



Universidad Nacional de Lomas de Zamora
Facultad de Ciencias Agrarias
Tecnicatura Universitaria
en Arboricultura y Vivericultura

Trabajo Final de Carrera

**Titulo: “Nuevas Tecnologías
aplicadas al Cultivo Hidropónico”**

Autor: Sergio Daniel FOUCE

Tutor: Ing. Agr. Ángel D. Blasón

Carrera: Tec. Univ. en Arboricultura y Vivericultura

Fecha: Diciembre 2023

Agradecimientos:

A mi tutor, Ing. Agr. Ángel D. Blasón, por el apoyo y la guía en la confección del trabajo.

A las fuentes de inspiración: Dr. Pedro Roberto Furlani y a Dr. Jorge Luis Barcelos Oliveira (cariñosamente “Los Dinosaurios de la Hidroponia”) por la motivación brindada para seguir en este camino de conocimientos con permanente capacitación y actualización de saberes.

A Ivana Pages y Diego Oyagawa, por confiar en mis manos el proyecto “Huertos Hidropónicos IKIGAI”

Dedicatorias:

A mis Padres

Marta Beatriz Benavidez y Jesús Fouce Rodríguez

A mi madre que ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores lo cual me ha ayudado a seguir adelante en los momentos difíciles.

A mi padre que desde el cielo me ilumina para seguir adelante con mis proyectos y el apoyo incondicional que siempre me brindo.

A mis Hijos

Lucas, Maximiliano, Agustín y Valentín

Mis hijos son el regalo más grande que haya podido recibir como padre, son mi más grande tesoro y además la fuente más pura de mi inspiración, por ello mismo quiero darles las gracias por cada instante de felicidad en mi vida, el cual se ve reflejado en este momento. Gracias a ellos por ser la alegría de mi vida, y por estar a mi lado.

A Florencia

Por estar conmigo en aquellos momentos en que el estudio y el trabajo ocuparon mi tiempo y esfuerzo. Gracias por su ayuda y acompañamiento, por estar en mi vida.

Índice

| | Pagina |
|---|--------|
| 1 Resumen | 4 |
| 2 Introducción | 5 |
| Clasificación de los Sistemas Hidropónicos | 8 |
| Importancia de conocer los parámetros del cultivo | 13 |
| A que se denomina Agricultura 4.0 | 22 |
| 3 Materiales y Métodos | 25 |
| Características de los sensores utilizados | 34 |
| 4 Datos del Monitoreo | 43 |
| 5 Conclusiones | 57 |
| 6 Índices de figuras y cuadros | 59 |
| 7 Bibliografía | 61 |

Resumen

La Hidroponía se presenta como una alternativa complementaria a la creciente degradación de áreas agrícolas, producto de la desertificación, crecimiento desproporcionado de las ciudades, cambio climático, entre otras causas.

En la actualidad es una técnica innovadora para el manejo del cultivo de plantas sin suelo, aprovechando sitios o espacios convencionales, sin descuidar las necesidades de las plantas para su crecimiento, logrando su desarrollo mediante una solución nutritiva.

La técnica Hidropónica posee características específicas, el manejo no solo varía según el cultivo, sino también depende del sistema utilizado, conocer las ventajas de los distintos métodos de cultivo hidropónico le permite al productor tomar decisiones concretas,

La tecnología presente aplicada a los cultivos nos permite, tener un monitoreo detallado de las variables que influyen en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos.

En el año 2020 quedó demostrada la necesidad de la tecnología para poder sobre llevar las actividades diarias.

Si bien la hidroponía es una técnica que representa un avance en el método productivo basado en el manejo del ambiente y de la nutrición, cuando a esta técnica se le aplica tecnologías como "IOT - Internet de las Cosas", "Automatización y Control" la simple producción hortícola se transforma en una importante cadena productiva.

La tecnología viene a complementar el gran trabajo ya hecho por el hombre, otorgando previsibilidad, automatización y calidad.

INTRODUCCIÓN

El cultivo hidropónico, es una modalidad en el manejo de plantas, que permite su cultivo sin suelo. Mediante esta técnica se producen plantas aprovechando áreas no convencionales, sin perder de vista las necesidades de las plantas, como luz, temperatura, agua y nutrientes. En este sistema los elementos minerales esenciales son aportados por la solución nutritiva.

Se ha demostrado que la producción hidropónica es más eficiente que la tradicional en cuanto a aprovechamiento de recursos y capacidad de producción por unidad de superficie. El aumento obtenido en los rendimientos es muy notorio para todos los cultivos que se pueden adaptar a esta técnica en comparación con la siembra en suelo, lo que se traduce en un mejor costo-beneficio (Intagri, 2017).

La disponibilidad de agua y nutrientes, los niveles de radiación y temperatura del ambiente, la densidad de cultivo o disposición de las plantas en el sistema hidropónico, la acción de patógenos o plagas, etc.; son variables que inciden fuertemente en el rendimiento del cultivo.

Un cultivo hidropónico realizado en un área confinada y climatizada es un sistema fácilmente repetible, en consecuencia, se ha constituido en una herramienta valiosa para la experimentación en investigación y la enseñanza en distintos niveles educativos.

La hidroponía se presenta como una solución alternativa al creciente cambio climático, contaminación, desertificación y crecimiento desproporcionado de las ciudades; acompañando cambios de hábito en el consumo, en búsqueda de productos frescos.

El suministro de energía y de agua, el transporte, la gestión de los residuos o los propios sistemas constructivos deberían cambiar para acercarse a un modelo más sostenible.

El huerto hidropónico familiar, y el huerto hidropónico urbano, son ideas innovadoras que conducen a un sistema diferente, en un paisaje en el que cada uno de los participantes deberá contemplar desde una óptica sistémica. La producción de alimentos y la sustentabilidad del sistema deberán estar bajo evaluación permanente.

El cultivo de plantas sin suelo puede ser desarrollado desde la manera más simple y económica, hasta la más compleja y costosa.

Ventajas de los cultivos hidropónicos:

- Costos ajustados que permiten márgenes de producción.
- Independencia de fenómenos meteorológicos.
- Permite producir cosechas en contra estación.
- Ahorro en el consumo del agua.
- Uso eficiente de fertilizantes e insecticidas.
- Limpieza e higiene en el manejo del cultivo.
- Periodo de trasplante a cosecha más cortos.
- Alto porcentaje de automatización.
- Mejor calidad del producto.
- Altos rendimientos por unidad de superficie.
- Posibilidad de cultivar repetidamente la misma especie de planta al año.
- Mayor duración del producto pos cosecha
- Resulta amigable con el medio, ya que se trabaja con circuito cerrado, no requiriendo la rotación de cultivos.

Desventajas del cultivo hidropónico

- Inversión inicial algo elevada según nivel tecnológico implementado.
- Requiere un conocimiento específico, aún poco conocido para llevar adelante su producción.
- Deben conocerse requerimientos óptimos de cultivo (temperatura, el pH, la conductividad eléctrica, la concentración de sales)
- Requiere analizar datos tomados en el cultivo y controlarlos a fin de mantenerlos en un rango de valores normales.
- Carencia de personal capacitado.
- Pocas empresas especializadas en Hidroponía.

Precisamente, la demanda social sobre estos 2 últimos puntos establece un fuerte objetivo para este trabajo, a fin de facilitar el manejo/producción por parte del encargado y/o control del productor.

El aporte de nuevas tecnologías facilita la adopción de este sistema productivo, independiente de las condiciones ambientales, permitiendo mayor y mejor control del cultivo como así también mayor autonomía de manejo. Si bien el sistema hidropónico es una forma de producir alimentos de forma más eficiente y ecológica, el productor

debe estar consciente que necesita realizar una inversión en capacitación y nuevas tecnologías, que posteriormente, recuperará con la venta de sus productos.

“La Agricultura 4.0” o también conocida como “Agricultura digital o inteligente” se basa en la recopilación y análisis de datos sobre el sistema productivo, con el objetivo de mejorar la calidad de los cultivos y reducir las consecuencias en el ambiente. (Figura 1).

Esta tecnología promueve una forma de cultivar novedosa, basada en el uso de información buscando una producción más eficiente, con menores costos y logrando una mayor cantidad de alimento.



Figura 1: Esquema de interconexión de información entre integrantes de la cadena productiva.

El cultivo hidropónico se basa en el cultivo “sin suelo”, esto implica estar atento a los requerimientos de nutrientes por parte del cultivo, como así también para cada etapa fenológica y eso se logra mediante la aplicación de una solución nutritiva. En 1961 Steiner en Holanda, propuso el concepto de la solución nutritiva universal. Dicha solución clasifica a los nutrimentos según su carga eléctrica. Los aniones (carga negativa) considerados son el fosfato (H_2PO_4^-), el nitrato (NO_3^-) y el sulfato (SO_4^{2-}), mientras que los cationes (carga positiva) considerados son potasio (K^+), calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}). Steiner propuso que debe existir una relación entre estos aniones y cationes para que las plantas puedan aprovecharlos al máximo.

La Solución Universal de Steiner sigue siendo muy utilizada como base en la actualidad. Sin embargo, además de la concentración de nutrimentos (expresada a través de la conductividad eléctrica) y del balance de aniones y cationes, para elaborar

una solución nutritiva adecuada hay que considerar otra serie de factores como: el pH, aportes del agua, sinergismos y antagonismos entre nutrientes, requerimientos específicos del cultivo, dosis de micronutrientes y la forma de quelatarlos si es necesario, otros elementos como sodio, cloruros, amonio y bicarbonatos, etapa fenológica del cultivo, etc. (Castellanos, 2009).

Clasificación de los sistemas hidropónicos.

La absorción de nutrientes es un factor importante en el cultivo de plantas de cualquier tipo. Las raíces deben absorber lo que la planta necesita para permanecer sana y con un crecimiento y desarrollo conveniente. Cuando se cultiva en suelo, las raíces crecen continuamente en busca de los nutrientes, el agua y el aire en el suelo; en esto invierte una cantidad considerable de la energía. En el cultivo hidropónico, las raíces están continuamente en contacto con las cantidades apropiadas de nutrientes, ya que se colocan en un medio de crecimiento muy adecuado, así el ahorro de energía en producir raíces por la planta es utilizada para generar órganos aéreos en mayor cantidad (hojas, flores y frutos).

La clasificación de los cultivos hidropónicos ha evolucionado más recientemente hacia formas abiertas o cerradas, dependiendo de si vuelcan el efluente o reutilizan la solución nutritiva como forma de conservación ambiental y una mayor economía en su utilización. (Figura 2).



Figura 2: Tipos de sistemas de cultivos hidropónicos

- **Flujo y reflujo**

En un sistema de flujo y reflujo se inundan temporalmente las bandejas o piletas de crecimiento con solución nutritiva y luego ésta es drenada de vuelta al depósito. (Figura 3).

El flujo se provoca mediante una bomba conectada a un reloj temporizador (timer) que se activa varias veces al día. Cuando ésta deja de funcionar, la solución fluye de vuelta al depósito. Este sistema hidropónico tiene la gran ventaja de que puede implementarse con muchos tipos distintos de sustrato y que permite el crecimiento de varias especies vegetales. Sin embargo, es importante asegurar el correcto funcionamiento de la bomba y sistema de resguardo ante fallas.



Figura 3: Sistema de Flujo y Reflujo

- **Aeroponia**

Como indica su nombre la aeroponía es una técnica en la que las raíces se encuentran suspendidas en el aire, dentro de un medio oscuro, y se nebulizan con solución nutritiva de a breve lapsos de tiempo (Figura 4). Aunque es una técnica altamente eficiente, las raíces pueden secarse rápidamente si los ciclos de nebulización se interrumpen.



Figura 4: Sistema de Aeroponía

- **Raíz flotante**

En este método, las plantas se encuentran en una lámina o balsa generalmente de unicel que flota sobre la solución nutritiva, de modo que sus raíces están sumergidas dentro de la solución. (Figura 5).

Una bomba de aire le proporciona a la raíz el oxígeno necesario para su óptimo desarrollo. Éste es uno de los sistemas hidropónicos más simples y baratos y es muy popular en los salones de clases y en actividades con fines didácticos. Sin embargo, muy pocas plantas se desarrollan adecuadamente en este sistema, entre las que destacan la lechuga y otras hojas verdes.



Figura 5: Sistema de Raíz Flotante

- **Goteo**

En estos sistemas de riego, un timer controla una bomba que hace que la solución nutritiva gotee sobre la parte inferior de las plantas. En algunos de estos sistemas, es posible recuperar el exceso de solución nutritiva para reutilizarla, mientras que en otros el exceso de solución se desecha. (Figura 6).

Aunque un sistema hidropónico de recuperación permite aprovechar los nutrientes de manera más eficiente, es más fácil controlar el pH y la concentración de los nutrientes en un sistema sin recuperación de solución nutritiva.

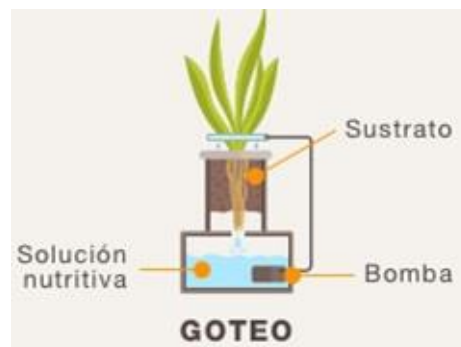


Figura 6: Sistema de Goteo

- **Mecha**

Esta técnica es una de las más simples, ya que no requiere de bombas para transportar la solución nutritiva desde el depósito hasta las charolas o bandejas de crecimiento (Figura 7).

Las plantas reciben la solución nutritiva mediante mechas o pabilos. El sistema de mecha es muy versátil y puede usar distintos tipos de sustrato, pero sólo puede usarse para plantas que requieren poca agua.

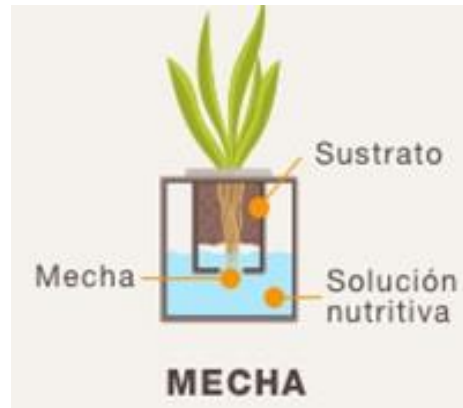


Figura 7: Sistema de Mecha

- **NFT**

La técnica de la película de nutrientes (Nutrient Film Technique, NFT) consiste en crear una película recirculante de solución nutritiva. (Figura 8)

Dado que el flujo de la solución es constante, no requiere de timer, además de que generalmente no requiere de sustrato. La solución nutritiva es bombeada desde un depósito hacia bandejas de crecimiento o tubos de PVC con plantas, donde entra en contacto con sus raíces antes de regresar al depósito. Aunque este sistema hidropónico es uno de los más comunes, es muy sensible a fallos en las bombas y en la energía eléctrica.

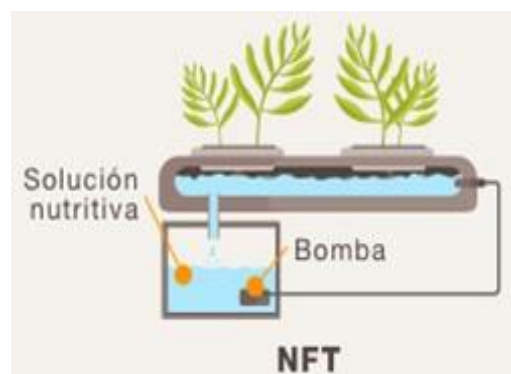


Figura 8: Sistema NFT

El advenimiento de la era digital permitió la introducción de los más recientes avances de la electrónica y la informática (hardware y software) para el control y ejecución de actividades.

Dichos avances sumado a las nuevas tecnologías en comunicaciones e información geográfica, que han hecho de la automatización del cultivo hidropónico una realidad y una tendencia cada vez más generalizada, con los consecuentes beneficios económicos y de manejo.

El conocimiento de los requerimientos de los cultivos, hace que estas herramientas se transformen en un elemento útil, pero con un cierto grado de complejidad.

El avance tecnológico ha permitido la instalación de invernaderos para plantaciones hidropónicas en los lugares más remotos del planeta, para asegurar el éxito de la actividad se deben realizar los correspondientes ajustes.

Las nuevas instalaciones, al ser más eficientes en los métodos de ventilación y circulación del aire, se ha logrado mayor control de la temperatura, lo que conduce a la obtención de mayores rendimientos.

El aumento del rendimiento se debe a la mayor cantidad de plantas por unidad de superficie, más cantidad de ciclos por unidad de tiempo, plantas uniformes de estado sanitario óptimo, menor desperdicio de hojas (en el caso de las especies hortícolas de hoja), teniendo en cuenta que en sistemas convencionales las hojas exteriores se eliminan para mejorar su apariencia.

El adelanto en el conocimiento del cultivo, desde el entendimiento de las necesidades fisiológicas, los nutrientes esenciales, la fenología del cultivo, su genética, etc., y todo esto aplicado a su manejo desde la densidad del cultivo, fechas de siembra y plantación, arquitectura de las plantas, etc.; han sido los impulsores para incrementar el área de producción y explotación de los cultivos hidropónicos.

La adaptación de muchos lugares del mundo para realizar instalaciones destinadas a sistemas de cultivos hidropónicos, impulso la necesidad de conocer cómo controlar el microclima del invernadero a través de modernos equipos y software adecuados, con considerables incrementos en la producción mundial de hortalizas, verduras y flores.

Además del progreso logrado con el uso del plástico y el definitivo aumento de la producción por las mezclas de nutrientes mejoradas, otro factor de gran importancia para el futuro es el desarrollo económico y uso de hardware para el control ambiental de los sistemas productivos.

La combinación del control ambiental y los sistemas hidropónicos mejorados han sido los principales responsables del crecimiento de la industria durante los últimos 20

años, y no hay duda de que la hidroponía tendrá gran importancia en la alimentación del mundo en el futuro.

En los últimos años, el área mundial destinada a la producción hidropónica se ha incrementado considerablemente. Se estima que más de 50.000 ha. se dedican a la producción hidropónica en el mundo.

Los sistemas mayormente utilizados son:

- | | |
|--|-----|
| - Sistema de riego por goteo | 90% |
| - Con sustrato lana de roca | 60% |
| - Sustratos inorgánicos | 20% |
| - Sustratos orgánicos | 10% |
| - Sistemas en agua NFT (Nutrient Film Technique) | 7% |
| - Raíz flotante | 3%. |

Los cultivos hidropónicos más rentables son tomate, frutilla, lechuga, espinaca, y flores para corte.

Con esta técnica se consiguen vegetales de mejor color, tamaño y valores nutritivos. Al no depender meteorológicamente del ambiente, el producto puede estar en el mercado en cualquier época del año, lo cual les provee una gran ventaja frente a los cultivados de manera tradicional en época al aire libre y al cosecharse (sin corte de raíz) su período pos cosecha es más duradero.

El precio de los productos hidropónicos obtenido en la comercialización generalmente es más elevado por su aspecto visual (se la observa con muy buen color y limpieza). (Beltrano y Giménez, 2015).

Importancia de conocer los parámetros en un cultivo hidropónico.

Está claro que la hidroponía permite una oportunidad de producción de alimento, pero para tener éxito en este tipo de sistemas es necesario tener un control y seguimiento continuo, que permita la verificación de las cuantificaciones involucradas en la producción. (Urdiales Ponce y Espín Ortega, 2018).

En el cultivo hidropónico la absorción de nutrientes depende de:

- **Electro conductividad (EC)**

La EC de la solución nutritiva hidropónica es una medida de todas las sales disueltas en el agua, incluyendo las que se agregan con el fertilizante y las que se encuentran presentes en forma de impurezas en la fuente de agua.

El valor óptimo de EC es variable según el cultivo, por ejemplo, para el cultivo de lechuga el rango óptimo de EC está entre 1,4 a 1,8 dS/m difiriendoligeramente de otros (Cuadro 1).

Cuando la fuente de agua es relativamente pura, la EC es un buen indicador de la cantidad de fertilizante disponible para la planta. Una EC baja indica que no se está suministrando suficiente fertilizante para satisfacer las necesidades de las plantas. La EC elevada es un problema más frecuente en los sistemas hidropónicos cerrados en los que se captura y reutiliza el agua de riego.

Este problema se presenta cuando las sales que no provienen del fertilizante y los iones del fertilizante exceden las necesidades de las plantas y se van acumulando en la solución nutritiva.

Muchos productores se han visto en la necesidad de filtrar el agua de ingreso al sistema antes de utilizarla en sus sistemas hidropónicos cerrados.

Aun cuando los cultivos tienen distintos grados de sensibilidad a la salinidad, se recomienda de manera general evitar las EC mayores a 4,0 mS/cm.

En los sistemas hidropónicos abiertos en los que el agua de riego no es capturada ni reutilizada, se puede manejar la acumulación de sales aplicando agua en exceso para lixiviar las sales solubles.

En los sistemas cerrados, se necesita “purgar” el depósito, lo cual implica drenar a propósito parte de la solución nutritiva para reemplazarla por agua dulce.

La solución puede tener los niveles de EC objetivo, pero si la mayoría de la EC proviene de sales que no son del fertilizante y que se han ido acumulando, como bicarbonatos y/o cloruro de sodio, la solución puede tener un bajo nivel de fertilización. (Salisbury y Ross, 2000).

Cuadro 1: EC recomendada para cada cultivo (Burgardt, 2022).

| Cultivo | EC (dS/m) | ppm |
|----------|-----------|----------|
| Lechuga | 1,4-1,8 | 650 |
| Tomate | 1,8-2,0 | 800-1000 |
| Pimiento | 1,8-2,2 | 800-1100 |
| Acelga | 1,5-3,0 | 650 |
| Apio | 1,8-2,4 | 750 |
| Kale | 1,8-2,2 | 750 |
| Albahaca | 1,0-2,9 | 650 |
| Frutilla | 1,0-1,1 | 600 |

- **Humedad ambiente**

La modificación de la humedad relativa es en función de los requerimientos del cultivo. En algunos casos se requiere de bajo contenido de humedad para prevenir ciertas enfermedades fungosas y bacterianas de los cultivos. Además, la humedad relativa del aire regula la apertura estomática e intercambio de gases entre la planta y el ambiente. La cantidad potencial de humedad está directamente relacionada con la temperatura del aire en el invernadero.

- **Calidad y cantidad de la radiación**

Como es sabido, la radiación solar es fundamental para el crecimiento y desarrollo de las plantas por su efecto biológico, el que se puede resumir fundamentalmente en fotosíntesis (suministro energético por intensidad) y respuesta al fotoperiodo (fitocromos que participan en el desarrollo a partir de la duración del día).

Una planta bajo condiciones naturales recibe la luz del sol; la cantidad, la calidad y la duración dependen en gran medida de la estación del año, la hora del día, la ubicación geográfica y el clima (Chen López, 2021).

La calidad de la luz se refiere al color o la frecuencia de onda. El sol emite longitudes de onda entre los 0,28 y los 2,8 μm (97 % de la distribución total del espectro). Se dividen en tres regiones: Ultravioleta (0,1 a 0,38 μm), luz visible (0,38 a 0,78 μm) e infrarroja (0,7 a 3,0 μm). Las longitudes de onda corta corresponden a las de más alta energía; la ultravioleta tiene energía más alta que la roja. Nosotros como humanos vemos las longitudes de onda entre 0,38 a 0,77 μm ; este intervalo se denomina luz visible. (Figura 9)

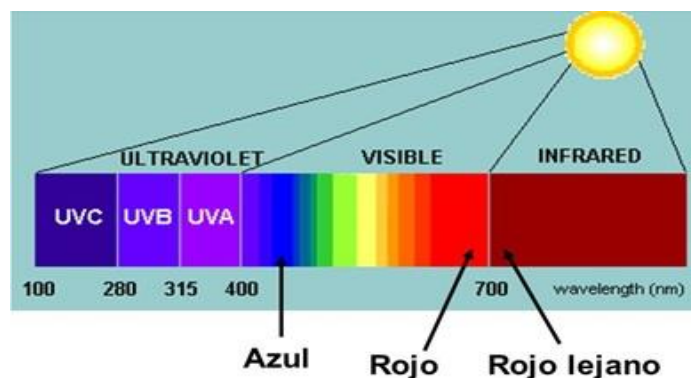


Figura 9: Espectro de la radiación solar. La luz visible se divide en: Violeta (0,38 a 0,430 μm), azul (0,43 a 0,5 μm), verde (0,5 a 0,57 μm), amarillo (0,57 a 0,59 μm), naranja (0,59 a 0,63 μm) y rojo (0,63 a 0,77).

- **Luz ultravioleta**

La luz ultravioleta B provoca daños en el ADN, reduce la velocidad de la fotosíntesis, disminuye el florecimiento y la polinización, y afecta el desarrollo de las semillas. La luz ultravioleta A (una subcategoría de la luz ultravioleta) puede provocar la elongación de la planta.

- **Luz azul**

Corresponde a uno de los puntos críticos de absorción; por lo tanto, el proceso fotosintético es más eficiente cuando hay luz azul. La luz azul es responsable del crecimiento vegetativo y de las hojas, y es importante para las semillas y las plantas jóvenes porque ayuda a reducir el estiramiento de la planta.

- **Luz roja**

Este es el otro punto crítico de absorción de la luz para las hojas. El fitocromo (un fotorreceptor) dentro de las hojas es más sensible a la luz roja y responde a esta. La luz roja es importante en la regulación del florecimiento y la producción de frutos. Además, ayuda a aumentar el diámetro del tallo y estimula la ramificación.

- **Luz roja lejana**

Esta luz puede provocar la elongación de la planta y desencadena el florecimiento en las plantas de días largos.

La luz percibida por las plantas, simbolizada por la expresión R:RL (rojo: rojo lejano), constituye un índice de la densidad y la proximidad de vegetación. Esta razón establece un fotoequilibrio entre las formas Pr (rojo) y Prf (rojo lejano) de los fitocromos. (Martínez García *et. al.*, 2001).

Cuando la relación es baja, eso significa que las plantas están más expuestas al rojo lejano que al rojo, se produce la elongación de la planta. En la naturaleza, vemos este fenómeno cuando las plantas vecinas dan sombra a otras; las plantas con sombra reciben una proporción mayor de luz roja lejana y tienden a crecer más altas para alcanzar la luz.

Las plantas fotosintetizan entre los 0,4 a 0,7 μm ; este intervalo se conoce como radiación fotosintéticamente activa o PAR (photosynthetically active radiation) y mediante la misma transforman el CO_2 y el agua en azúcares y O_2 .

La clorofila es la responsable de absorber la energía de PAR y tiene dos puntos críticos de absorción: la luz azul y roja. (Figura 10)

En resumen, el proceso más importante que desencadena la luz en las plantas es la fotosíntesis, la intensidad y la calidad de la luz impactan en la velocidad de la fotosíntesis, mientras más rápida sea la velocidad de la fotosíntesis, más rápido crecerá la planta. (Chen López, 2021).

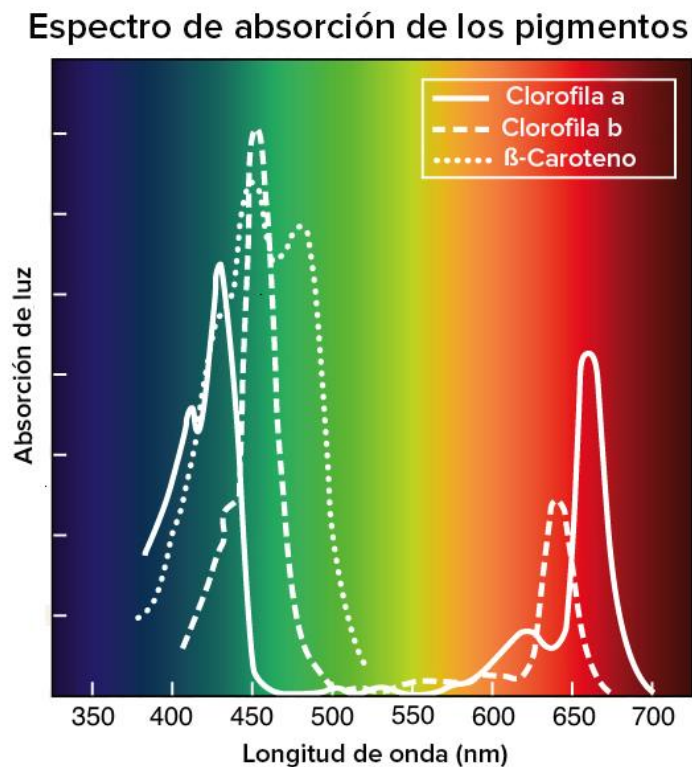


Figura 10: Espectro de absorción de los pigmentos vegetales.

Las plantas almacenan y usan los carbohidratos producidos durante la fotosíntesis como su fuente de energía. Cada especie de planta comienza el proceso de fotosíntesis a distintos niveles de energía radiante, lo que se denomina punto de compensación de la luz. Este punto se alcanza cuando la radiación es suficiente para realizar una actividad fotosintética que libera al medio una cantidad mayor de oxígeno de lo que requiere la misma planta para la respiración. O contrariamente, la liberación del dióxido de carbono producto de la respiración de la planta resulta ser menor que el dióxido de carbono total fijado por la planta en la fotosíntesis. En otras palabras, la fotosíntesis neta es cero.

Fotosíntesis neta = Fotosíntesis bruta – Fotorrespiración.

Generalmente, mayor cantidad de luz equivale a mayores niveles de fotosíntesis. Sin embargo, a medida que la intensidad de la luz aumenta, la velocidad de la fotosíntesis finalmente alcanza un punto máximo. Este punto donde la intensidad de la luz no aumenta la velocidad de la fotosíntesis se denomina punto de saturación de la luz. Cuando se alcanza este punto, la curva de la velocidad de la fotosíntesis se vuelve plana (Figura 11).

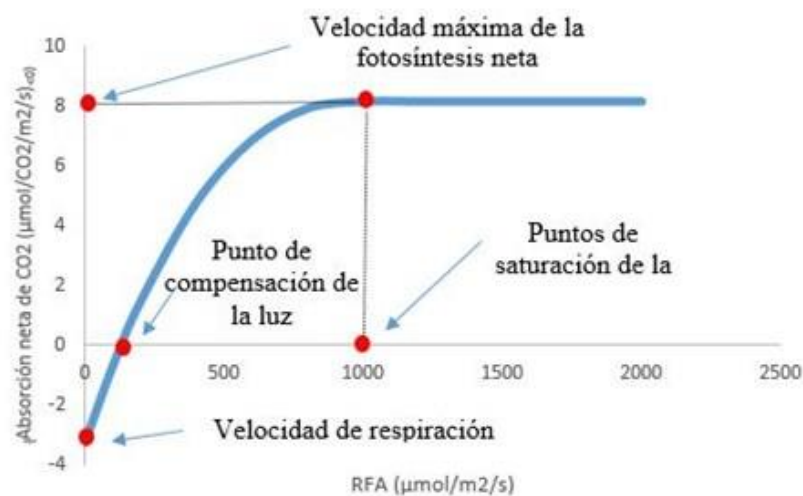


Figura 11: Punto de compensación de la luz y Punto de saturación de la luz. (Chen López, 2023)

Distribución de la luz según el tipo de fuente:

- Lámpara incandescente

Genera casi una tendencia lineal con poca luz que proviene del espectro azul y con mucha luz que proviene del espectro rojo.

- Lámparas fluorescentes

La mayor parte de su luz la generan en el espectro azul, verde y rojo; el nivel de luz más alto proviene del espectro azul.

- Lámpara de sodio de alta presión

El punto crítico más alto es el verde, seguido de cerca por el rojo.

- **Lámpara halógena**

El punto crítico más alto está en el espectro verde; el espectro rojo tiene aproximadamente la mitad del punto crítico de energía, seguido por el azul.

- **Diodos emisores de luz (LED)**

Este tipo de luz emite una longitud de onda específica. El fabricante puede producir estos diodos en el color o longitud de onda específicos (monocromático) que un cliente necesite.

- **pH**

En los sistemas hidropónicos, en el caso de utilizar el sistema con sustrato, éste en combinación con la solución nutritiva genera un aumento de salinidad y/o pH, desestabilizando los cultivos.

Las características químicas son en buena parte las causantes de problemas en un cultivo hidropónico, si estas no son controladas pueden generar hasta la muerte de la planta. El rango de pH en el cual los nutrientes se encuentran más disponibles ocurre entre 5,5 y 7,5.

El Diagrama de Troug (Ascon Bieto y Talon, 2019) es una forma gráfica que evidencia la influencia del pH sobre la disponibilidad de nutrientes, a mayor ancho de la banda mayor disponibilidad de ese nutriente. (Figura 12).

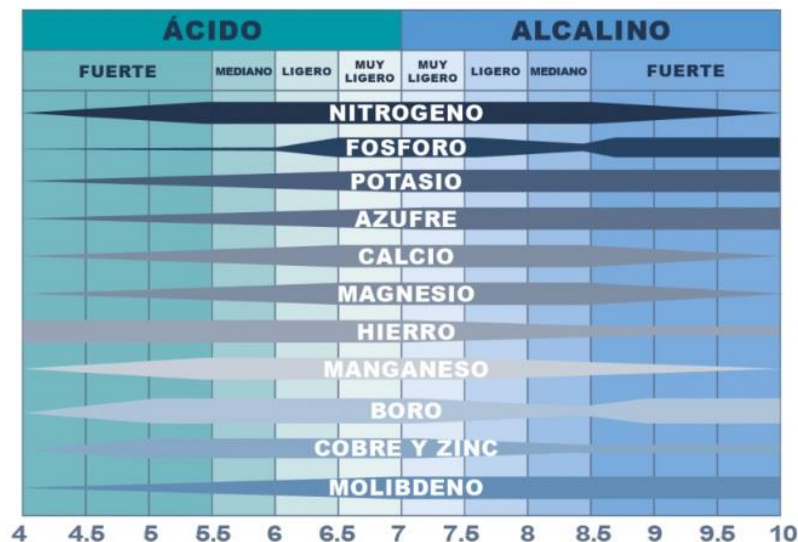


Figura 12: Diagrama de Troug

Si esta variante se encuentra en el rango apropiado, permite la asimilación correcta de los nutrientes, caso contrario se intoxicarían, teniendo una planta

enferma o casos extremos la muerte de esta (Urdiales Ponce y Espín Ortega, 2018). Por ejemplo para el cultivo de lechuga el rango de pH sugerido es de 5,5 a 6,5.

Cuando se requiere hacer ajustes al pH, se añade un ácido o una base, el amonio y la urea son formas ácidas de nitrógeno; mientras que el nitrato aumentará el pH. Se puede controlar el pH al ajustar la relación de las fuentes de nitrógeno en la solución fertilizante.

- **Temperatura de la solución**

La temperatura de la solución nutritiva influye en la absorción de agua y nutrientes, la temperatura óptima para la mayoría de las plantas es de aproximadamente 22°C; en la medida que la temperatura disminuye, la absorción y asimilación de los nutrientes también lo hace.

Una baja temperatura de la solución nutritiva tiene mayor efecto en la absorción de P (fósforo) que en la de N (nitrógeno) y agua. Con temperaturas menores a 15 °C se presentan deficiencias, principalmente de Ca (calcio), P (fósforo) y Fe (hierro). La solución también debe protegerse de la radiación directa de los rayos solares para evitar su calentamiento y alteración química y microbiológica. La temperatura de la solución debe mantenerse lo más cercana posible a los 22 °C (Favella *et al.*, 2016).

La solubilidad del O₂ en el agua depende de la temperatura, la presión parcial de O₂, la presión atmosférica, la salinidad del agua y el área de contacto entre agua y aire. Pero en condiciones normales (20°C, 1 atm de presión, 20-21% de O₂ en el aire), la cantidad máxima en solución está entre 8 y 9 mg l⁻¹. Esta concentración disminuye a medida que aumenta la temperatura y la concentración de sales disueltas.

- **Temperatura ambiente**

La temperatura del aire es un elemento bioclimático que favorece o promueve el aumento de la masa vegetativa. El crecimiento de una planta se detiene cuando la temperatura del aire desciende por debajo de un cierto valor mínimo o excede un cierto valor máximo. Entre estos límites existe un rango de temperatura óptima, en el cual la tasa de crecimiento es máxima (Cuadro 2).

Estos valores o “umbrales” son conocidos como temperaturas cardinales. Cuando se utilizan invernáculos (estructura y manejo) se aprovecha el

fenómeno “efecto de invernadero” en el balance de energía dentro del invernáculo con respecto al exterior modificando la temperatura dentro del invernadero. Cuando se hacen cultivos bajo invernaderos se debe considerar los siguientes aspectos: la mantención de temperaturas superiores a las externas en períodos de frío y la mantención de temperaturas frescas en horas de alta irradiación. El incremento de las temperaturas en ciertos rangos al interior de un invernadero origina acelera la actividad metabólica a nivel celular y de tejidos, produciendo una mayor tasa de crecimiento del cultivo. Al incrementar la temperatura mínima en periodos fríos se reduce el riesgo de heladas. Para elevar la temperatura en invernaderos fríos depende del tipo de cubierta que se utilice. Por otra parte, para bajar temperaturas altas se pueden utilizar mallas sombreadoras, aspersores sobre la cumbrera, y encalado sobre la cubierta para bajar la carga energética proveniente del sol. (Martínez García *et al.*, 2001).

Cuadro 2: Temperatura mínima vital y rango óptimo de temperatura para algunos cultivos (Bribiesca, 2020).

| Cultivo | Temp. Min. Vital | Rango óptimo de temp. |
|------------|------------------|-----------------------|
| Pepino | 12 | 27 - 30°C |
| Pimiento | 10 | 25 - 28°C |
| Lechuga | 6 | 22 - 26°C |
| Tomate | 10 | 26 - 30°C |
| Rosa | 10 | 25 - 26°C |
| Crisantemo | 8 | 25 - 28°C |

El cultivo de lechuga soporta mejor las temperaturas bajas que las elevadas. Como temperatura máxima soporta hasta los 30°C, pero como mínima letal puede soportar hasta -6°C. La lechuga exige que haya diferencia de temperaturas entre el día y la noche. Cuando soporta temperaturas bajas durante algún tiempo, sus hojas toman una coloración rojiza, que se puede confundir con alguna carencia.

El crecimiento de las lechugas es vigoroso cuando las temperaturas se mantienen entre 18 y 24°C durante el día. Temperaturas del orden de 6°C durante la noche no frenan su crecimiento.

- **Temperatura del sustrato**

La temperatura del sustrato generalmente coincide con la temperatura de la solución e influye en la absorción de agua y nutrientes. Cada cultivo posee un rango de temperatura dentro de la cual su desarrollo es el óptimo.

- **Humedad de sustrato**

La humedad del sustrato esta directamente relacionada con las características del sustrato o mezcla utilizada, con el tamaño de partícula y con la porosidad.

El agua y el aire se “almacenan” en los espacios presentes entre las partículas del sustrato, conocidos como poros. Las propiedades físicas de adhesión y cohesión del agua permiten que sea retenida en estos por un fenómeno conocido como capilaridad. La fuerza con la cual las partículas adsorben y retienen el agua se denomina potencial mátrico y está directamente relacionado con el tamaño de partícula. En este caso, los poros más pequeños permiten retener el agua con mayor fuerza o potencial mátrico. Por el contrario, cuando los poros o espacios son demasiado grandes, su potencial mátrico es muy bajo, presentando baja o nula capacidad para retener el agua. En este caso, estos huecos quedan ocupados por aire, que permiten la oxigenación de las raíces.

¿A que se denomina Agricultura 4.0?

La máquina a vapor, el modelo Ford T y la computadora personal son producto de las tres Revoluciones Industriales por las que pasamos a lo largo de la historia. La cuarta es la llamada industria 4.0, de donde se deriva la Agricultura 4.0.

Estos objetos representan, respectivamente, el inicio de la mecanización, la línea de producción en masa y la automatización de procesos. La cuarta revolución se caracteriza por la aplicación de la inteligencia artificial. Pilar fundamental en la actual agricultura de precisión.

La agricultura 4.0 se basa en la recopilación y análisis de datos sobre el campo, con el objetivo de mejorar la calidad de los cultivos y reducir las consecuencias en el ambiente.

Esto es posible con el uso de las nuevas tecnologías. Los drones (y otros robots), sensores, software, etc. son capaces de realizar tareas agrícolas en menos tiempo

que el ser humano y con mejor resultado. Sus múltiples funciones permiten el ahorro de suministros, recursos y tiempo en un trabajo realmente exigente.

La agricultura 4.0 promueve una forma de cultivar novedosa, basada en el uso de información que nos sirve para producir de manera más eficiente, con menores costos y logrando una mayor cantidad y calidad de alimento.

- **Seguridad alimentaria**

Todos los productores tienen al alcance posibilidades de mejora en su ámbito, con mayor o menor inversión. Al lograr obtener mayor cantidad de alimento, de una manera más eficiente y menos contaminante, se asegura alimento para todas las personas y para futuras generaciones.

- **Sostenibilidad**

Gracias a los modernos métodos usados, la cantidad de productos químicos aplicados innecesariamente disminuyen. No solo pesticidas, sino también fertilizantes. Teniendo información clara y precisa de la cantidad de nutrientes que requiere el cultivo, como así también el requerimiento exacto de cada nutriente según el ciclo fenológico que se encuentre, se evita aplicar exceso de solución nutritiva.

A su vez se puede reinsertar en el circuito la solución drenada, de esta forma se evita arrojar al exterior solución salina que luego se perderán en los acuíferos, mejorando gracias a esto la sostenibilidad de los sistemas.

- **Herramientas de la agricultura 4.0**

Dentro de la agricultura existen miles de herramientas para la producción. Sin embargo, en esta segunda revolución verde, las herramientas utilizadas pasan a ser más modernas y generar más información.

Toda la información generada debe ser analizada para poder obtener conocimiento aplicable en el campo. Para ello, es necesaria la capacitación y formación profesional.

- **Monitoreo ambiental**

Gracias al sistema de sensores y ordenadores se pueden conocer el estado de los cultivos in situ o de forma remota a tiempo real, pudiendo analizar la información y tomar decisiones para optimizar los recursos.

- **Big Data**

La Big Data es una forma de llamar al cúmulo de datos obtenidos por estos sistemas digitales y su procesamiento. Para lograr una Big Data se inicia con la generación y recolección de pequeños paquetes de datos, que al ser acumulados y ordenados correctamente se pueden analizar de forma global obteniéndose más conocimiento que el de las partes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Objetivo General del presente trabajo es implementar una herramienta para un sistema de producción hidropónica con monitoreo constante de sus parámetros esenciales en tiempo real.

Objetivos:

- Diseñar una estructura que soporte a los sensores para que sea fiel su medición:
 - Electro conductividad de la solución nutritiva (ms/cm)
 - Humedad atmosférica ambiente (%)
 - Humedad del sustrato (%)
 - Intensidad lumínica (Lúmenes lx)
 - Nivel de agua en el depósito (%)
 - pH
 - Presión atmosférica (hPa)
 - Temperatura de la solución (°C)
 - Temperatura ambiente (°C)
 - Temperatura del sustrato (°C)
- Visualizar la información actual de dichos sensores sobre una aplicación de celular de fácil entendimiento.
- Habilitar el registro, almacenamiento y descarga de los datos censados para realizar el seguimiento del cultivo.
- Implementar la transmisión vía Wifi para el software
- Implementar un prototipo para cultivo hidropónico con visualización de parámetros en tiempo real y alarmas de monitoreo

El sistema se implemento en un prototipo “IKIGAI Huertos Hidropónicos” y se realizo el seguimiento sobre 2 variedades de lechuga, se seleccionó esta especie debido a su ciclo corto, de forma tal que en poco tiempo se podían obtener datos, las variedades utilizadas fueron *Lactuca sativa* var Carmín y *Lactuca sativa* var Isabella, su ciclo fue de 35 días a partir del trasplante el 22 de septiembre de 2021. (Figura 13)

Para el presente trabajo se tomaron los datos durante el ciclo del cultivo, desde el momento del trasplante de los plantines (con 3 y 4 hojas verdaderas con 30 días

desde la siembra) hasta la cosecha 35 días fue el tiempo que se necesitó para la cosecha en estas variedades de lechuga, llegando al peso de 260 grs/planta. El módulo “IKIGAI Huertos Hidropónicos” está ubicado dentro un invernáculo tipo capilla con malla media sombra de 50 % aluminizada en el predio de la Escuela de Arboricultura, Jardinería y Ecología Aplicada de Lomas de Zamora (-34.774,-58.424).



Figura 13: Variedades utilizadas (*L. sativa* var Carmín e Isabella)

El prototipo está formado por 3 módulos, cada uno posee 2 bateas de 70 Litros de capacidad, la batea inferior es el depósito de la solución nutritiva y la superior destinada a contener el sustrato. (Figura 14).

Las bateas inferiores están conectadas mediante caño de PVC de 2 pulg. (50mm) entre si y a la bomba que se encuentra ubicada en la batea central.



Figura 14: Prototipo IKIGAI Huertos hidropónicos.

El sustrato de las bateas superiores está compuesto por la siguiente proporción:

| | |
|----------------------------------|-----|
| Pometina (dolomita) | 50% |
| Mezcla (35% turba + 15% perlita) | 50% |

Funcionamiento

Al poner en funcionamiento es importante controlar que las bateas inferiores estén cagadas con solución para no hacer funcionar la bomba en vacío con riesgo de sobrecalentamiento y rotura.

La bomba impulsa la solución hacia las bateas superiores, cuando estas se saturan hasta el nivel determinado por la altura del sifón de campana, descargan automáticamente el remanente de solución regresando al reservorio dejando el sustrato a capacidad de campo (CC). (Figura 15, 16 y 17)



Figura 15: Zona de ingreso de solución nutritiva



Figura 16: Sifón de campana



Figura 17: Vaso comunicante entre bateas inferiores

La bomba se programó para que encienda a las 7 hs, 10 hs, 13 hs, 16 hs y 19 hs; el horario (Figura 18) y la duración depende de las características del sustrato utilizado, de las condiciones ambientales y de la fenología del cultivo, el usuario puede realizar su propia programación según sus necesidades.

La bomba no enciende por la noche teniendo en cuenta que el sustrato se encuentra saturado y la planta disminuye su actividad.

| ← Horarios de la bomba ↻ | |
|--------------------------|---------|
| Bandeja | |
| Emajea | |
| ⌄ Desde | ⌄ Hasta |
| 10:00 | 10:10 |
| 13:00 | 13:10 |
| 16:00 | 16:10 |
| 19:00 | 19:10 |
| 07:00 | 07:10 |

Figura 18: Seguimiento del funcionamiento de la bomba

Los nutrientes son aportados al cultivo mediante una solución nutritiva, se entiende por esto a una mezcla de elementos nutritivos en solución, cuya concentración y relaciones elementales favorecen la absorción nutrimental por el cultivo. En este caso se utilizó la fórmula de Steiner. (Figura 19)



STEINER

Universal para todos los cultivos

CULTIVOS: Hortalizas hoja, fruto, tallo, bulbo, tubérculos, aromáticas, ornamentales

| MACRONUTRIMENTOS | | MICRONUTRIMENTOS | |
|------------------|---------|---------------------|----------|
| Nitrógeno (N) | 175 ppm | Hierro (Fe-EDTA) | 1.5 ppm |
| Fósforo (P) | 47 ppm | Manganeso (Mn-EDTA) | 0.8 ppm |
| Potasio (K) | 313 ppm | Zinc (Zn-EDTA) | 0.3 ppm |
| Calcio (Ca) | 181 ppm | Cobre (Cu-EDTA) | 0.06 ppm |
| Magnesio (Mg) | 49 ppm | Boro (B) | 0.4 ppm |
| Azufre (S) | 112 ppm | Molibdeno (Mo) | 0.06 ppm |

Suministra 15 nutrientes esenciales
12 minerales + 3 suministrados naturalmente: Carbono (C), Hidrógeno (H), Oxígeno

Rinde 1000 L

Figura 19: Formula de Steiner.

Se realizó el seguimiento del ciclo del cultivo y se evidenció un importante crecimiento. (Figura 20 y 21).



Figura 20: Cultivo a los 10 días del trasplante.



Figura 21: Cultivo completamente desarrollado, 30 días desde el trasplante.

Los sensores registran la información de los parámetros ambientales y del cultivo y los suben a un sistema Cloud (nube) dónde pueden ser obtenidos por cualquier sistema informático que utilice la organización. La información procesada a su vez se envía a los productores a través de una aplicación móvil (4DataSuite - propiedad de Mirai4 versión 1.2.15.3277) que recibe alertas sobre situaciones que requieren la atención del cultivo y permite la interacción con el sistema a través de cualquier dispositivo. (Figura 22 y 23).



Figura 22: App a disposición desde el Play Store



Figura 23: Ingreso a la App con Usuario y Contraseña

Nota: Ambas imágenes (Fig. 22 y 23) fueron extraídas de https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mirai4.a4datasuite&hl=es_AR&gl=US&pli=1

Contando con el servicio de WiFi y mediante la App 4datasuite, que se puede bajar a distintos dispositivos (computadora y/o celular) podemos verificar en cualquier momento y a distancia si los parámetros del cultivo se encuentran dentro de los

valores aceptables para el cultivo en cuestión, como así también posee un servicio de alarma cuando algún parámetro se encuentra fuera del rango óptimo.

En el caso de no contar con servicio inalámbrico (Wifi o Bluetooth) el equipo continúa tomando datos y los reserva en su memoria, de ser necesario es posible extraer la tarjeta de memoria (SD) y bajar los datos almacenados a un ordenador para poder analizarlos y hacer el seguimiento del cultivo.

Se puede programar para que el equipo tome datos de forma permanente, pero se programó, en este caso, para que lo haga cada 10 min a fin de no saturar la memoria interna de resguardo (SD).

Los sensores reportan a **4DataSuite**, que es una aplicación que permite la publicación y generación de información en un teléfono o tableta, sincronizando automáticamente y/o a demanda. Todas las personas vinculadas con la organización pueden consultar y generar las novedades de su función en cualquier lugar.

La aplicación compara los datos censados con los rangos óptimos cargados en la nube del servidor para cada cultivo, en este caso lechuga. (Cuadro 3)

La App posee un costo mensual para que reporte en formato de alarma en tiempo real a necesidad del productor, en el caso que no desee tener un costo fijo igualmente dispone del servicio de la toma de datos desde el modulo mediante la extracción de la tarjeta de memoria (SD).

Cuadro 3: Cuadro de parámetros y rango óptimo cargados a la aplicación para el cultivo de lechuga.

| Parámetro | Mínimo | Máximo |
|------------------------------|---------------|---------------|
| Electroconductividad (ms/cm) | 0,80 | 3.00 |
| Humedad ambiente (%) | 45 | 80 |
| Humedad de sustrato (%) | 40 | 100 |
| Lúmenes (lx) | 10000 | 60000 |
| Nivel de agua (%) | 30 | 100 |
| PH | 5 | 7 |
| Presión atmosférica (hPa) | 900.00 | 1100.00 |
| Temp. Agua (°C) | 10 | 35 |
| Temp. Ambiente (°C) | 5 | 35 |
| Temp. Sustrato (°C) | 10 | 35 |

Las mediciones se ven en los dispositivos según las Figuras 24 y 25.

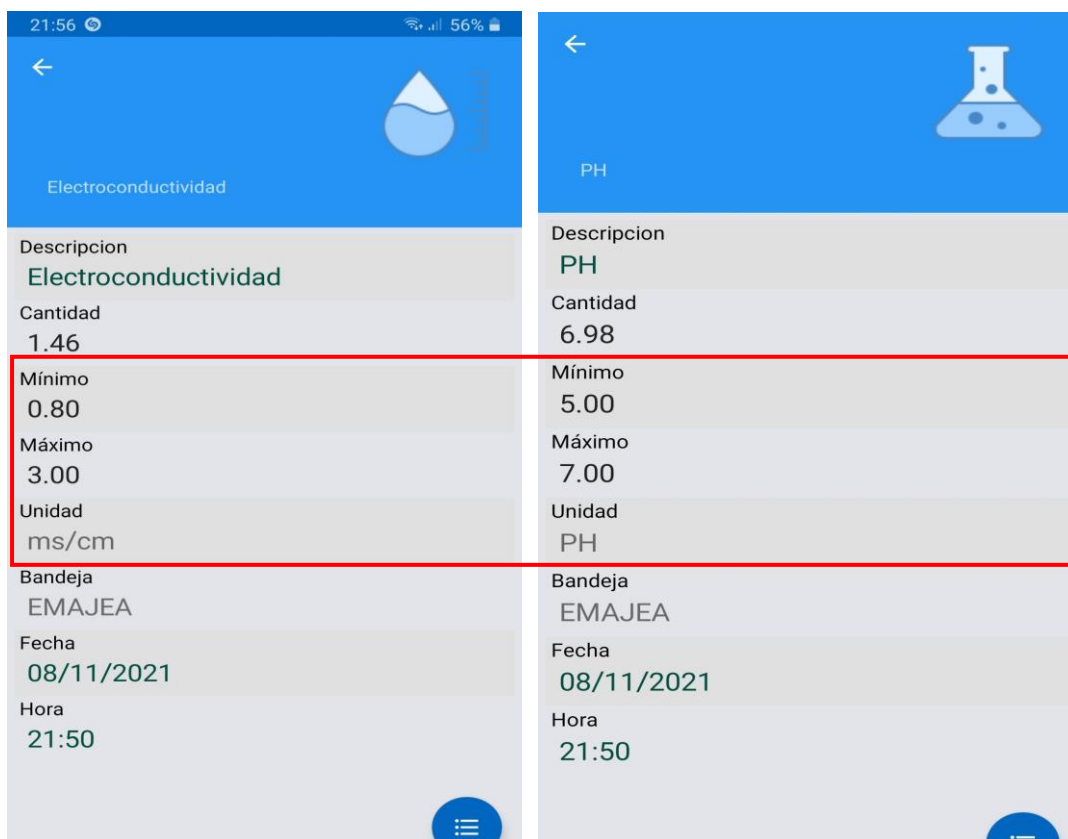


Figura 24: Visualización de rangos máximos y mínimos de CE y PH cargados a la aplicación

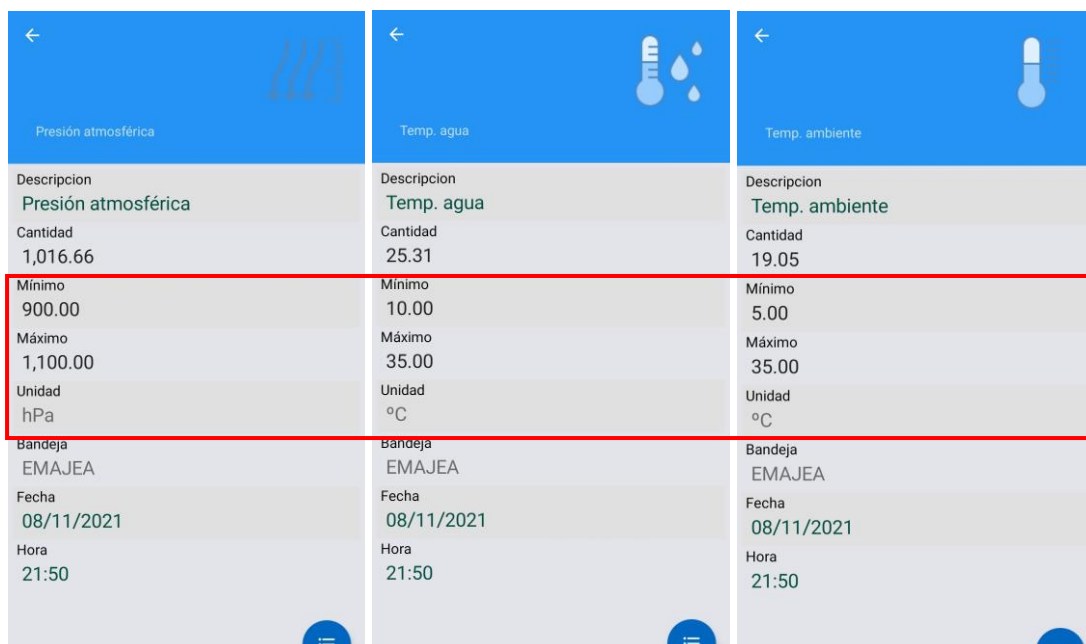


Figura 25: Visualización de datos en la aplicación donde detalla el parámetro, el valor en ese momento y debajo los valores min, max, unidad, ubicación, fecha y hora

CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES UTILIZADOS.

- **Sensor de Electroconductividad**

Sonda de electrodo de Sensor con compensación de temperatura. (Figura 26)

Rango de medición:

0 01us/cm-600us/cm o 0-100PSURange puede ser personalizado

Temperatura: 0-80 °C

Presión (MPa): 0-0,6

Modelo de salida: KDM-202/KDM-203: RS485(MODBUS/RTU)

Precisión: $\pm 1.5\%$ F

Fuente de alimentación: DC12V -24V $\pm 10\%$

Resolución: 0 1us/cm o o.1PSU

<http://www.glenvironment.com/product/detail-15.html>



Figura 26: Sensor de electroconductividad

- **Sensor de Humedad de sustrato.**

Este sensor análogo de la humedad del suelo mide niveles de la humedad del suelo por la detección capacitiva. (Figura 27)

Este sensor de humedad del suelo capacitivo se distingue de la mayoría de los sensores resistivos del mercado y utiliza la constante dieléctrica del agua para detectar

la humedad del suelo. El problema de que el sensor de resistencia se corroe fácilmente se evita, y su vida útil se extiende considerablemente.

El sensor tiene un chip regulador de voltaje integrado que soporta un entorno de trabajo de hasta 5 V, lo que significa que funciona incluso en una placa de control de 5 V Arduino. Un PC en miniatura como el Raspberry Pi sólo necesita un módulo de conversión ADC externo (analógico a digital de señal) para funcionar. Este sensor es compatible con la interfaz de 3 pines "gravedad", lo que significa que se puede conectar directamente al escudo de expansión de E/S de gravedad.

Especificaciones:

Pin: salida de señal analógica, GND, VCC

Voltaje de funcionamiento: 5 VDC.

Interfaz: PH2.54-3P.

Tamaño: 98 x 23 mm (largo x ancho).

<https://www.robotics.org.za/CAP-SW-12>



Figura 27: Sensor de humedad de sustrato.

- **Sensor de iluminación.**

El sensor de iluminación digital para medición de flujo luminoso (iluminancia). Posee un convertor interno de 16-bit, por lo que entrega una salida digital en formato I2C. (Figura 28). El sensor entrega la intensidad luminosa directamente en unidades Lux (Lx). El lux es la unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades para la iluminancia o nivel de iluminación. Equivale a un lumen /m². Se usa en la fotometría como medida de la luminancia, tomando en cuenta las diferentes longitudes de onda según la función de luminosidad, un modelo estándar de la sensibilidad a la luz del ojo humano.

Ejemplos de iluminación (Lux):

Noche: 0.001-0.02

Luz de medianoche: 0.02-0.3

Interior nublado: 5-50

Exterior nublado: 50-500

Soleado Interior: 100-1000

Bajo el sol de verano: alrededor de 10^6

Recomendado para lectura de libros: 50-60;

Estándar de video casero: 1400.

Especificaciones Técnicas:

Voltaje de Operación: 3V – 5V

Interfaz digital a través de bus I2C con capacidad de seleccionar entre 2 direcciones

Respuesta espectral similar a la del ojo humano

Realiza mediciones de iluminancia y convierte el resultado a una palabra digital

Amplio rango de medición 1-65535 lux

Modo de bajo consumo de energía

Rechazo de ruido a 50/60 Hz

Baja dependencia de la medición contra la fuente de luz: halógeno, led, incandescente, luz de día, etc.

<https://moviltronics.com>

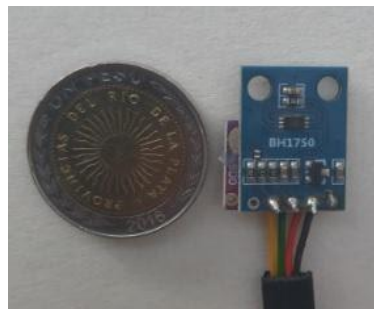


Figura 28: Sensor de luminosidad.

El sensor se ubicó a una altura de 40 cm teniendo en cuenta que se utilizó lechuga como cultivo de referencia. (Figura 29)



Figura 29: Disposición del sensor de luminosidad.

- **Sensor Nivel de agua en el depósito.**

Se utilizó un sensor interruptor de nivel de agua. (Figura 30).

El cual está basado en un interruptor magnético tipo Reed Switch que se encuentra herméticamente sellado dentro del vástago de nuestro sensor y que se acciona al mover el flotador de espuma el cual contiene un imán permanente.

El sensor de nivel de agua puede ser configurado para trabajar como interruptor normalmente abierto o normalmente cerrado solo es cuestión de voltear el flotador de espuma.

Descripción:

Tres (3) sensores de nivel de agua

Largo: 54mm

Ancho 28mm

Diámetro de los soportes: 7.7mm

Fabricante: Genérico

Modelo: CS-CO058

voltaje del switch: 130 V DC/AC

Corriente del switch: 0.5 A

Resistencia: Agua

Temperatura de trabajo mínima: - 10 °C

Temperatura de trabajo máxima: + 85 °C

Peso: 20 g

<https://tallerarduino.com/2012/10/26/sensor-de-nivel-de-liquido-y-arduino-o-pingüino-pic/>



Figura 30: Sensor de nivel de liquido

- **Sensor de pH.**

El módulo y sensor de pH es un dispositivo que nos ayudara a medir el pH con ayuda de un electrodo como el cual está reservado un conector BNC.

Tiene un voltaje de alimentación de 5V (entre más exacto es el voltaje de 5V más exacto será la medición del pH) lo cual lo hace compatible con tecnologías TTL como lo es Arduino, PIC, AVR, DSP, Raspberry entre otros siempre y cuando se tenga una entrada analógica (ADC) disponible.

Generalmente es utilizado con Arduino UNO por lo que se podrá encontrar varios proyectos que lo utilizan. Cuenta con un potenciómetro de offset el cual te ayuda a calibrar la medición de pH (el más cercano al conector BNC) mientras que el otro potenciómetro controla la salida **Do** la cual se activa cuando el pH haya alcanzado el límite que hayamos configurado a través del potenciómetro cabe mencionar que la salida **Do** es de 3.7V como salida alta.

El pin **Po** puede conectarse directamente a un pin analógico de un Arduino, PIC o cualquier tecnología TTL, por lo que no es necesaria alguna librería específica para que podamos utilizarlo. Como adicional cuenta con dos indicadores LED uno para señalar la alimentación del circuito y otro para señalar la salida **Do**. (Figura 31)

Especificaciones:

Voltaje de calentamiento: 5-0,2 V (Ca-CC)

Corriente de funcionamiento: 5-10 mA

Rango de concentración de detección: PH0-14

Rango de temperatura de detección: 0-80

Tiempo de respuesta: =5S

Tiempo estable: = 60 S

Consumo de energía del componente: = 0,5 W

Temperatura de funcionamiento: -10-50 °C (temperatura nominal 20 °C)

Humedad de funcionamiento: 95% RH (humedad nominal 65% RH)

Vida útil: 3 años

Tamaño: 32mm x 42mm x 20mm

Peso: 25g

Modo de Salida: salida de señal de tensión analógica.

<https://uelectronics.com/producto/sensor-de-ph-liquido/>

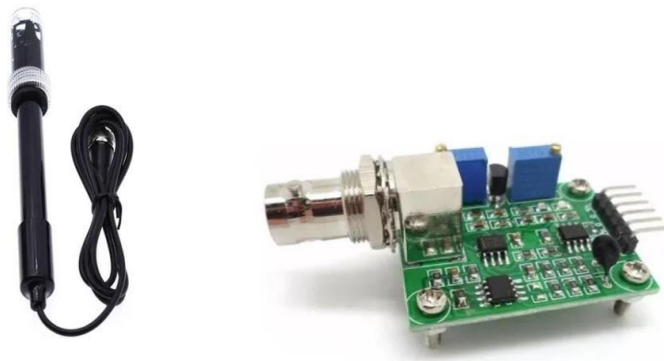


Figura 31: Sensor de pH.

- **Sensor de Presión atmosférica, humedad y temperatura relativa.**

El sensor atmosférico integrado mide presión atmosférica en el rango de los 30kPa hasta 110kPa, así como humedad y temperaturas relativas. (Figura 32)

Posee una interfaz 3.3V SPI, una interfaz I2C tolerante a 5V (con pull-up resistors a 3.3V), toma mediciones con un consumo menor a 1mA en modo idle consume 5µA. El sensor tiene 10 pines, pero no más de 6 son usados al mismo tiempo. La parte izquierda de la placa provee alimentación, tierra y los pines I2C. Los pines remanentes proveen funcionalidad SPI y tienen otro set para alimentación y tierra del lado opuesto.

Características:

Voltaje operativo: 3.3V

Interfaces de comunicación I2C & SPI

Rango temperatura: - 40C to 85C

Rango humedad: 0 - 100% RH, ±3% desde 20-80%

Rango presión: 30,000Pa hasta 110,000Pa, precisión relativa de 12Pa, precisión absoluta de 100Pa

Rango de altura: 0 a 30,000 pies (9.2 km), precisión relativa de 3.3 pies (1 m) a nivel del mar, 6.6 pies (2 m) a los 30.000 pies.

<https://lastminuteengineers.com/bme280-arduino-tutorial/>

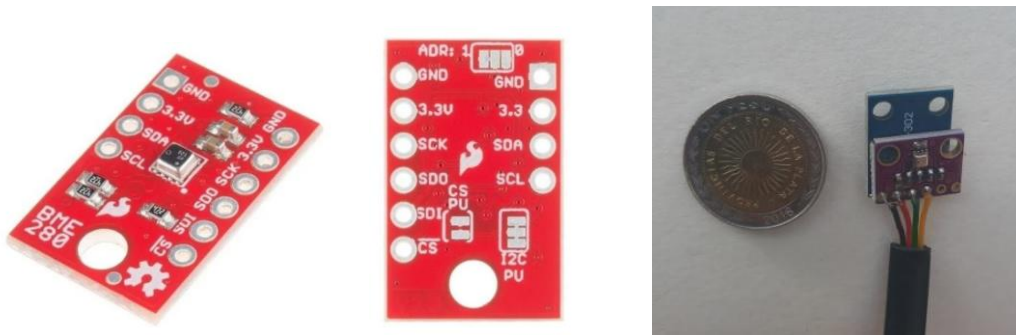


Figura 32: Plaqueta que mide Presión atmosférica, humedad y temperatura ambiente

- **Sensor de Temperatura del sustrato y Temperatura de la solución**

Sensor de temperatura encapsulado con interfaz One-Wire, resolución programable de 9 bit a 12 bit realiza mediciones desde -55C hasta 125C (+/-0.5C). (Figura 33)

El dispositivo puede funcionar en modo parásito, obteniendo su alimentación desde la línea de datos, eliminando la necesidad de proveer una fuente de alimentación externa. Cada sensor tiene un número serial único de 64-Bit grabado, que permite a múltiples sensores funcionar en el mismo bus.

Esta es la versión del sensor de temperatura encapsulado en un recubrimiento de acero inoxidable y es completamente a prueba de agua, puede utilizarse en control automático de tanques y en procesos industriales con fluidos no corrosivos.

Otras características:

Microcontrolador: AVR ARM PIC

Voltaje de funcionamiento: 3 a 5 v

Voltaje mín de entrada recomendado - Voltaje máx de entrada recomendado: 3V - 5V

Voltaje mín de entrada límite - Voltaje máx de entrada límite: 3V - 5V

Interfaz de comunicación 1-Wire, con capacidad multidrop

No requiere componentes externos para acondicionamiento de señal, salida digitalizada.

Rango de alimentación 3 a 5.5 V

Operación desde -55°C hasta +125°C (-67°F hasta +257°F)

Temperatura máx recomendada: 100° C

±0.5°C de precisión de -10°C a +85°C

Puede ser alimentado a través de la línea de datos

Tiempo máximo de conversión 750 ms con 12 bits de resolución

Alarmas configurables en memoria no volátil

Aplicaciones en control térmico, sistemas de monitoreo, sistemas HVAC, termómetros y en general sistemas sensibles a la temperatura.

<https://uelectronics.com/producto/sensor-de-temperatura-digital-ds18b20-de-acero-inoxidable-sumergible/>



Figura 33: Sonda de temperatura de solución y de sustrato.

Todos estos sensores están conectados a una placa central que es la que envía los datos a una nube o servidor, luego la aplicación la decodifica y la traduce a una forma más amigable y entendible al celular u otro dispositivo. (Figura 34)

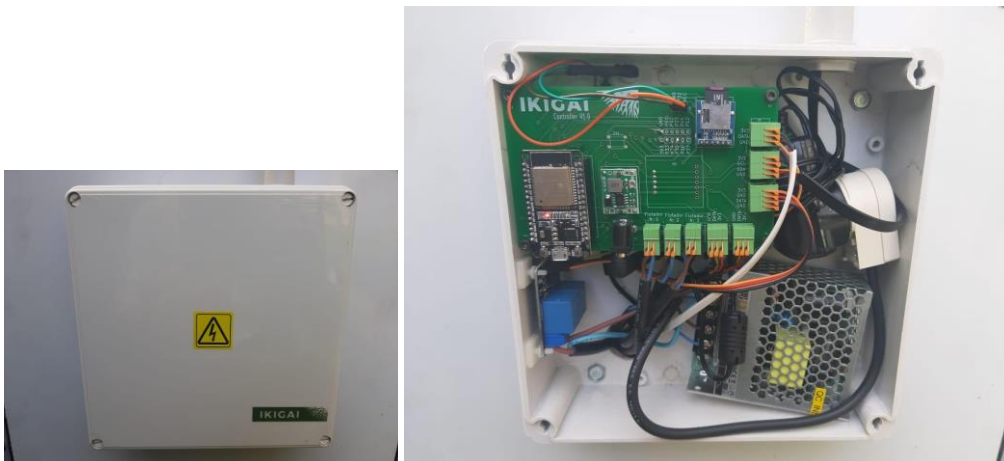


Figura 34: Dispositivo que centraliza la toma de datos. (Registro y Dominio en trámite) <https://ikigai-hhs.com>

Sumado a los datos importantes para el cultivo, la aplicación además está programada para el envío de alertas entre ellas corte de servicio (de WIFI o servicio eléctrico). (Figura 35).



Figura 35: Notificaciones de alertas

Nota: en la Figura 35 puede evidenciarse que la aplicación informa el 26/10/2021 que hay magnitudes fuera de rango y detalla la electroconductividad, temperatura y otros. Haciendo click en ese punto se abre la ventana donde se puede ver el detalle completo.

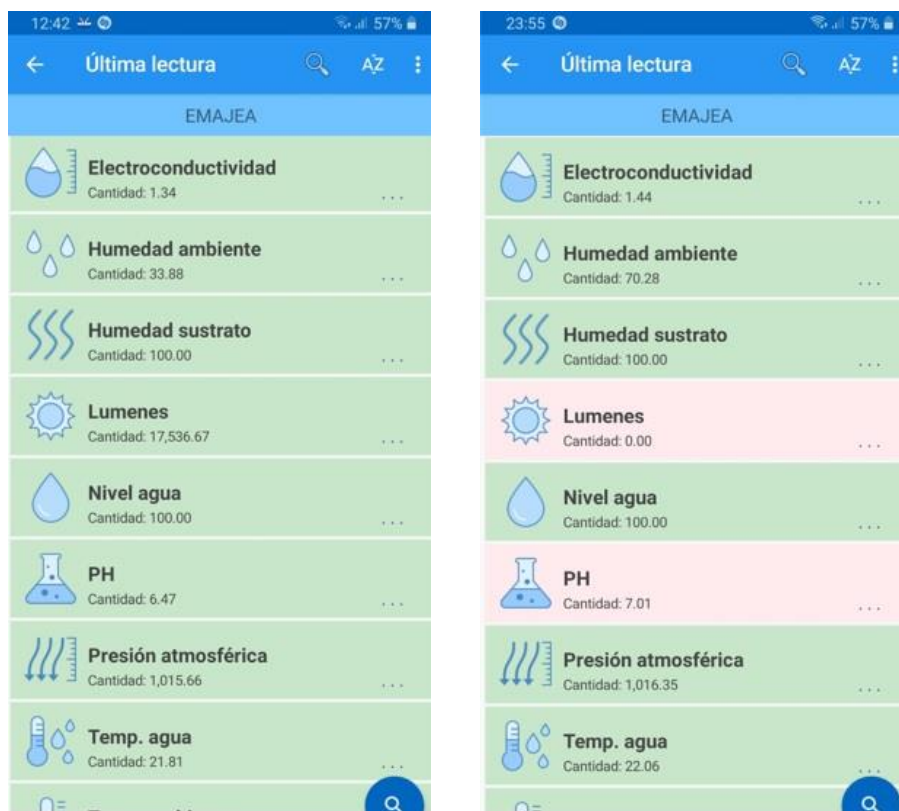
DATOS DEL MONITOREO

Para el presente trabajo se puso en funcionamiento el equipo desde el 04-08-2021 hasta el 30-10-2021 reportando en línea las mediciones de los sensores.

Dentro de este periodo a fin de verificar su funcionamiento, se cultivó lechuga desde el 22-09-2021 al 26-10-2021, a partir del trasplante de los plantines, con 3 a 4 hojas verdaderas (teniendo 30 días desde la siembra); hasta la cosecha (35 días a partir de la colocación en el módulo) siendo el periodo promedio para estas variedades de lechuga y llegando al peso de 260 grs. / planta

Mientras duro el ciclo del cultivo el módulo “Huerto IKIGAI”, ubicado en el predio de la EMAJyEA tomo datos de los distintos sensores y reporto a la aplicación.

A su vez la persona encargada puede monitorear los parámetros en tiempo real verificando si el cultivo se encuentra bajo condiciones normales o si hay algún parámetro que se encuentre fuera del rango óptimo. (Figura 36)



Datos normales

Datos fuera del rango óptimo

Figura 36: Imagen de los datos vistos desde la aplicación.

En la Figura 36 el dato de luminosidad esta fuera de los parámetros normales ya que la captura de pantalla se realizo a las 23.55 hs.

Durante ese periodo la aplicación tomo datos de todos los parámetros cada 10 min, en base a los datos censados se realizo un promedio diario de cada parámetro y se lo traslado a un cuadro. (Cuadro 4).

En el mismo se puede evidenciar un faltante de datos el día 24, esto es debido a que una tormenta dejo sin servicio eléctrico gran parte de la zona, por tal motivo no hay datos suficientes para promediar y plasmarlos en el cuadro.

Cuadro 4: Promedios Diarios de los parámetros durante el ciclo del cultivo.

| Día | IKIGAI Huertos Hidropónicos | Promedios Diarios | | | | | | | | | |
|-----|-----------------------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|----------------------|----------------|------------------------|
| | | Fecha | Temp solución (°C) | Temp sustrato (°C) | Temp amb (°C) | Hum sustrato (%) | Hum amb (%) | Presión atm (hPa) | Luminosida d (lx) | PH solución | Nivel tanque (%) |
| 1 | 22/9/2021 | 14,25 | 16,28 | 15,09 | 100 | 71 | 1023,65 | 13149 | 6,66 | 91% | 2,6 |
| 2 | 23/9/2021 | 16,31 | 18,27 | 19,15 | 100 | 66 | 1022,38 | 35348 | 6,68 | 23% | 2,61 |
| 3 | 24/9/2021 | 16,8 | 18,15 | 17,74 | 100 | 61 | 1023,82 | 54790 | 6,65 | 20% | 2,63 |
| 4 | 25/9/2021 | 17,87 | 19,02 | 19,42 | 100 | 62 | 1019,35 | 57730 | 6,62 | 20% | 2,61 |
| 5 | 26/9/2021 | 18,9 | 20,43 | 21,16 | 100 | 60 | 1015,98 | 53266 | 6,53 | 43% | 2,59 |
| 6 | 27/9/2021 | 16,19 | 17,81 | 13,95 | 100 | 79 | 1019,63 | 13017 | 6,83 | 70% | 2,12 |
| 7 | 28/9/2021 | 14,09 | 15,52 | 14,31 | 100 | 78 | 1021,5 | 18597 | 6,8 | 100% | 1,96 |
| 8 | 29/9/2021 | 16,39 | 18,04 | 20,01 | 100 | 64 | 1018,56 | 57737 | 6,75 | 100% | 2,02 |
| 9 | 30/9/2021 | 17,06 | 18,41 | 16,4 | 100 | 80 | 1010,23 | 11307 | 6,67 | 100% | 2,07 |
| 10 | 1/10/2021 | 17,27 | 18,79 | 19,58 | 100 | 57 | 1013,97 | 59833 | 6,74 | 100% | 2,06 |
| 11 | 2/10/2021 | 15,68 | 17,25 | 15,28 | 100 | 67 | 1011,14 | 21491 | 6,59 | 100% | 2,1 |
| 12 | 3/10/2021 | 14,39 | 16,04 | 15,12 | 100 | 52 | 1015,33 | 60381 | 6,56 | 100% | 2,12 |
| 13 | 4/10/2021 | 14,29 | 16,46 | 17,35 | 100 | 50 | 1017,38 | 60850 | 6,58 | 100% | 2,11 |
| 14 | 5/10/2021 | 16,92 | 18,3 | 19,06 | 100 | 47 | 1015,25 | 60245 | 6,43 | 100% | 2,08 |
| 15 | 6/10/2021 | 16,48 | 17,8 | 16,35 | 100 | 51 | 1020,17 | 53277 | 6,37 | 100% | 2,13 |
| 16 | 7/10/2021 | 13,88 | 15,58 | 15,49 | 100 | 49 | 1022,57 | 61553 | 6,4 | 100% | 2,16 |
| 17 | 8/10/2021 | 14,39 | 16,05 | 16,3 | 100 | 54 | 1019,92 | 40553 | 6,5 | 99% | 2,14 |
| 18 | 9/10/2021 | 16,28 | 17,88 | 19,62 | 100 | 52 | 1020,17 | 61688 | 6,34 | 95% | 2,12 |
| 19 | 10/10/2021 | 17,37 | 18,81 | 18,66 | 100 | 67 | 1018,84 | 33728 | 6,34 | 83% | 2,12 |
| 20 | 11/10/2021 | 18,09 | 19,35 | 18,15 | 100 | 74 | 1016,4 | 20476 | 6,33 | 84% | 2,12 |
| 21 | 12/10/2021 | 18,29 | 19,6 | 19,71 | 100 | 72 | 1012,64 | 27437 | 6,39 | 58% | 2,12 |
| 22 | 13/10/2021 | 18,19 | 19,57 | 18,01 | 100 | 77 | 1008,63 | 20232 | 6,61 | 79% | 1,73 |
| 23 | 14/10/2021 | 17,6 | 19,88 | 24,76 | 100 | 60 | 1005,06 | 72167 | 6,63 | 100% | 1,7 |
| 24 | SIN DATOS | | | | | | | | | | |
| 25 | 16/10/2021 | 17,82 | 19,58 | 22,56 | 100 | 34 | 1021,46 | 90962 | 6,62 | 100% | 1,76 |
| 26 | 17/10/2021 | 17,55 | 19,13 | 20,45 | 100 | 46 | 1020 | 66286 | 6,54 | 100% | 1,8 |
| 27 | 18/10/2021 | 18,62 | 20,13 | 20,05 | 100 | 54 | 1021,52 | 64020 | 6,49 | 100% | 1,82 |
| 28 | 19/10/2021 | 18,17 | 20,05 | 20,82 | 100 | 51 | 1021,76 | 67941 | 6,48 | 100% | 1,83 |
| 29 | 20/10/2021 | 19,6 | 21,36 | 21,82 | 100 | 57 | 1018,62 | 49047 | 6,47 | 100% | 1,76 |
| 30 | 21/10/2021 | 21,84 | 23,84 | 26,07 | 100 | 52 | 1014,3 | 71246 | 6,44 | 100% | 1,71 |
| 31 | 22/10/2021 | 21,47 | 23,22 | 20,56 | 100 | 60 | 1011,65 | 29935 | 6,42 | 100% | 1,76 |
| 32 | 23/10/2021 | 18,97 | 20,51 | 20,08 | 100 | 59 | 1008,57 | 53912 | 6,48 | 100% | 1,76 |
| 33 | 24/10/2021 | 18,5 | 20,15 | 20,92 | 100 | 46 | 1011,84 | 78663 | 6,48 | 100% | 1,76 |
| 34 | 25/10/2021 | 21,8 | 22,96 | 24,01 | 100 | 39 | 1009,25 | 61603 | 6,47 | 100% | 1,73 |
| 35 | 26/10/2021 | 23,78 | 25,77 | 27,63 | 100 | 47 | 1012,14 | 72780 | 6,58 | 100% | 1,61 |

En base a los datos promedios, se realizaron los gráficos para verificar las proyecciones.

Para los gráficos se tomaron datos desde el momento que se puso en funcionamiento el equipo 04/08/21 hasta el 27/10/21 momento que se dejó de monitorear los parámetros.

✓ Parámetro de registro de **“Temperaturas (°C)”**

En la Figura 37 podemos ver las limitantes de temperaturas para el cultivo, de 5°C como Limite Temperatura Aire mínima (LTAMin) y 35°C como Limite Temperatura Aire máxima (LTAMax), donde la aplicación envía una alerta al dispositivo remoto en el caso de excederse algunos de esos límites, por ejemplo, el 11/08/21, 16/09/21 y el 26/09/21.

En el caso de la Temperatura del aire los datos son más fluctuantes y en ascenso, tanto la Temperatura aire máxima (TAMax) como la Temperatura aire mínima (TAMin), teniendo en cuenta que el trabajo se desarrolló entre agosto y octubre de 2021.

En la misma figura podemos ver la Temperatura media de la solución (TH2Omed), donde hay una relación bastante estrecha entre la misma y la Temperatura media del sustrato (TSusmed), siendo aproximadamente 2°C más elevada en el sustrato. Ambas trazas tienden a ser equidistantes entre ellas.

Durante el ciclo del cultivo la Temperatura aire media (TAMed) estuvo entre 15°C y 20°C con un pico de 23°C el 21/10/21 que se correlaciona con la Temperatura máxima de ese día de 38°C. La traza de la TSusMed acompaña en los valores a la traza de la TAMed (Figura 37).

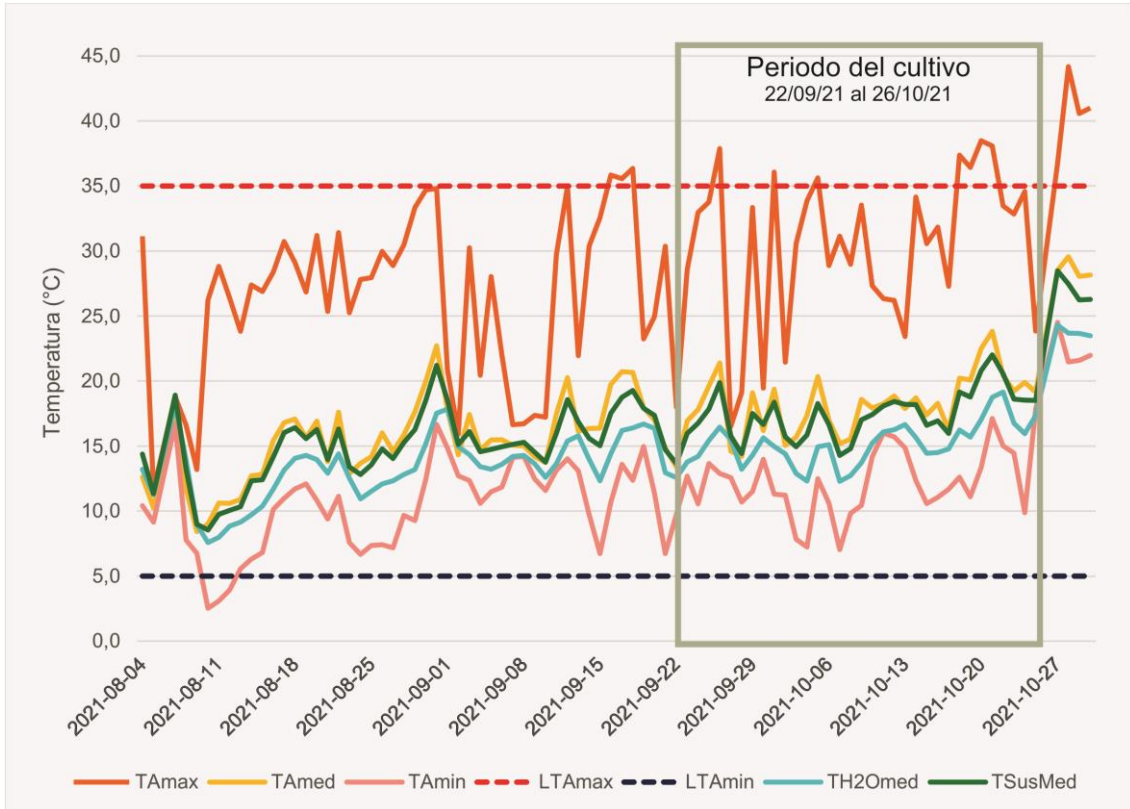


Figura 37: Evolución de las temperaturas durante la duración del testeo.

Para la variable Temperatura de la solución, se ve claramente los Límites de temperatura de solución máxima (LTH2Omax) y Límite de temperatura de solución mínima (LTH2Omin) recomendados para el cultivo.

En la Figura 38 se evidencia que el 11/08/21 el valor de Temperatura de la solución mínima (TH2Omin) fue de 5°C y la Temperatura de la solución máxima (TH2Omax) de 10°C, estos valores hicieron decaer también la TH2Omed por debajo de LTH2Omin lo que activo la alarma de la aplicación.

A partir del 18/08/21 y hasta el inicio del cultivo las temperaturas siempre estuvieron dentro del rango óptimo, fluctuando entre 10°C y 18°C, a partir de la colocación de los plantines prosiguió la misma proyección y hacia el final del ciclo tuvo un leve aumento. (Figura 38).

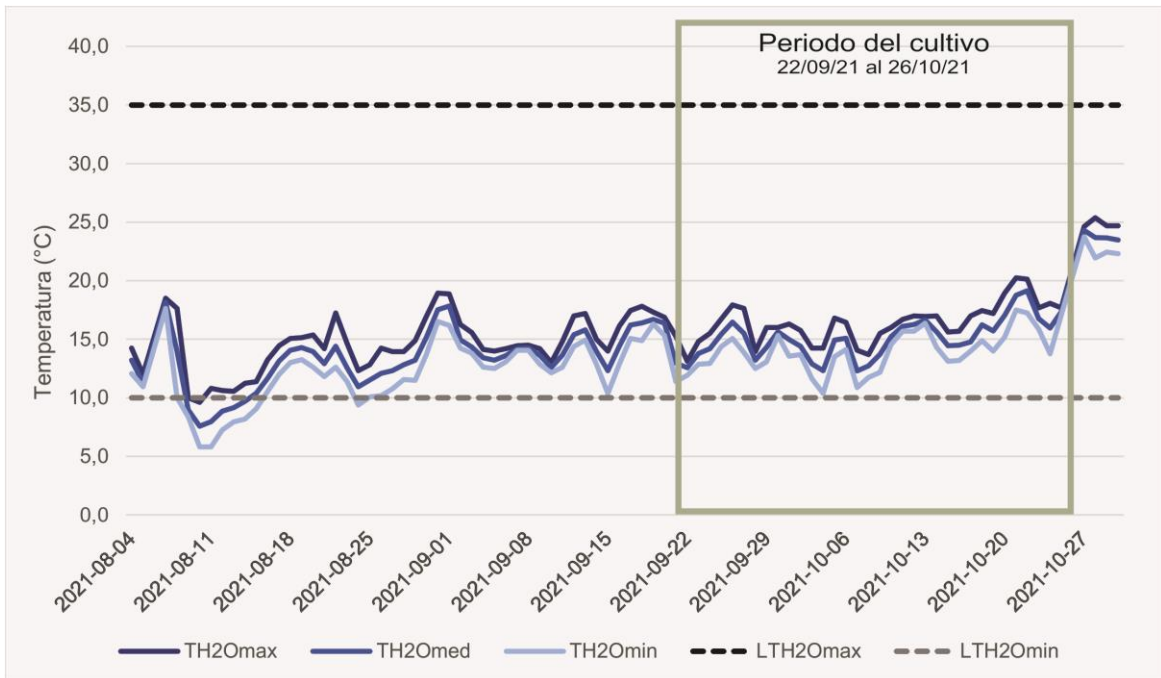


Figura 38: Evolución de la temperatura de la solución nutritiva durante el periodo del testeo.

✓ Parametro de registros de **“Humedad del sustrato (H)”**

Durante el ciclo del cultivo la Humedad del sustrato es del 100% teniendo en cuenta que se encuentra en capacidad de campo permanente (CC) debido a la programación del riego que fue de 5 veces por día, por consiguiente la medición siempre fue la misma.

✓ Parametro de registros de **“Humedad Relativa Ambiente (HR) y Presión Atmosférica (hPa)”**

Los limites en este parametro son, Humedad relativa maxima (LHRmax) de 80% y la Humedad relativa minima (LHRmin) de 45%.

Las condiciones de Humedad relativa ambiente (HR%med) y de Presión atmosférica (PAMED) durante el periodo demuestra que la presión atmosférica nos anticipa la humedad relativa ambiente que vamos a tener, esto es debido a qué son los meses con mayor índice de precipitaciones en la provincia de Buenos Aires (Cuadro 6).

Estas fluctuaciones están relacionadas no solo al periodo de lluvias sino tambien a que la Tamed empieza a elevarse como se evidencio en la Figura 39.

Estas mediciones en linea ayudan al productor a anticiparse al manejo de su invernáculo, ya que, teniendo condiciones de alta humedad puede adelantarse y

ventilar el invernáculo, caso contrario agregar humedad al ambiente si lo requiera (cuando el parametro informa que se encuentra por debajo del mínimo).

Asi mismo, haciendo un seguimiento del pronostico, se pueden programar aplicaciones preventivas de productos a fin de evitar enfermedades fúngicas en el cultivo.

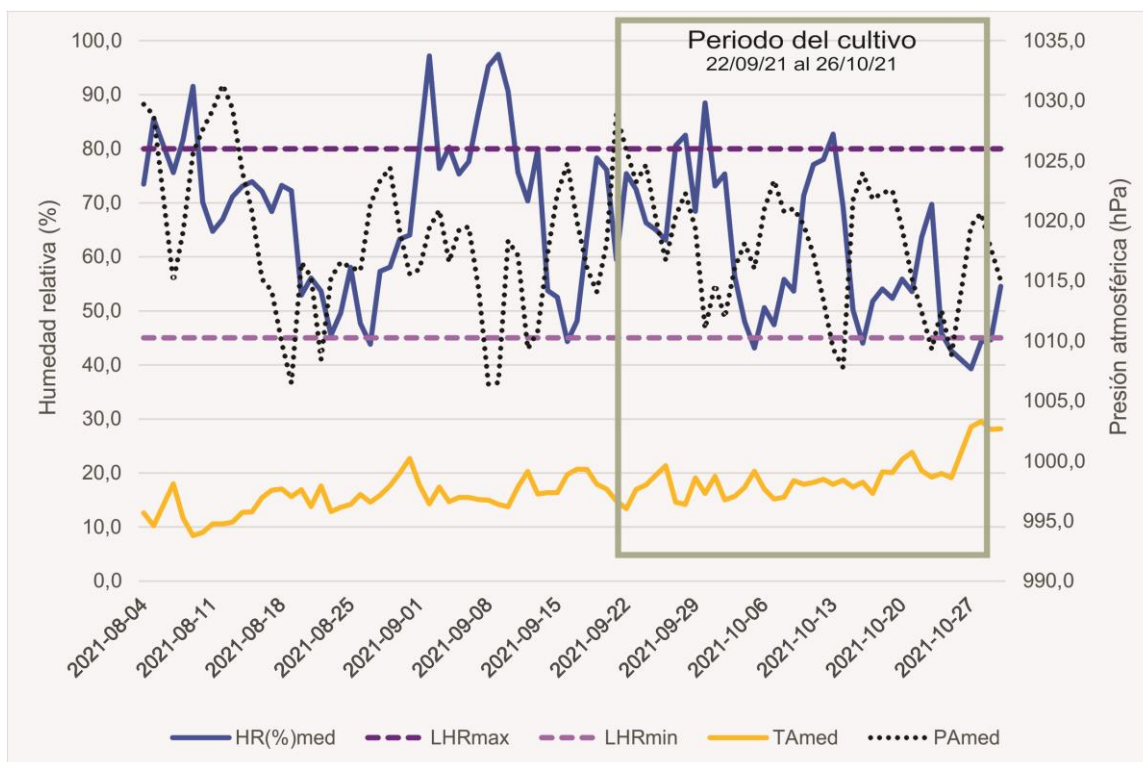


Figura 39: Evolución de la humedad ambiente durante la duración del testeo.

La Figura 40, corresponde a los valores horarios de la Humedad relativa durante un periodo de 4 días donde se cruzaron umbrales de alarmas, en el mismo están indicados como límite de humedad relativa máxima (LHR max) un 80% y como límite mínimo (LHRmin) de 45%; y se puede ver claramente la fluctuación diaria de la Humedad relativa (HR%) debido al cambio de temperatura y contenido de vapor de agua en el ambiente.

Entre el 27 y 28/09/21 podemos ver que la humedad ambiente fluctuó sobre LHRmax, superándolo en ciertos momentos. El 29/09 se produjo una caída importante de la humedad, alcanzando un mínimo de 30%, atravesando en este caso LHRmin. El 30/09 volvió a subir, superó LHRmax y llegó prácticamente al 100% (situación de saturación de vapor de agua en el aire).

Observando los datos del Abrigo (Cuadro 6) se evidencia que durante los dos primeros días la temperatura máxima fue de 19 y 18°C, con una humedad media de 98 y 93%, sin precipitaciones y viento de 2,2 y 1,5 m/seg respectivamente.

El 29/09 la temperatura máxima ascendió a 21,7°C, la humedad media descendió a 80% y el viento alcanzó los 2,8 m/seg, siendo este último el causante del descenso de la humedad.

El día 30/09 la temperatura máxima descendió a 18,7°C, la humedad media ascendió a 96% debido a que este día ocurrieron precipitación por un valor de 13,8 mm.

Debido a las fluctuaciones diarias, como se verifica en la figura 40, es esencial el monitoreo permanente de la aplicación donde ayudara al encargado de la tarea a tomar decisiones, por ejemplo, ventilación en el caso de exceso de humedad ambiente dentro del invernáculo (27, 28 y 30/09/21) o activación de humidificadores en el caso de deficiencia de humedad ambiente (29/09/21).

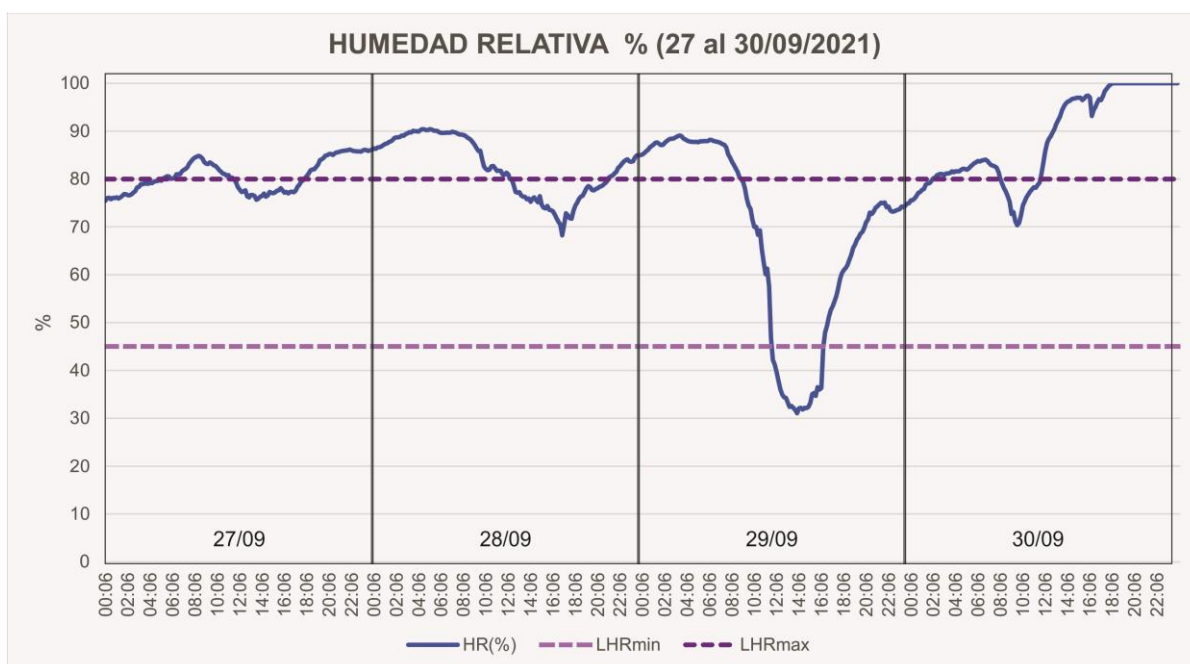


Figura 40: Evolucion de la Humedad relativa ambiente durante un periodo de 4 días donde se dispararon alarmas.

✓ Parametros de registros de “**Electroconductividad (EC)**”

El monitoreo de la electroconductividad (EC) se realizo durante el periodo del cultivo, a partir del 22/09/21 hasta el 26/10/21, esto debe a que, previo a la colocacion de los plantines, el sistema estuvo en funcionamiento con agua corriente sin agregado de sales.

El 22/09/21 el valor de electroconductividad era de 2.6 ms/cm, ese valor se mantuvo estable durante aproximadamente 5 días, luego se estabilizó en 2 ms/cm.

Esta disminución del valor se debe a que durante los primeros días, la solución ingresa a la batea 5 veces al día en el momento del riego, el sustrato retiene parte de esa solución, esto trajo como consecuencia que el 28/9 se activó la alerta de nivel de la batea donde está la solución, en respuesta a ello se le agregó solo agua y automáticamente disminuyó el valor de EC.

El 14/10 ocurrió algo similar y en respuesta a ello se agregó solo agua nuevamente verificando una disminución del valor de electroconductividad (Figura 41) en este caso la disminución es a causa del crecimiento vegetativo, mayor área foliar y mayor consumo de nutrientes.

Como estamos trabajando en un sistema de “flujo y reflujo” donde la solución nutritiva es fija, no se agrega solución nutritiva nueva, las sales disueltas corresponden a la solución inicial colocada en el depósito; solamente se adiciona agua cuando el sensor del tanque así lo indicara, esto debe al consumo por parte del cultivo y además para evitar una sobre fertilización por acumulación de sales en el sustrato.

Solo en el caso que los valores se encuentren por debajo del mínimo recomendado se tomaría la decisión de agregar solución nutritiva nueva hasta su rango óptimo. (Figura 41).

✓ Parametros de registros de “pH”

El pH al igual que la EC comenzó su medición a partir de la colocación de los plantines con su correspondiente solución nutritiva.

Desde el inicio del cultivo el pH posee un valor de 6.6 a 6.7, luego disminuye durante los primeros 5 días, esto puede deberse a que el sustrato utilizado está formado por 50% de pometina (pH neutro) y 50% turba (pH de 4,5) y que se le agregó solo agua por notificación del sensor de nivel del tanque de solución nutritiva.

Con el paso del tiempo se estabilizó el sistema y el pH se mantuvo dentro de un rango de 6.33 a 6.8 como promedios diarios.

En el Figura 41 se pueden ver los límites, límite de pH máximo (LPHmax) siendo este valor de 7 y el límite de pH mínimo (LPHmin) de 5, durante el periodo del cultivo los valores rondaron entre 6 y 7, solo superado por pequeños periodos.

Durante todo el proceso del cultivo el rango de pH promedio diario siempre estuvo dentro de los límites deseados y prácticamente dentro de lo óptimo para dicho cultivo.

El valor de pH posee una pequeña fluctuación durante el ciclo, pero a su vez fluctúa durante el día ya que está directamente relacionado con el consumo por parte de la planta y con las variaciones de la Temperatura ambiente. (Figura 41)

En el mismo grafico estan plasmados el Limite maximo de electroconductividad (LECmax) siendo este de 3 ms/cm y Limite minimo de electroconductividad (LECmin) de 0,80 ms/cm.

Durante el ciclo del cultivo la electroconductividad (EC) siempre se mantuvo dentro de su rango optimo y en descenso debido al consumo de nutrientes por las plantas.

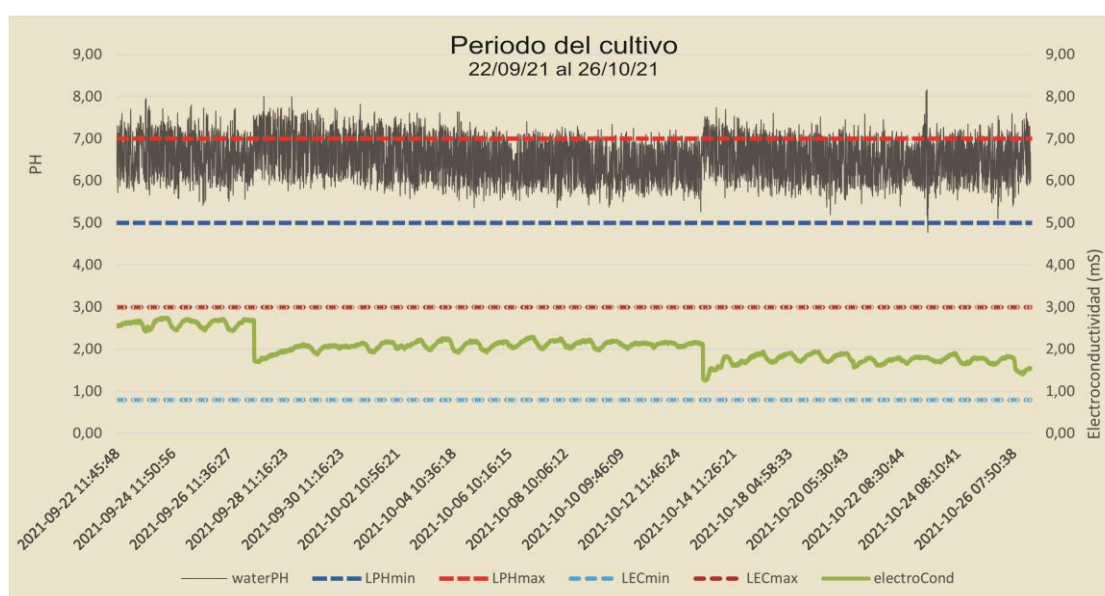


Figura 41: Evolución de la electroconductividad y pH durante el ciclo del cultivo.

✓ Parametro de registros de “**Luminosidad**”.

Cuanto mayor es la iluminación, más eficiente es la fotosíntesis y más rápido se desarrolla la planta, recordamos que a medida que la intensidad de la luz aumenta, la velocidad de la fotosíntesis alcanza un límite conocido como “Punto de Saturacion de luz”.

En base a la disponibilidad del “sensor de luminosidad” se midio la iluminancia, lo correcto deberia ser medir la radiacion o irradiancia, por tal motivo se convirtieron los valores.

Para el sol hay una conversión aproximada de 0,0079 W/m² por 1 lux.

Por ejemplo: si leemos 75.000 Lux en un sensor de luz, convertimos esa lectura a W/m² de la siguiente manera: 75.000 × 0,0079 = 590 W/m².

Se entiende por irradiancia a la cantidad de energía que incide por unidad de área por unidad de tiempo sobre una superficie, y sus unidades son W/m^2 . Para medir la eficiencia fotosintética es importante conocer este parametro.

La figura 42 muestra la evolución de la Irradiancia (Radiacion Global maxima, RGmax) durante la duración del testeo, en el mismo esta indicado el Limite superior de irradiancia por cobertura (Limite de Radiacion Gobal para utilizar coberturas, LimRGcob) siendo este valor de $237 W/m^2$. Los picos inferiores corresponden a periodos carentes de radiacion o radiacion baja.

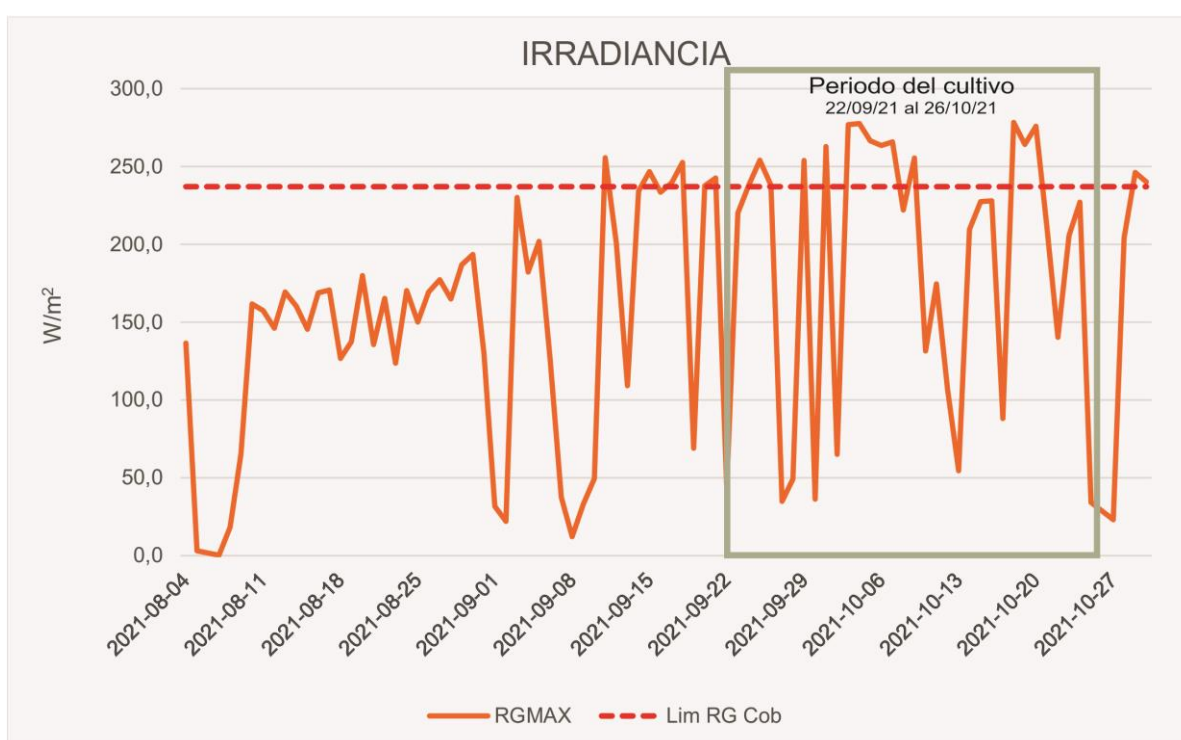


Figura 42: Evolución de la Irradiancia durante la duración del testeo.

En la Figura 43 corresponde a la Irradiancia total entendiendose como la cantidad de W/m^2 que recibio el cultivo por dia en forma acumulada durante la duración del testeo. Este dato sirve para estimar la fecha de cosecha del cultivo.

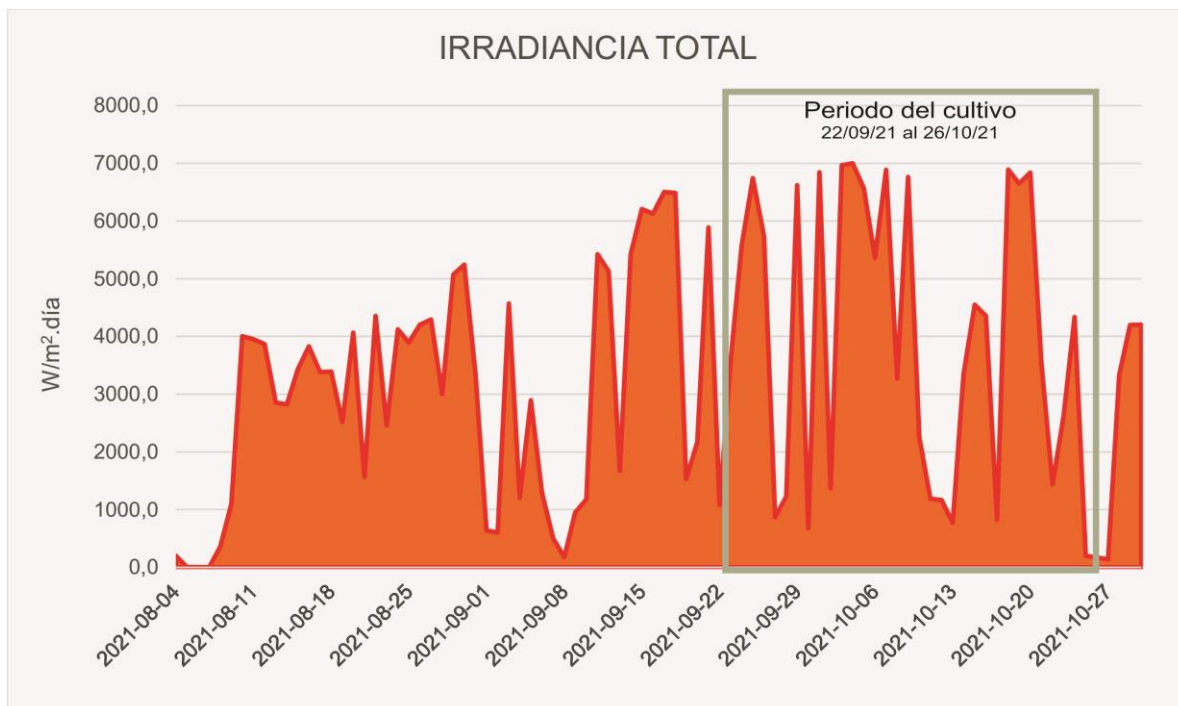


Figura 43: Evolucion de la Irradiancia total durante la duracion del testeo.

La Figura 44 corresponde a la medicion de la irradiancia el dia 5/10/2021 y podemos verificar que en el momento que sale el sol comienza a elevarse su valor, llegando a las 12:16 hs al limite para el cultivo, alertando a la persona encargada (la aplicacion informa cuando el valor de irradiancia supera los 237 W/m2).

En consecuencia, se debe tomar una decision y es extender la media sombra a fin de cubrir el cultivo, en respuesta a ello deja de elevarse, este fenomeno se debe a dos patrones, primero es porque el sol se encuentra en el cenit y el segundo es a causa de las altas temperaturas.

Mas tarde, a las 14:06 hs, baja la irradiación y al quedar dentro de los parametros normales (esto se evidencia en la aplicacion) se recoge la media sombra para que el cultivo pueda seguir aprovechando la irradiancia en los limites maximos permitidos para el cultivo por mas tiempo, beneficiando la fotosintesis.

Para evitar el stress luminico y el quemado del follaje, por excesiva radiación, se utilizo una malla media sombra del 50% aluminizada.

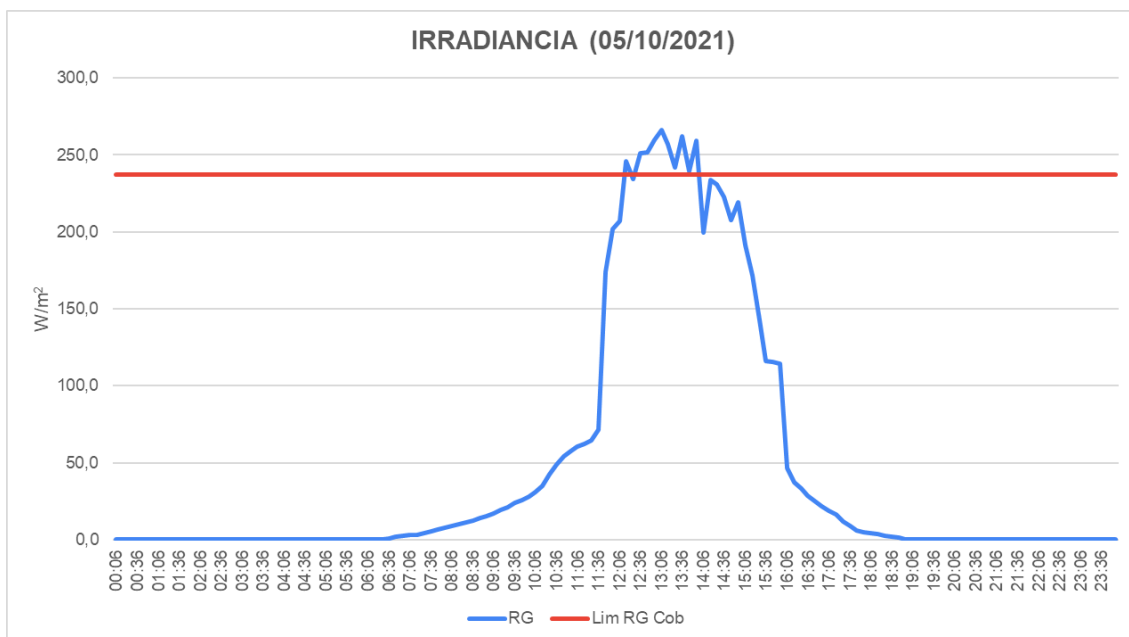


Figura 44: Evolución de la irradiancia de un día (5/10/21).

Para controlar que los sensores estén funcionando correctamente y tomen datos verídicos se utilizaron equipos portátiles de toma de datos y aplicaciones (Cuadro 5), a su vez también se compararon los datos reportados por los sensores con los datos aportados por la Estación Meteorológica “Santa Catalina” siendo la más cercana al módulo. (Cuadro 6).

En ambas situaciones los datos del módulo y los datos del “Abrigo” fueron similares:

Cuadro 5: Sensores y equipo comparativo para toma de datos

| Sensores utilizados | Equipos para control |
|---|--|
| Sensor de Electroconductividad | Conductímetro portátil Adwa AD204 |
| Sensor de PH | Peachímetro portátil Adwa AD12 |
| Sensor de temperatura sustrato y temperatura de la solución | Thermopro TP-01H |
| Temperatura y Humedad ambiente | Phoenix Mediciones Estación Ambiental HTC-2A |
| Luminosidad | App PPFd Meter |

Cuadro 6: Datos diarios EMA - SIGA - INTA "Santa Catalina" (Belloni *et al.*, 2011).

| | Fecha | Temp. Abrigo | Temp. Abrigo Min | Temp. Abrigo Max | Temp. Suelo 10cm | Precipitación Crono | Humedad 81420 | Humedad Media | Vel. Viento 2m |
|----|------------|--------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|---------------|---------------|----------------|
| 1 | 22/09/2021 | 11,7 | 6,7 | 16 | 13,6 | 1 | 85 | 92 | 1,1 |
| 2 | 23/09/2021 | 15,2 | 12 | 20,6 | 14,6 | 0 | 83 | 86 | 1 |
| 3 | 24/09/2021 | 14,6 | 8,9 | 22,1 | 15,3 | 0 | 79 | 81 | 1,7 |
| 4 | 25/09/2021 | 16 | 10,8 | 21,7 | 16,8 | 0 | 80 | 84 | 1,8 |
| 5 | 26/09/2021 | 18,8 | 11,2 | 27,9 | 18 | 0 | 62 | 74 | 1,2 |
| 6 | 27/09/2021 | 13,8 | 11,6 | 19,3 | 16,6 | 0 | 97 | 98 | 2,2 |
| 7 | 28/09/2021 | 13,3 | 9,9 | 18,1 | 15,1 | 0 | 91 | 93 | 1,5 |
| 8 | 29/09/2021 | 15,8 | 10,4 | 21,7 | 16,3 | 0 | 80 | 83 | 2,8 |
| 9 | 30/09/2021 | 16,2 | 15,1 | 18,7 | 16,2 | 13,8 | 95 | 96 | 2,4 |
| 10 | 01/10/2021 | 17,1 | 10,1 | 24,8 | 16,5 | 0 | 62 | 68 | 2 |
| 11 | 02/10/2021 | 14 | 9 | 20,2 | 15,1 | 3 | 75 | 84 | 1,3 |
| 12 | 03/10/2021 | 12,8 | 6,9 | 17,7 | 14,6 | 0 | 59 | 65 | 4,7 |
| 13 | 04/10/2021 | 13,2 | 4,4 | 22,7 | 14,5 | 0 | 50 | 62 | 1,5 |
| 14 | 05/10/2021 | 16,5 | 9,4 | 25,6 | 15,8 | 0 | 49 | 59 | 1 |
| 15 | 06/10/2021 | 14,3 | 11 | 19,4 | 16,3 | 0 | 59 | 66 | 2,7 |
| 16 | 07/10/2021 | 11,2 | 4,4 | 19 | 15,7 | 0 | 51 | 65 | 1,1 |
| 17 | 08/10/2021 | 12,5 | 7,1 | 18,8 | 15,6 | 0 | 63 | 72 | 1,7 |
| 18 | 09/10/2021 | 15,3 | 8,9 | 21,8 | 16,4 | 0 | 66 | 71 | 1,7 |
| 19 | 10/10/2021 | 15,9 | 11,6 | 21,5 | 16,5 | 0 | 83 | 88 | 2,1 |
| 20 | 11/10/2021 | 17,6 | 15,8 | 22 | 17 | 0 | 91 | 92 | 1,3 |
| 21 | 12/10/2021 | 17,9 | 15,1 | 22,8 | 17,5 | 0 | 85 | 90 | 0,8 |
| 22 | 13/10/2021 | 17,6 | 15,7 | 20,1 | 17,4 | 0,3 | 91 | 95 | 1,1 |
| 23 | 14/10/2021 | 16,7 | 10,7 | 26 | 17,5 | 0 | 73 | 78 | 3,3 |
| 24 | 15/10/2021 | 14,5 | 8,8 | 20,7 | 17,2 | 0 | 54 | 60 | 2,2 |
| 25 | 16/10/2021 | 14,8 | 6,9 | 22,3 | 17 | 0 | 48 | 56 | 1,2 |
| 26 | 17/10/2021 | 16,7 | 8,3 | 25,4 | 17,5 | 0 | 51 | 62 | 0,8 |
| 27 | 18/10/2021 | 16,8 | 10,5 | 24,2 | 18,2 | 0 | 62 | 72 | 1,5 |
| 28 | 19/10/2021 | 16,3 | 8 | 25,7 | 18,1 | 0 | 57 | 68 | 1 |
| 29 | 20/10/2021 | 18,9 | 10,9 | 27,4 | 18,8 | 0 | 62 | 72 | 1,4 |
| 30 | 21/10/2021 | 21,5 | 14,7 | 30,5 | 19,8 | 0 | 56 | 63 | 1,2 |
| 31 | 22/10/2021 | 20 | 14,4 | 28,2 | 19,3 | 6,8 | 74 | 76 | 1,3 |
| 32 | 23/10/2021 | 17,5 | 13,9 | 23,5 | 17,8 | 9,5 | 68 | 74 | 2,8 |
| 33 | 24/10/2021 | 17,4 | 6,4 | 26,4 | 16,9 | 0 | 42 | 55 | 2,5 |
| 34 | 25/10/2021 | 22,8 | 15,1 | 31,4 | 17,7 | 0 | 42 | 43 | 3 |
| 35 | 26/10/2021 | 24,7 | 14,4 | 36,1 | 19,4 | 0 | 44 | 59 | 1,1 |

CONCLUSIONES

El presente trabajo resulta en respuesta al planteo de numerosos productores, respecto a la carencia de personal idóneo y medios adecuados para el manejo de cultivos hidropónicos.

Debido a ello el módulo experimental “IKIGAI Huertos Hidropónicos” pretende lograr que cualquier persona, con acotado conocimiento del tema, pueda llevar adelante un cultivo de forma exitosa, y el productor que pueda monitorearlo en precaución de forma remota.

Dicho modulo, está formado por numerosos sensores que reportan los parámetros necesarios para el desarrollo de un cultivo a una aplicación, estos parámetros son: pH, Electroconductividad, Temperatura ambiente, Temperatura de solución, Temperatura de sustrato, Luminosidad, Humedad del ambiente, Humedad del sustrato, Presión atmosférica, Nivel de los tanques y Encendido de bombas.

La aplicación toma datos de forma permanente y los compara con los valores ideales del cultivo, preestablecidos y cargados en la aplicación previamente, en el caso de que alguno de ellos se encuentre fuera de rango notifica al instante.

Las alertas fueron de suma ayuda para el personal no capacitado a fin de poder manejar el cultivo en forma sencilla y sistémica a fin de evitar que el cultivo se dañe.

El productor se ve beneficiado por este sistema ya que le permite presentar un plan de mejoras y aprovechar los recursos en beneficio de la calidad y cantidad de la producción.

Para tomar mediciones más estrechamente vinculadas al crecimiento del cultivo se recomienda cambiar el sensor de luminosidad (lúmenes) por un sensor de PAR (Radiación Fotosintéticamente Activa) y el sensor de humedad del sustrato por otro de mejor confiabilidad a fin de lograr mediciones más precisas. Respecto a esto último, la Cátedra de Clima y Suelo de la FCA – UNLZ nos está asesorando al respecto de dichos sensores.

Hasta el presente, todos los insumos informáticos y de sensores resultan importados, lo que podría ser una desventaja actualmente no solo por su valor, sino también por su disponibilidad, pretendiendo a futuro revertir esta situación con desarrollos nacionales . Este sistema informático puede adaptarse a distintas situaciones, ya sea, distintos cultivos y/o a distintas escalas.

En resumen, la Agricultura 4.0 es la nueva forma de producir, para ello hay que adaptarse a los cambios, capacitarse, pero sobre todo estar abiertos a la incorporación de las nuevas tecnologías.

INDICE DE FIGURAS Y CUADROS

| Figura | | Pagina |
|--------|--|--------|
| 1 | Esquema de interconexión de información entre integrantes de la cadena productiva. | 7 |
| 2 | Tipos de sistemas de cultivos Hidropónicos. | 8 |
| 3 | Sistema de Flujo y Reflujo. | 9 |
| 4 | Sistema de Aeroponía. | 9 |
| 5 | Sistema de Raíz Flotante. | 10 |
| 6 | Sistema de Goteo. | 10 |
| 7 | Sistema de Mecha. | 11 |
| 8 | Sistema NFT. | 11 |
| 9 | Espectro de la radiación solar. | 15 |
| 10 | Espectro de absorción de los pigmentos vegetales. | 17 |
| 11 | Punto de compensación de la luz y Punto de saturación de la luz. | 18 |
| 12 | Diagrama de Troug. | 19 |
| 13 | Variedades utilizadas (L. sativa var. Carmín e Isabella). | 26 |
| 14 | Prototipo IKIGAI Huertos hidropónicos. | 26 |
| 15 | Zona de ingreso de solución nutritiva. | 27 |
| 16 | Sifón de campana. | 27 |
| 17 | Vaso comunicante entre bateas inferiores. | 28 |
| 18 | Seguimiento del funcionamiento de la bomba. | 28 |
| 19 | Formula de Steiner. | 29 |
| 20 | Cultivo a los 10 días del trasplante. | 29 |
| 21 | Cultivo completamente desarrollado, 30 días desde el trasplante. | 30 |
| 22 | App a disposición desde el Play Store. | 31 |
| 23 | Ingreso a la App con Usuario y Contraseña. | 31 |
| 24 | Visualización de rangos máximos y mínimos de CE y PH cargados a la aplicación. | 33 |
| 25 | Visualización de datos en la aplicación. | 33 |
| 26 | Sensor de electroconductividad. | 34 |
| 27 | Sensor de humedad de sustrato. | 35 |
| 28 | Sensor de luminosidad. | 36 |
| 29 | Disposición del sensor de luminosidad. | 37 |
| 30 | Sensor de nivel de líquido. | 38 |

| | | |
|--------|---|--------|
| 31 | Sensor de pH. | 39 |
| 32 | Plaqueta que mide presión atmosférica, humedad y temperatura ambiente. | 40 |
| 33 | Sonda de temperatura de solución y de sustrato. | 41 |
| 34 | Dispositivo que centraliza la toma de datos. | 41 |
| 35 | Notificación de alertas. | 42 |
| 36 | Datos vistos desde la aplicación. | 43 |
| 37 | Evolución de las temperaturas durante la duración del testeo. | 47 |
| 38 | Evolución de la temperatura de la solución nutritiva durante la duración del testeo. | 48 |
| 39 | Evolución de la humedad ambiente durante la duración del testeo. | 49 |
| 40 | Evolución de la humedad relativa ambiente durante un periodo de 4 días. | 50 |
| 41 | Evolución de la electroconductividad y pH durante el ciclo del cultivo. | 52 |
| 42 | Evolución de la irradiancia durante la duración del testeo. | 53 |
| 43 | Evolución de la irradiancia total durante la duración del testeo. | 54 |
| 44 | Evolución de la irradiancia de un día. | 55 |
| | | |
| Cuadro | | Página |
| 1 | EC recomendada para cada cultivo. | 14 |
| 2 | Temperatura mínima vital y rango óptimo de temperatura para algunos cultivos. | 21 |
| 3 | Cuadro de parámetros y rango óptimo cargados a la aplicación para cultivo de lechuga. | 32 |
| 4 | Promedios diarios de los parámetros durante el ciclo del cultivo. | 45 |
| 5 | Cuadro de sensores y equipos comparativos para toma de datos. | 55 |
| 6 | Datos diarios del abrigo Santa Catalina. | 56 |

BIBLIOGRAFÍA

- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (2008). Fundamentos de Fisiología Vegetal. Mac Graw-Hill Interamericana. Edición Universitaria de Barcelona.
- Belloni, M. C.; D'Indio, M.; Rodríguez, R. O. y Blasón, A. D. (2011). "Desarrollo de un sistema de observación y análisis climático y ambiental. Diseño de Estaciones Agrometeorológicas Automáticas NIMBUS THP" (pp. 95-105). Rumbos Tecnológicos. Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda.
- Beltrano, J. y Giménez, D. (2015). Cultivo en Hidroponía. UNLP. 1ª edición. ISBN: 978-950-34-1258-9.
- Bribiesca, R. (2020). Manejo de la temperatura en el Invernadero. Agrofacto. Recuperado de: <https://agrofacto.com/manejo-temperatura-invernadero/>
- Burgardt, F. (2022) Hidroponía Urbana. Albatros. 1ra edición.
- Carrasco, G; Ramírez, P. y Vogel, H. (2007). Efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva sobre el rendimiento y contenido de aceite esencial de albahaca cultivada en NFT. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca - IDESIA (Chile) Vol. 25, Nº 2; 59-62, 2007 - ISSN 0718-3429. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292007000200007>
- Castellanos, J. Z. (2009). Manual de producción de tomate en invernadero. Editorial INTAGRI. México.132-133.
- Chen López, J. (2021). La influencia de la luz en el crecimiento del cultivo. Promix. Recuperado de: <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-influencia-de-la-luz-en-el-crecimiento-del-cultivo>.
- Favella, E.; Preciado, P. y Benavides A. (2016). Manual para la preparación de soluciones nutritivas – Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Fontan, L. M.; Rasitt N. y Maldonado P. (2017). Hydroponic Technology - Sistema de medición de cultivos hidropónicos. UTN - Facultad Regional Buenos Aires.
- INTAGRI. (2017). La Industria de los Cultivos Hidropónicos. Serie Horticultura Protegida. Núm. 31. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p.
- Lugo Espinosa, O.; Villavicencio Pérez, G. A. y Díaz Luna, S. A. (2014). Paquete Tecnológico para el Monitoreo Ambiental en Invernaderos con el uso de Hardware y Software Libre. Terra Latinoamericana. Vol. 32. Nº1.

- Martínez García, J. F.; Monte, E. y Ruiz Cantón, F. J. (2001). Fitocromos y desarrollo vegetal. Recuperado de: <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Fitocromos%20y%20desarrollo%20vegetal.pdf>.
- Noriega Viera, K. D. (2019). Sistema de Monitoreo Remoto para Mediciones de Variables ambientales en Cultivos Hidropónicos con Tecnología Inalámbrica Zigbee. Univ. Nac. de Piura. Perú.
- Resh, H. M. (2001). Cultivos Hidropónicos. Mundi Prensa. 5° ed.
- Salisbury, F. B. y Ross, C. W. (2000). Fisiología de las Plantas. Paraninfo Thomson Learning, Madrid, 988 p.
- Steiner, A. A. (1961) A Universal Method for Preparing Nutrient Solutions of a Certain Desired Composition. Plant Soil.
- Urdiales Ponce, V. y Espín Ortega, J. (2018). Monitoreo de un sistema Hidropónico NFT escala usando arquitectura Arduino. Tecnología en marcha. (pp. 148-158).