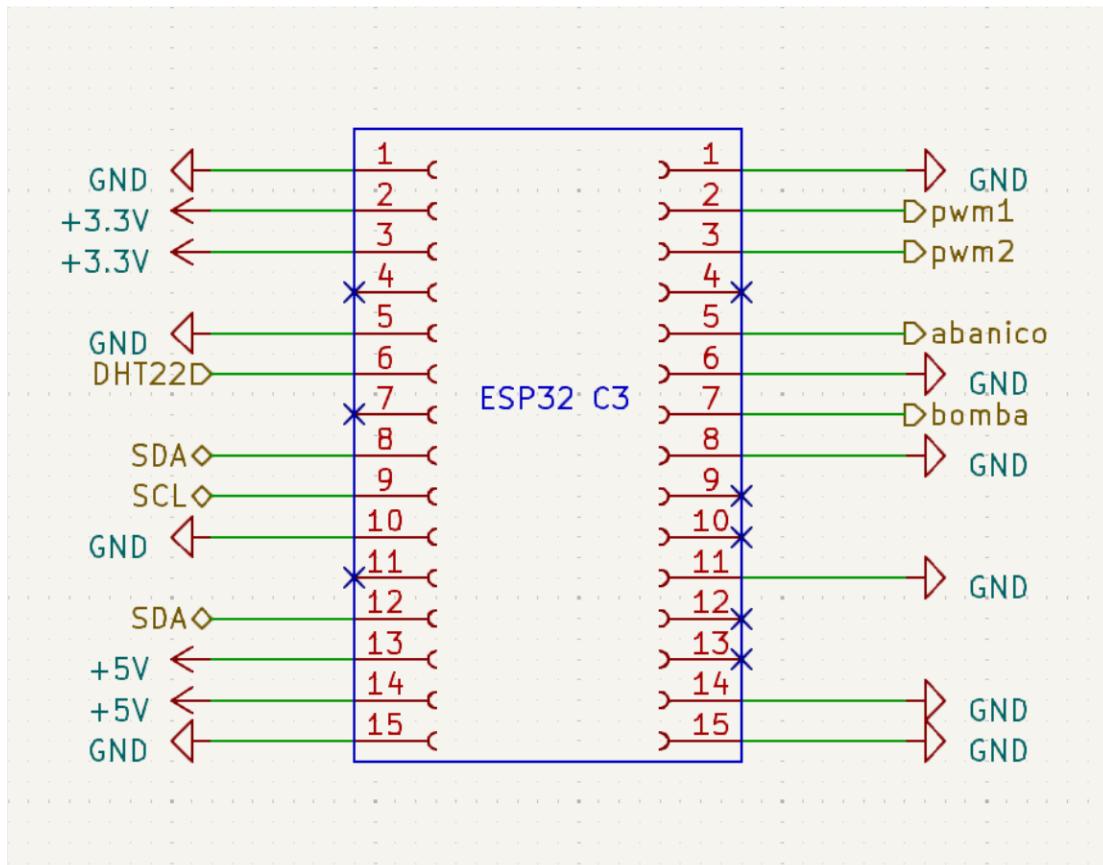
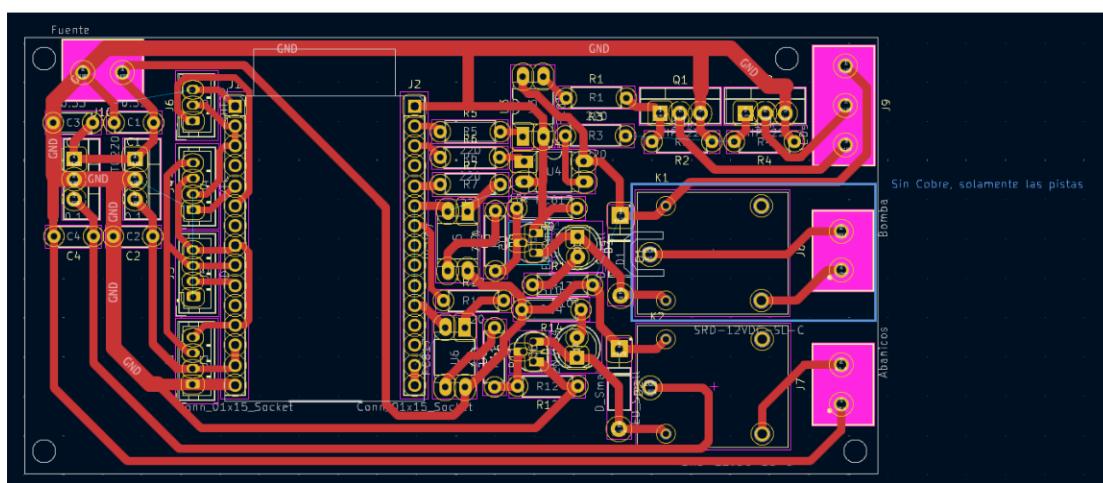


Imagen 37.

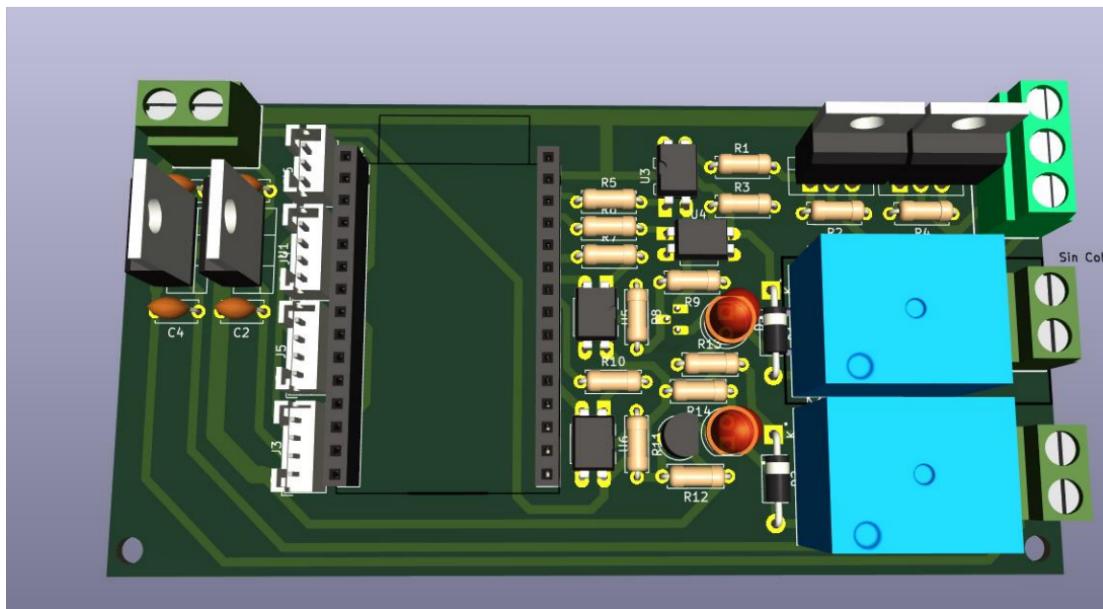
Diseño del PCB



Nota. La parte subrayada en azul solamente debe tener las pistas de cobre. No debe tener cobre alrededor de las pistas, debido a que el voltaje es 120V AC.

Imagen 38.

Diseño del PCB 3D



Nota. En la versión final un regulador LM7805 fue reemplazado por un módulo regulador LM2596.

5. Fuente de financiamiento:

1. Gobierno dominicano: El gobierno podría participar como inversor principal en el proyecto de implementación del sistema hidropónico controlado, ofreciendo financiamiento directo o a través de programas de desarrollo agrícola.

2. Empresas privadas: Empresas interesadas en el desarrollo y la sostenibilidad agrícola podrían ser socios financieros del proyecto, contribuyendo con fondos para la investigación, desarrollo y comercialización del sistema hidropónico.

3. Inversionistas: Individuos o grupos de inversionistas que reconozcan el potencial del proyecto podrían proporcionar financiamiento en forma de capital o inversión directa.

4. Préstamos bancarios: Obtener préstamos de instituciones financieras locales o internacionales podría ser una opción para financiar el proyecto. Los fondos obtenidos se utilizarían para cubrir los costos iniciales del desarrollo y la

implementación del sistema hidropónico, con la posibilidad de devolver el préstamo una vez que el proyecto esté en marcha y genere ingresos.

6. Análisis de Mercado de Empresas que Hacen Hidroponía Automatizada

Tomando como referencia datos del mercado local, estimamos un precio de venta al por mayor de US\$ 0.25 por lechuga de buena calidad, con un peso mínimo aproximado de 250 gramos.

Pérdidas Estimadas:

Es inevitable que una pequeña fracción de la cosecha no alcance los estándares de calidad. Para este análisis, consideramos un 1% de pérdidas, lo que significa que de las 6.700 plantas sembradas, 6.652 quedarán aptas para la venta.

Ingresos Esperados:

Con base en el precio de venta y la cantidad de lechugas comercializables, proyectamos un ingreso total de US\$ 1.663,2 por cosecha.

Rentabilidad por Metro Cuadrado:

Para comprender mejor la rentabilidad por unidad de área, dividimos el ingreso total por la superficie del cultivo, obteniendo un ingreso de US\$ 5,94 por metro cuadrado por cosecha de lechugas.

Costo de Inversión:

El costo de inversión, que representa la inversión inicial en infraestructura y equipamiento, se divide en 16 fracciones, considerando la vida útil estimada del proyecto (16 cosechas). Cada una de estas fracciones se suma al costo variable de cada cosecha para determinar el costo total por metro cuadrado.

Cálculo Detallado:

- Costo de Inversión Total por Metro Cuadrado: US\$ 15,13
- División por 16 Cosechas: $US\$ 15,13 / 16 = US\$ 0,94$

- Costo Variable por Metro Cuadrado: US\$ 2,69
- Costo Total por Metro Cuadrado: $US\$ 0,94 + US\$ 2,69 = US\$ 3,63$

Interpretación:

El costo total por metro cuadrado para una cosecha de lechugas hidropónicas es de US\$ 3,63. Este valor representa la suma de la inversión inicial dividida en 16 cosechas (US\$ 0,94) y el costo variable de operación por cosecha (US\$ 2,69).

Tras analizar los costos y el potencial de ingresos, es momento de adentrarnos en las utilidades y el índice de rentabilidad (IR) del cultivo hidropónico de lechugas.

Utilidad por Cosecha:

Con base en los datos previos, podemos estimar la utilidad por cosecha para los dos primeros años:

$$\text{Utilidad} = \text{Ingreso total} - \text{Costo total}$$

$$\text{Utilidad} = US\$ 5,94/m^2 - US\$ 3,63/m^2$$

$$\text{Utilidad} = US\$ 2,31/m^2$$

Interpretación:

En términos de rentabilidad, por cada metro cuadrado cultivado, se espera obtener una **utilidad de US\$ 2,31** durante los dos primeros años del proyecto.

Índice de Rentabilidad (IR):

El IR es un indicador que nos permite evaluar la rentabilidad del proyecto en términos porcentuales. Para este caso, se calcula de la siguiente manera:

$$\text{IR} = \text{Utilidad} \times 100 \% / \text{Inversión total}$$

$$\text{IR} = US\$ 2,31/m^2 \times 100 \% / US\$ 0,94/m^2$$

$$\text{IR} = 106,38 \%$$

Interpretación:

El IR del proyecto es del 106,38 %, lo que significa que por cada US\$ 1 invertido en el sistema hidropónico de lechugas, se genera una utilidad de US\$

1,0638. En otras palabras, la inversión se recupera con creces y se genera una ganancia adicional.

Los resultados obtenidos son alentadores. El cultivo hidropónico de lechugas presenta una utilidad atractiva y un índice de rentabilidad superior al 100 % durante los dos primeros años, lo que lo convierte en una propuesta económicamente viable.

Competidores:

1. **General Hydroponics:** generalhydroponics.com



2. **Hydrofarm:** hydrofarm.com



3. **Greentech Environmental:** greentechenv.com



4. **Bright Agrotech:** upstartfarmers.com

5. **Urban Crop Solutions:** urbancropsolutions.com



Mercado objetivo:

1. Agricultores comerciales.
2. Entusiastas de la jardinería.
3. Restaurantes.
4. Hoteles.
5. Centros de investigación Agrícola.
6. Amas de casa.

Necesidades/preferencias:

1. Eficiencia.
2. Facilidad de uso y mantenimiento.
3. Control remoto.
4. Durabilidad.
5. Integración con sistemas de gestión agrícola.
6. Control de la atmósfera.

Vacíos en el mercado:

1. Integración de tecnologías avanzadas.
2. Control remoto y conectividad online.
3. Sistema de almacenamiento de datos.
4. Adaptabilidad a diferentes tipos de cultivos.
5. Compatibilidad con energía renovable.
6. Control del sistema a distancia.

Tamaño del mercado:

1. **Global:** es un mercado impulsado por el ahorro del agua y la demanda de alimentos sostenibles con la tecnología.
2. **Puede ser presentado a:** un campo doméstico, un campo comercial, un campo institucional o un campo industrial.

Tamaño esperado para el mercado:

1. Se espera que el mercado siga creciendo en los próximos años debido a la creciente conciencia sobre la agricultura sostenible y la seguridad alimentaria. Y a la reciente investigación de Republica Dominicana por buscar un sistema que disminuya el desperdicio de agua destinado a la agricultura.

Obstáculos del mercado:

1. Alto costo inicial.
2. Falta de educación y conciencia.
3. Competencia de métodos tradicionales de cultivo.
4. Barreras de entrada para nuevos competidores.

7. ANALISIS DEL MERCADO DE PRODUCTOS PARECIDOS A 4PONIC

Competidores:

Marca: Yesbon



Funcionalidad:

Este sistema es un sistema de cultivo hidropónico de tipo DWC. Tiene la capacidad para 6 plantas, por lo que es ideal para cultivar hierbas y verduras básicas. El sistema incluye una luz LED de cultivo y un sistema de bomba.

Precio: US\$66.25

https://www.amazon.com/-/es/hidrop%C3%B3nico-interiores-autom%C3%A1tico-hidropon%C3%ADA-succulentas/dp/B0BFCLGWTQ?ref_=nav_ya_signin

Marca: MUFGA



Funcionalidad:

Este sistema es un sistema de cultivo hidropónico de tipo DWC (Deep Water Culture). Las plantas se cultivan en bolas de arcilla expandida que se sumergen en un depósito de agua. El sistema incluye una luz LED de cultivo, un sistema de bomba y una altura ajustable.

Precio: US\$59.99

<https://www.amazon.com/-/es/hidrop%C3%B3nico-c%C3%A1psulas-jardiner%C3%ADA-germinaci%C3%B3n-ajustable/dp/B0C4P57VVL?th=1>

Marca: Hisim



Funcionalidad:

Este sistema es también un sistema de cultivo hidropónico de tipo DWC. Tiene capacidad para 14 plantas, por lo que es ideal para cultivar una variedad de hierbas y verduras. El sistema también incluye una luz LED de cultivo, un sistema de bomba y una altura ajustable.

Precio: US\$64.99

<https://www.amazon.com/-/es/hidrop%C3%B3nico-jardiner%C3%ADA-interiores-crecimiento-autom%C3%A1tica/dp/B0BL798WGW?th=1>

Marca: Lzaonzoe



Funcionalidad:

Este sistema es un sistema de cultivo hidropónico de tipo NFT (Nutrient Film Technique). Las plantas se cultivan en un canal de agua que está constantemente circulando. El sistema incluye un tanque de agua de 5 litros que puede durar hasta 15 días sin necesidad de rellenarlo. El sistema también incluye una luz LED de cultivo y un sistema de bomba.

Precio: US\$99.99

<https://www.amazon.com/-/es/hidrop%C3%B3nico-jardiner%C3%ADA-interiores-crecimiento-autom%C3%A1tica/dp/B0BP6SLNDJ>

8. Conclusión

Al finalizar las investigaciones y procesos de fabricación del proyecto 4Ponic se observaron resultados satisfactorios provenientes de la fase de prueba. Donde se obtuvimos que las plantaciones agrícolas tradicional de lechuga crecían más lento en comparación de las lechugas plantadas en 4Ponic, dando veracidad al desempeño de trabajo que desarrolla la automatización de la agricultura hidropónica.

9. Bibliografía

León Benavides, P. (2021). Mapa de capacidad de uso de la tierra para la cuenca del Río Yuna intergrando el potencial metalogenético de las formaciones geológicas, República Dominicana. *Maestría en Manejo y Gestión en Cuencas Hidrográficas.*

Mulato Huamani, Javier & Aguilar, Salomón & Acuña, Hebert & Sánchez, Joel & Gomez, Rodolfo & Pareja, Alfredo & Miranda, Candelaria & Landeo, Oliver & Perez, Peter & Cuadros, Leonor. (2023). *Efecto de la iluminación LED en la producción hidropónica de lechuga (Lactuca sativa L.) bajo invernadero.* Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria.

https://www.researchgate.net/publication/372381905_Efecto_de_la_iluminacion_LED_en_la_produccion_hidroponica_de_lechuga_Lactuca_sativa_L_bajo_invernadero

Tecnificación Nacional de Riego. (s.f.). *CIFRAS SOBRE EL AGUA Y LA AGRICULTURA.* Gobierno de la República Dominicana.

<https://riego.gob.do/estadisticas/#:~:text=En%20la%20Rep%C3%BAlica%20Dominicana%2C%20el%2082%20%25%20del,57%20%25%20de%20toda%20el%20agua%20del%20pa%C3%ADs.>

Tecnificación Nacional de Riego. Gobierno de la República Dominicana.
<https://riego.gob.do/>

Jardiniemos. (s.f.). *Cultivo Hidropónico de Lechugas: Guía Exhaustiva y Consejos Prácticos.* Hidroponía. <https://jardiniemos.com/hidroponia/cultivo-hidroponico-de-lechugas-guia/>

Huertolia. (s.f.). *¿Cuántos litros de agua necesita una lechuga hidropónica para crecer?* Cultivos de Hortalizas. Hortalizas. <https://huertolia.com/cuantos-litros-de-agua-consume-una-lechuga-hidroponica/?=>

Krosagro. (8 de marzo de 2021). *Cómo cultivar arroz hidropónico simplificado.* <https://krosagro.com/es/tuneles-de-plastico/como-cultivar-arroz-hidroponico-simplificado/>

Banco Popular Dominicano. (s.f.). *Por qué la gestión del agua es esencial para el desarrollo económico de un país.* Medioambiente y cambio climático.

<https://popularenlinea.com/Personas/blog/Pages/Por-que-gestion-del-agua-es-esencial-para-el-desarrollo-econ%C3%B3mico-pais.aspx>

Hoekstra et al. (2021). *Manual de evaluación de la huella hídrica. Establecimiento del estándar mundial.* AENOR Internacional, S.A.U.
https://www.waterfootprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual_Spanish.pdf

Pichardo, I. & Salcedo, A. (s.f.). *Sistema Acuapónico Doméstico: Viabilidad económica y evaluación de Cultivos.*

http://investigare.pucmm.edu.do:8080/xmlui/bitstream/handle/20.500.12060/1959/P_20100103_46-57.pdf?sequence=1

Ministerio de Economía Planificación y Desarrollo (MEPyD). (s.f.). *Contexto Actual del Agua en la República Dominicana.* <https://mepyd.gob.do/wp-content/uploads/drive/Publicaciones/Contexto%20actual%20del%20agua%20en%20a%20República%20Dominicana.pdf>

Anónimo. (11 de noviembre de 2018). *El cambio climático y su impacto en el sector agrícola dominicano.* País Dominicano Temático.

<https://paisdominicanotematico.com/2018/11/11/el-cambio-climatico-y-su-impacto-en-el-sector-agricola-dominicano/>

Stamford, John & Stevens, Jim & Mullineaux, Philip & Lawson, Tracy. (2023). LED Lighting: A Grower's Guide to Light Spectra. HortScience: a publication

of the American Society for Horticultural Science.

https://www.researchgate.net/publication/367190817_LED_Lighting_A_Grower%27s_Guide_to_Light_Spectra

Seguridad y salud en la agricultura: repertorio de recomendaciones prácticas.
(2011). International Labour Office.

<https://research.ebsco.com/c/jvgagy/search/details/ym45ppke2z?limiters=None&q=agricultura&db=nlebk>

Pascasio J, Rodríguez A, Pinzón C. Prototipo de sistema automatizado para cultivos de tomate con iluminación LED en INDOOR

DonLechuga.Com. (s. f.). Don Lechuga - Escuela y Granja hidropónica.

<http://www.donlechuga.com/>

Vasquez, J. (2012). Diseño de un Sistema de Riego Aeropónico Automatizado. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/330/tesis.pdf>

del Puerto Rodríguez, Asela M, Suárez Tamayo, Susana, & Palacio Estrada, Daniel E. (2014). *Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 372-387. Recuperado en 22 de abril de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032014000300010&lng=es&tlng=es.

Acuña, S. (s.f.). *Análisis de los efectos de los plaguicidas y fertilizantes en la producción agrícola mediante modelos de optimización*. Departamento de Ingeniería Industrial.

Universidad de Los Andes.

<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/237c2236-15f0-4c38-ae35-d062699a0afe/content>

Grondona, Sebastián, Massone, Héctor, Gonzalez, Mariana, & Bedmar, Francisco. (2022). *EVALUACIÓN DEL PELIGRO DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN ÁREAS AGRÍCOLAS*. Revista internacional de contaminación ambiental, 38, 54194. Epub 09 de noviembre de 2022.

<https://doi.org/10.20937/rica.54194>

V. Ordoñez-Beltrán; M.N. Frías-Moreno; H. Parra-Acosta; et al. (s.f.). *Estudio sobre el uso de plaguicidas y su posible relación con daños a la salud*. Revista de Toxicología. <https://www.redalyc.org/journal/919/91967023011/>

Leyva-Ovalle, O. (2018). SISTEMA EFICIENTE PARA PRODUCCIÓN DE LECHUGA (*Lactuca sativa L.*). Agro Productividad, 9(6). Recuperado a partir de <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/772>

Ponce P., Molina A. & Mata O. (2017). *Controladores inteligentes para invernadero hidropónico*. Tecnológico de Monterrey, Ciudad de México, México.

https://www.rcc.cic.ipn.mx/2017_135/Controladores%20inteligentes%20para%20invernadero%20hidroponico.pdf

Sadek, N., Kamal, N. & Shehata D. (2024). *Internet of Things based smart automated indoor hydroponics and aeroponics greenhouse in Egypt*. Ain Shams Engineering Journal, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102341>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447923002307>

Silvestre, E. (29 de septiembre de 2022). *La hidroponía, sistema que gana terreno por facilidad de cultivar*. Periódico El Día. <https://eldia.com.do/la-hidroponia-sistema-que-gana-terreno-por-facilidad-de-cultivar/>