

PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA

HYDROLEAF – SISTEMA AUTOMATIZADO DE CULTIVO HIDROPÓNICO NFT PARA INTERIORES

Casse, Sebastián Agustín – LU1095425
Ingeniería en Telecomunicaciones

Riggio, Franco Andrés – LU1078262
Ingeniería en Telecomunicaciones

Tutor:

Dos Santos, Maximiliano, Universidad Argentina de la Empresa

Octubre 16, 2021

UADE

UNIVERSIDAD ARGENTINA DE LA EMPRESA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS EXACTAS

1. RESUMEN

El crecimiento de las grandes ciudades trae consigo una disminución de los espacios cultivables. En este contexto, las técnicas hidropónicas cobran más relevancia debido a su uso eficiente de recursos y al no requerir de tierra como sustrato.

Partiendo de este escenario, se desarrolló un sistema NFT automatizado para interiores que requiere una mínima intervención humana. El mismo cuenta con una página web que permite gestionar el crecimiento de los cultivos de manera remota, mediante la conexión a internet.

Contemplando las particularidades de las zonas urbanas del Área Metropolitana de Buenos Aires y las necesidades de las plantas para las que fue diseñada la solución, se analizaron las características con las que debía contar. Asimismo, se buscó simplificar los procesos de manera tal que pueda ser utilizada por aquellos usuarios que no posean conocimientos específicos.

Por otra parte, se hicieron diversos estudios técnicos y económicos con el objetivo de comprender cómo producir, publicitar y comercializar el producto.

Por último, se llevó a cabo una encuesta a potenciales consumidores para poder comparar los resultados obtenidos con la solución ofrecida. Debido a ella, fueron analizadas las sugerencias que deberían ser tenidas en cuenta para mejorar el producto. Esto permitiría proyectar futuros modelos o diseños que podrían ser adaptados a soluciones más avanzadas.

2. ABSTRACT

The growth of big cities brings along a decrease in the arable areas. In this context, the hydroponic techniques become more relevant because of their efficient use of resources, and earth is not used as substratum.

Bearing in mind this scenario, an automatic NFT system for insides, which involves a minimal human intervention was developed. It includes a web site which lets the user manage the growing crops in a remote way, using just an internet connection.

Considering the environmental specifications of the Metropolitan Area of Buenos Aires (AMBA) and the requirements of the vegetables used in this project, every specific consideration was analysed. Furthermore, the processes were aimed to be used by all kind of users, even those not having specific knowledges about them.

On the other hand, technical and economic studies were performed with the purpose of understanding how to produce, advertise and commercialize the product.

Finally, a survey to potential customers about specific characteristics was carried out to be able to compare the obtained results to the offered solution. As a result of the inquiry, recommendations that should be kept in mind to improve the product were analysed. Also looking forward to future models or designs being adjusted to further solutions.

Contenido

1. RESUMEN	2
2. ABSTRACT.....	3
3. INTRODUCCIÓN	6
3.1. OBJETIVOS GENERALES	6
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
3.3. ESTRUCTURA DEL INFORME	7
4. ANTECEDENTES.....	8
4.1. SOLUCIÓN NUTRITIVA	8
4.2. SUSTRATO	11
4.2.1. PROPIEDADES DE LOS SUSTRATOS	11
4.2.2. TIPOS DE SUSTRATOS	13
4.3. CONDICIONES CLIMÁTICAS.....	15
4.4. TÉCNICAS DE CULTIVO.....	18
4.4.1. SISTEMAS DE RAÍCES EN SUSTRATO	18
4.4.2. SISTEMAS DE RAÍCES EN AGUA	21
4.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS	23
5. DESCRIPCIÓN	24
5.1. MARCO TEÓRICO	24
5.1.1. CONTROLADORES.....	25
5.1.2. SENSORES	27
5.1.3. ACTUADORES.....	33
5.1.4. OTROS DISPOSITIVOS.....	37
5.1.5. PROTOCOLO MQTT	40
5.1.6. BASE DE DATOS.....	41
5.2. HUERTA NFT	41
5.2.1. ESQUEMA ELÉCTRICO	44
5.2.2. INSTALACION.....	46
5.2.3. FUNCIONAMIENTO	48
5.2.4. DIAGRAMA DE FLUJO	49
5.3. ALMACENAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	51
5.4. COMUNICACIÓN	53
5.5. PAGINA WEB.....	54
5.5.1. ESTRUCTURA	54
5.5.2. ARQUITECTURA	61
6. METODOLOGÍA DE DESARROLLO.....	62
6.1. METODOLOGÍA SELECCIONADA	62
6.2. HERRAMIENTAS Y RECURSOS	63
6.2.1. NODE-RED	63

6.2.2.	DBEAVER.....	64
6.2.3.	GRAFANA	64
6.2.4.	ARDUINO IDE	64
6.2.5.	MOSQUITTO	64
6.2.6.	VIRTUALBOX.....	65
6.2.7.	GOOGLE DRIVE	65
6.2.8.	GOOGLE FORMS.....	65
6.2.9.	TRELLO	66
6.2.10.	MICROSOFT TEAMS.....	67
7.	ANÁLISIS FINANCIERO.....	67
7.1.	FODA.....	67
7.2.	INVERSION Y COSTOS	68
7.2.1.	COSTOS INICIALES.....	68
7.2.2.	COSTOS MENSUALES	69
7.2.3.	COSTOS ANUALES.....	74
7.2.4.	INVERSION INICIAL	74
7.3.	INGRESOS	75
7.4.	FLUJO DE CAJA.....	75
7.5.	PRINCIPALES INDICADORES.....	77
7.5.1.	VALOR NETO ACTUAL (VAN).....	77
7.5.2.	TASAS INTERNA DE RETORNO (TIR)	78
7.5.3.	RETORNO DE INVERSION (ROI)	79
7.5.4.	PUNTO DE EQUILIBRIO	79
7.6.	PLAN DE MARKETING	80
7.6.1.	PALETA DE COLORES.....	80
7.6.2.	IMAGOTIPO	81
7.6.3.	CAMPAÑA PUBLICITARIA	81
8.	PRUEBAS REALIZADAS.....	83
8.1.	CONSTRUCCION DE LA HUERTA	83
8.2.	INTERFAZ WEB.....	89
8.3.	CULTIVOS	90
8.4.	ESTUDIO DE MERCADO.....	93
9.	DISCUSIÓN	95
10.	CONCLUSIONES	95
11.	BIBLIOGRAFÍA	97
12.	ANEXO.....	103
12.1.	ANEXO I: SKETCH ESP32	103
12.2.	ANEXO II: COSECHAS	118
12.3.	ANEXO III: ENCUESTA	121

3. INTRODUCCIÓN

A lo largo de los últimos dos siglos, la industria ligada a la producción y comercialización de alimentos de origen vegetal se ha desarrollado a pasos agigantados. Este crecimiento trajo consigo una serie de cuestiones negativas, entre las que se puede mencionar el abuso de agroquímicos, el uso ineficiente del agua, la sobreexplotación de la tierra, las malas condiciones laborales de los trabajadores del rubro y el incremento en la distancia entre los lugares de producción y comercialización (Díaz, y otros, 2014). En este contexto toma fuerza a principios del siglo XX una técnica de cultivo, hasta entonces poco explotado, conocida como hidroponía (Beltrano, y otros, 2015). Esta se caracteriza por no necesitar de tierra como sustrato ya que los nutrientes requeridos por las plantas son provistos por el agua.

Si bien este tipo de sistemas poseen muchos beneficios, existen dos contras muy importantes que limitan su masificación y su proliferación. Por un lado, se requieren conocimientos técnicos específicos para su correcta manipulación; por el otro, el costo asociado a su implementación es más alto con respecto a las técnicas tradicionales.

La finalidad de este trabajo fue desarrollar un sistema de cultivo hidropónico automatizado NFT, orientado al cultivo en interiores de verduras de hoja y aromáticas, tales como lechuga, albahaca, rúcula, orégano, espinaca, ciboulette, acelga, menta, entre otras. A través de este, se buscó satisfacer las necesidades de todo aquel con intenciones de comenzar a producir este tipo de verduras en entornos controlados, con una mínima intervención humana, de manera amigable para el medio ambiente y haciendo un uso eficiente de los recursos. Entre los potenciales clientes se pueden mencionar a instituciones educativas que deseen instruir a sus alumnos sobre este tipo de técnicas de cultivo, a individuos particulares interesados en comenzar a producir sus propios alimentos, y a propietarios de pequeños emprendimientos como verdulerías o restaurantes que quieran comenzar con una integración vertical en sus respectivos negocios.

3.1.OBJETIVOS GENERALES

- Desarrollar un sistema de cultivo hidropónico Nutrient Film Technique (NFT) automatizado para interiores, contemplado para 2021 en el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA)

3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Brindar información histórica y en tiempo real sobre las distintas variables que influyen en el crecimiento de los vegetales.
- Minimizar la intervención humana durante todo el desarrollo de las plantas, gracias a la automatización de los procesos.
- Demostrar el uso eficiente del agua y nutrientes de este sistema, comparado con los métodos tradicionales de cultivo.

3.3.ESTRUCTURA DEL INFORME

El presente trabajo está organizado en una serie de etapas, las cuales son descriptas brevemente en esta sección.

En “Antecedentes” se analiza el concepto de hidroponía, los agentes principales que la conforman (sustratos y solución nutritiva) y las condiciones climáticas que deben considerarse en estos cultivos. A su vez, se detallan los distintos tipos de sistemas hidropónicos existentes y sus características.

En “Descripción” se enumeran los principales componentes que formaron parte de la solución realizada, así como también su esquema eléctrico, proceso de instalación y puesta en funcionamiento. Además, se detalla la estructura de la base de datos, el protocolo de comunicación y el Front-end de la página web.

En “Metodología de desarrollo” se especifica la técnica utilizada y las herramientas informáticas que fueron necesarias para poder llevar a cabo la construcción del prototipo funcional.

En “Análisis financiero” en primera instancia se detallan las fortalezas y debilidades internas y las oportunidades y amenazas externas que pueden presentarse. Luego se relevan cada uno de los gastos asociados al desarrollo del proyecto y se estiman los ingresos por ventas. Por último, se calculan los principales indicadores financieros, se analiza la viabilidad de la solución propuesta y se describe un posible plan de marketing a implementar.

En “Pruebas realizadas” se describe el proceso de construcción y los testeos realizados. También se detallan las conclusiones obtenidas a partir de las encuestas realizadas a potenciales clientes con el fin de analizar su perspectiva al momento de adquirir un sistema de las características brindadas.

En “Discusión” se especifican aquellas cuestiones que fueron establecidas en el alcance inicial del proyecto, pero que luego por diferentes motivos fueron modificadas.

Por último, en “Conclusiones” reflejan las observaciones finales del trabajo realizado, planteando los objetivos principales que se propusieron al comienzo de la puesta en marcha del proyecto y los resultados obtenidos tras haberlo implementado.

4. ANTECEDENTES

En la presente sección se exponen los diferentes aspectos teóricos relacionados con la solución desarrollada, los cuales permiten sentar las bases de la problemática planteada originalmente y la consiguiente solución brindada.

Durante el análisis se contempló tanto las características de los diferentes tipos de cultivo hidropónico existentes como las variantes de sustratos que hay en el mercado. Mediante estas distinciones, se fundamenta el diseño de la solución realizada.

Para comenzar a abordar una solución a la problemática planteada, primero se debe definir qué es la hidroponía y cómo funciona. Por consiguiente, se puede afirmar que *en la actualidad se utiliza para referirse al cultivo sin suelo. La hidroponía es una herramienta que permite el cultivo de plantas sin suelo, es decir sin tierra. Un cultivo hidropónico es un sistema aislado del suelo, utilizado para cultivar plantas cuyo crecimiento es posible gracias al suministro adecuado de los requerimientos hídrico-nutricionales, a través del agua y solución nutritiva* (Beltrano, y otros, 2015).

4.1.SOLUCIÓN NUTRITIVA

Mediante su sistema radicular, las plantas obtienen agua, oxígeno y los nutrientes necesarios para poder garantizar su crecimiento. Dichos nutrientes son requeridos en cantidades variables, en función del vegetal que se trate, de forma tal que algunos de ellos son requeridos en cantidades elevadas, mientras que otros son demandados en proporciones más pequeñas (la necesidad en menores proporciones no implica que tengan menor importancia, sino que simplemente son requeridos en menores cantidades relativas).

A partir de esta distinción, se los conoce como elementos mayores o macronutrientes a aquellos que son requeridos en dosis elevadas, siendo estos requeridos en el orden de g/L de solución. Dichos elementos son nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), azufre (S), calcio (Ca), carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O). En cambio, aquellos nutrientes que

se necesitan en cantidades más reducidas como el hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), boro (B), molibdeno (Mo), cloro (Cl) o el níquel (Ni) son denominados elementos menores o micronutrientes, y son utilizados en el orden de mg/L de solución.

Tal como se mencionó anteriormente, en los sistemas hidropónicos los nutrientes son provistos a través de una solución nutritiva. Allí, los elementos se encuentran en forma iónica y son absorbidos por las raíces de las plantas.

Se puede obtener como primera afirmación, en base a lo descripto recientemente, que uno de los pilares que hay que tener en cuenta para que un sistema de cultivo hidropónico funcione correctamente es cómo está compuesta la solución nutritiva. Dicho de otro modo, la solución debe contener todos los elementos previamente mencionados en las cantidades adecuadas para que cumplan en forma correcta el rol que desempeñan en el metabolismo vegetal. Ante la carencia de alguno de los elementos, aparecen en las plantas anomalías que son características de cada nutriente.

Debido a que los elementos aparecen de forma iónica en la solución nutritiva, existe una serie de parámetros que deben ser tenidos en cuenta, dado que cumplen un rol importante durante el proceso de cultivo:

- **Calidad del agua:** Es de suma importancia contar con una fuente de agua adecuada, ya que en ella se disuelven las sales con los diversos nutrientes. Para que pueda ser considerada útil para su uso en hidroponía, su pH debe encontrarse en valores aproximados a un rango entre 5.5 y 7 (Castañares, 2020) y su electroconductividad (a partir de ahora EC) no debe superar los 0.9 mS/cm (Infoagro, 2020).
- **Disponibilidad del oxígeno:** La disponibilidad de O₂ juega un papel importante en la absorción iónica. La restricción de este elemento por estancamiento en los sustratos hidropónicos o la falta de aireación puede ocasionar una acumulación de CO₂ en el medio radicular. Por ende, se disminuye la disponibilidad de Fe, asociándolo con acumulaciones de Mn en las hojas de las plantas, inhibiendo además en la absorción de iones K y NO₃⁻. Esto produce deficiencias que se aprecian de manera visual en la planta. Por consiguiente, la disponibilidad de O₂ en la solución nutritiva es fundamental para un crecimiento normal y el correcto funcionamiento de las raíces. En un medio aeróbico las células de la planta pueden respirar, pudiendo de esta manera absorber todos los nutrientes necesarios para su normal crecimiento.

-
- **Influencia de la temperatura:** Los órganos vegetales que se encuentran sumergidos dentro de la solución nutritiva deben encontrarse en condiciones de temperatura adecuadas, ya que incrementos excesivos pueden afectar al metabolismo celular (pudiendo causar incluso su muerte). Esto se debe a que el oxígeno se disuelve mejor en aguas frías que calientes, ocasionando que incremente su disponibilidad. Sin embargo, las plantas son incapaces de captar P, Fe o Ca cuando la temperatura de la solución se encuentra por debajo de los 8 °C. Si bien el rango óptimo de temperatura de la solución nutritiva depende de cada tipo de planta, la mayoría de las plantas tienen un desarrollo favorable cuando la temperatura se encuentra entre los 20 y 25 °C. Existen algunas situaciones en donde hay plantas cuyas temperaturas óptimas son un poco más altas. Por ejemplo, para el tomate y el chile la temperatura ideal es de aproximadamente 27 °C. Sin embargo, plantas como la lechuga desarrollarían problemas nutricionales trabajando a estas temperaturas, ya que la temperatura para que sobreviva esta verdura oscila entre los 8 y 25 °C (Bizuet García, 2014).
 - **Influencia del pH:** El pH de la solución nutritiva determina el grado de acidez o alcalinidad de la solución, ocasionando un impacto directo en la absorción de iones. Así, aquellas soluciones que tengan un pH mayor a 7.5 producen una disminución en la absorción de NO_3^- . En cambio, las soluciones con un pH menor a 4 disminuyen la absorción de K, produciendo un desbalance en la polaridad en las membranas celulares de las raíces. Es por tal razón que las plantas deben tomar los elementos de una solución nutritiva cuyo pH se encuentre en un rango comprendido entre 5.5 y 7.
 - **Influencia de la interacción entre iones:** La relación entre dos nutrientes dependerá de la concentración de cada uno de ellos, y su interacción puede ocurrir durante la absorción, la translocación o el metabolismo. Por ejemplo, durante el mecanismo de absorción un exceso de K puede ocasionar dificultades para absorber Mg y/o Ca, causando síntomas de deficiencias de dichos elementos.
 - **Influencia de la salinidad:** Las soluciones nutritivas con elevados contenidos de sales, como los iones de sodio y cloruro, influyen de forma directa en la absorción de los nutrientes. En otros términos, las concentraciones altas de elementos salinos ocasionan aumentos en la presión osmótica de la solución, impidiendo la absorción de agua e iones

minerales, generando un desbalance hídrico en la planta. Por consiguiente, impacta negativamente en la absorción y el transporte de elementos como el Ca y el B.

- Influencia de la edad: Al incrementar la edad de la planta, aumenta el volumen radicular. Teniendo en cuenta que la absorción de nutrientes es llevada a cabo fundamentalmente en la zona pilífera, y este proceso disminuye a medida que uno se aleja hacia el cuello de la raíz, se afirma que la tasa de absorción aumenta con el crecimiento del volumen radicular.
- Influencia de los nutrientes: La absorción de iones depende de la concentración de nutrientes en la solución. Así, dicha absorción disminuye cuando la concentración en la zona radicular es baja. En el caso de las verduras de hoja, los valores de EC de la solución nutritiva deben encontrarse entre 1.3 mS/cm a 3 mS/cm (Hydro Environment, 2012).

4.2.SUSTRATO

Si bien esta definición afirma que la hidroponía omite el uso de la tierra, es habitual la utilización de algún sustrato. Dicho elemento consiste en *todo material solido diferente del suelo común, que puede ser resultado de procesos naturales, residuales o de síntesis, puede ser de origen orgánico o mineral y que colocado en un contenedor puede servir como medio de sustento para el sistema reticular de las plantas* (Soria Campos, 2012). En otras palabras, es el medio que sustituye al suelo para el cultivo de las plantas dentro de algún recipiente.

Desde los inicios de la hidroponía, los sustratos son considerados como materiales de gran importancia. Sin embargo, estos deben poseer una serie de características favorables para el cultivo (teniendo en cuenta que no siempre un sustrato reúne todas las características deseables, es posible recurrir a las mezclas de varios de ellos, buscando que unos aporten lo que les falta a los otros).

4.2.1. PROPIEDADES DE LOS SUSTRATOS

Las propiedades que debe reunir un buen sustrato son las siguientes:

- Porosidad: Es el volumen total del medio no ocupado por las partículas sólidas, por lo que tendrá aire o agua en una cierta proporción. El nivel de capacidad de aireación óptimo varía entre un 20% y un 30%, siendo esto la proporción del volumen de oxígeno que se encuentra disponible en el sustrato cuando éste se haya saturado de agua y haya

terminado de drenar. Es importante contar con un sustrato que disponga de una estructura estable y muy poroso, ya que de esta forma se evita la falta de oxígeno en la zona radicular (Beltrano, y otros, 2015).

- Retención de humedad: Determina la posibilidad de que la planta tenga disponibles los nutrientes para que pueda realizar sus procesos metabólicos (fotosíntesis, transpiración, respiración y procesos reproductivos). Esta característica va a depender de su granulometría (tamaño de las partículas) y porosidad (espacio que hay entre las partículas). Mientras más elevada sea la capacidad de retención de agua del sustrato, menos frecuentes serán los riesgos.
- Capilaridad: El sustrato debe contar con la capacidad de absorber y distribuir en todas las direcciones la solución nutritiva a través de los microporos. Si el sustrato llega a tener baja capilaridad, habrá zonas secas en donde no se podrán desarrollar las raíces. Cuando el sustrato tiene buena capilaridad, el agua es absorbida en todas las direcciones, haciendo que las plantas encuentren una humedad homogénea en todo el recipiente.
- Estabilidad física: Este factor es de vital importancia para aquellos cultivos que son de larga duración, ya que la compactación y descomposición del sustrato puede ocasionar una reducción en el espacio poroso y en la capacidad de aireación del cultivo.
- Peso: Lo recomendable es que el sustrato sea liviano, permitiendo de esta manera que pueda ser manipulado fácilmente.
- Costo: Se sugiere realizar una cotización al momento de seleccionar un sustrato, para poder obtenerlo a un buen precio de manera tal que no se sacrifique la calidad del resultado final obtenido.
- Capacidad de Intercambio de Cationes (CIC): Representa la capacidad que tiene un sustrato para retener y liberar iones positivos. De esta forma, indica el potencial que tiene el sustrato para retener e intercambiar nutrientes vegetales.
- Valor de pH: El sustrato debe ser capaz de mantener constante el pH de la solución nutritiva.
- Salinidad: El contenido salino del sustrato debe ser bajo.
- Velocidad de descomposición: La velocidad de descomposición del sustrato debe ser baja.

El sustrato más conveniente para utilizar depende del tipo de material a cultivar (semilla, estaca, plantín, etc.), de la especie vegetal a cultivar, el tamaño y forma del contenedor, las condiciones climáticas de la zona, programas de riego, la fertilización y el costo del sustrato propiamente dicho.

4.2.2. TIPOS DE SUSTRATOS

Actualmente en el mercado existen diversos tipos de sustratos, entre los más utilizados se pueden mencionar:

- Agua: Además de transportar los nutrientes a las plantas, puede ser utilizado como un sustrato.
- Grava: Suele utilizarse aquellos que poseen un diámetro entre 5 y 15 mm. Se destacan las gravas de cuarzo, la piedra pómez y las que contienen menos de un 10% de carbonato cálcico. Poseen una buena estabilidad estructural, su capacidad de retención del agua es baja y su porosidad es elevada (más del 40% del volumen). Puede durar varios años su uso. Algunos tipos de gravas, como las de piedra pómez o de arena de río, deben ser lavados para poder ser utilizados.
- Arena: Su granulometría más adecuada oscila entre 0,5 y 2 mm de diámetro, su capacidad de retención de agua es media, su capacidad de aireación disminuye con el tiempo (debido a la compactación) y su capacidad de intercambio catiónico es nula. Contiene una durabilidad elevada.
- Tierra volcánica: Es un material de origen volcánico que se utiliza sin someterlo a ningún tipo de tratamiento, proceso o manipulación. La CIC es prácticamente nula. Se destaca por su buena aireación, su inercia química y la estabilidad de su estructura. Sus principales desventajas son la baja capacidad de retención del agua, su poca homogeneidad y su difícil manipulación debido a su peso.
- Turba: Es un material de origen vegetal, cuyas propiedades físicas y químicas pueden variar según su origen. Existen dos clases de turbas: las turbas rubias y las turbas negras. Se suelen usar de manera más frecuente las turbas rubias, debido a que las turbas negras tienen una aireación deficiente y contenidos elevados en sales. En cambio, las turbas rubias poseen una buena capacidad de retención de agua y aireación. Debido a su alta CIC, interfieren en la nutrición de las plantas. Entre sus desventajas, se puede destacar su rápida degradación y su reducida aireación.

-
- **Corteza de pino:** Al ser un material de origen natural, posee una gran variabilidad. Las propiedades físicas de dicho sustrato dependen del tamaño de sus partículas, y se recomienda que entre el 20% y el 40% de dichas partículas sean de un tamaño inferior a los 0,8 mm. Su porosidad es superior al 80%, su capacidad de retención de agua no es alta y su capacidad de aireación es muy elevada.
 - **Fibra de coco:** Este producto se obtiene a partir del coco. Tiene una capacidad de absorción de agua equivalente hasta 3 o 4 veces su peso. Su porosidad es buena y debe ser lavado antes de su uso debido a alto contenido de sales que posee.
 - **Lana de roca:** Es un material obtenido a partir de un proceso de fundición industrial a más de 1600 °C de una mezcla de rocas basálticas, calcáreas y carbón de coque. Es considerado un sustrato inerte, al tener una CIC casi nula y un pH ligeramente alcalino, lo que lo convierte en un material fácil de controlar. Es un material con una gran porosidad y una elevada capacidad de retener agua. Su principal inconveniente es que presenta una considerable degradación de su estructura, por lo que su utilización no puede sobrepasar los 3 años.
 - **Perlita:** Es un material obtenido como resultado de un tratamiento químico a un rango de 1.000-1.200 °C, utilizando una roca silícea volcánica del grupo de las riolitas. Posee una capacidad de retención de agua equivalente hasta 5 veces su peso, una buena aireación, y una elevada porosidad. Además, su CIC es prácticamente nula y mantiene un perfil de humedad casi constante en la zona radicular. Su durabilidad varía en función del tipo de cultivo a utilizar, pudiendo esta llegar hasta los 6 años.
 - **Vermiculita:** Se obtiene mediante la exfoliación de un tipo de mica, sometido a temperaturas superiores a los 800 °C. Puede retener hasta 350 litros de agua por cada metro cúbico y posee una buena capacidad de aireación, a pesar de que con el tiempo esto último tiende a compactarse. Posee una elevada CIC.
 - **Arcilla expandida:** Se trata de un producto que se obtiene mediante el tratamiento de nódulos arcillosos a más de 100 °C. Suele ser mezclado con turba para la elaboración de sustratos. Posee una baja capacidad de retención de agua, pero una buena capacidad de aireación. Su CIC es prácticamente nula.

- Poliestireno expandido: Es un plástico troceado en flóculos de 4-12 mm. Posee muy poca capacidad de retención de agua. Suele mezclarse con otros sustratos, como la turba, para mejorar la capacidad de aireación.

4.3.CONDICIONES CLIMÁTICAS

Las características climáticas de una zona deben ser analizadas en función de las necesidades de las plantas que se desean cultivar (OASIS, 2007). Tomando esto en consideración, en la presente sección se detallan cada una de las particularidades que se deben tener en cuenta con respecto al ambiente que rodea al sistema hidropónico a utilizar.

- Luz: La energía solar es el factor ambiental más influyente sobre el crecimiento de las plantas, dado que de ella depende la mayoría de los procesos biológicos (como la fotosíntesis). A su vez, la luz interviene en los procesos de movimiento y formación de las plantas como los tropismos, la orientación, el alargamiento del tallo, la formación de pigmentos y la clorofila. De esta manera, la luz tiene un impacto sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas verdes, siendo esta la fuente primaria de calor y estímulo para la regulación del desarrollo de todos los tejidos vegetales.

Cada especie requiere de una cantidad específica de radiación luminosa, teniendo en cuenta tanto la intensidad de la luz como su calidad (Hydro Environment, 2013). A continuación, se presenta una tabla (ver Tabla I) en donde se detallan los efectos que puede llegar a ocasionar la falta o exceso de luz.

TABLA I: Síntomas de una mala iluminación en el cultivo

Exceso de luz	Falta de luz
Las hojas se arrugan y los bordes se tornan marrones o surgen manchas pardas por quemaduras.	Las hojas se ponen amarillas y caen.
Hojas pequeñas que pierden color verde para hacerse demasiado blanquecinas.	Las plantas apenas florecen y cuando lo hacen, las flores suelen tener un desarrollo incompleto o son demasiado pequeñas y suelen caer antes de florecer.
Las plantas pierden vigor en las horas más calurosas del día.	Las plantas desarrollan tallos casi sin color, demasiado largos y delgados con poca vitalidad y con una gran distancia entre los entrenudos.
Las hojas se orientan en sentido contrario de la luz.	El crecimiento de las hojas es más despacio y débil.

Fuente: https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=221

Con base en lo expresado recientemente, se denomina fotoperiodo al tiempo en que las plantas reciben luz día diariamente. Su desarrollo puede ser activado o no dependiendo del número de horas de luz recibidas. Entonces, algunos árboles y plantas necesitan un número determinado de horas de luz al día para crecer y producir flores. En otras palabras, algunos procesos de las plantas están determinados por la duración del día. Por consiguiente, las plantas pueden ser clasificadas en función de sus respuestas al fotoperiodo. De esta forma, se las conoce como plantas de días cortos a aquellas que necesitan menos de 12 horas de luz al día para poder florecer. Luego, existen las que se llaman plantas de días largos, siendo aquellas que solamente florecen durante los días con más de 12 horas de luz. También existen otras que no responden al fotoperiodo, siendo estas conocidas como plantas neutrales al día, y florecen mediante otros mecanismos.

Otro factor que se debe considerar, tal como se mencionó anteriormente, es la intensidad con la que las plantas son iluminadas; dicho parámetro es medido en luxes, siendo esta la unidad del Sistema Internacional de Unidades para el nivel de iluminación. Es importante controlar esta variable porque afecta al desarrollo de las plantas y no todas ellas responden de la misma forma: el hecho de que una planta sea catalogada como de días largos no implica que esta deba estar en un lugar en donde la intensidad de luz equivalente a la de un día despejado.

Por último, debido a que los sistemas hidropónicos se presentan a menudo como sistemas indoor, es importante elegir un buen equipamiento de iluminación artificial. Dicho equipamiento debe ser capaz de irradiar luz azul (con una longitud de onda de 430-450 nm), que estimula al desarrollo de hojas, raíces y tallos, y luz roja (con una longitud de onda de 640-680 nm), que favorece a la floración y la fructificación (Hidroponía al Cubo, 2017). La potencia de las bombillas utilizadas estará determinada según el tamaño del invernadero, o la habitación en donde se encuentre instalado el cultivo, y su distancia a este último (Fig. 1).

Tamaño de la habitación	Lámpara de descarga 		Lámpara de bajo consumo 	
	Potencia	Distancia a la planta	Potencia	Distancia a la planta
0.8 x 0.8 m	250 W	30–50 cm	120 W	
1 x 1 m	400 W	40–60 cm	150 W	20–50 cm
1.2 x 1.2 m	600 W	60–80 cm	200 W	
1.5 x 1.5 m	1000 W	80–95 cm	250 W	



Figura 1: Potencia de las bombillas utilizadas

Fuente: <https://hidroponiaalcubo.wordpress.com/iluminacion/>

- **Temperatura:** La temperatura ambiente afecta directamente a las funciones de la fotosíntesis, respiración, permeabilidad de la membrana celular, absorción de agua y nutrientes, transpiración, actividades enzimáticas, entre otros. Las reacciones biológicas importantes no pueden llevarse a cabo a temperaturas que se encuentren por debajo de los 0 °C o por encima de los 50 °C. La temperatura óptima varía de acuerdo con las especies cultivadas, aunque casi siempre se encuentra en el rango de 10-25 °C. A pesar de que las plantas pueden tolerar temperaturas más bajas a las descritas en el rango óptimo durante períodos cortos de tiempo, debe evitarse que se acerquen al valor letal (OASIS, 2007).
- **Humedad relativa:** Se conoce como humedad ambiental o relativa a la relación que existe entre la cantidad de vapor de agua que contiene el aire y la que tendría si estuviera completamente saturada, siendo expresado su valor en porcentaje. La humedad ambiental afecta al metabolismo de la planta ya que, si la humedad es demasiado alta, el intercambio gaseoso queda limitado y se reduce la transpiración, y por consiguiente la absorción de nutrientes. En caso contrario, si la humedad es demasiado baja, se cierran los estomas de la planta y se reduce la tasa de fotosíntesis.

Tomando en consideración lo expresado recientemente, se considera que el rango de humedad ambiental ideal para trabajar oscila en un rango entre 40% y el 60% (El Holandés Picante, 2016).

- Dióxido de carbono (CO₂): El CO₂ contiene aproximadamente un 44% de carbono y una cantidad similar de oxígeno. El aire es la única fuente de CO₂ para las plantas y su contenido no excede el 0,03% (300 ppm). Es importante este factor, debido a que la velocidad de crecimiento de la planta decrece considerablemente cuando la concentración mínima de CO₂ desciende por debajo de 300 ppm. Por otra parte, la mayoría de los cultivos producen mucho más cuando la concentración de CO₂ disponible excede de este nivel. Por ejemplo, se estima que la tasa de crecimiento del tomate disminuye un 80% cuando el CO₂ disponible cae por debajo de 100 ppm y aumenta un 20% cuando su concentración llega a las 1.000 ppm.

4.4. TÉCNICAS DE CULTIVO

Los diferentes sistemas hidropónicos existentes pueden ser agrupados en dos categorías: los sistemas de raíces en sustrato y los sistemas de raíces en agua o sin sustrato (Puerto Rico Farm Credit, 2021). En la presente sección se describen cada uno de estos sistemas.

4.4.1. SISTEMAS DE RAÍCES EN SUSTRATO

- Sistema de mecha: Este sistema es uno de los más simples de implementar, dado que no necesita usar bombas eléctricas para transportar los nutrientes ni rociadores. En vez de eso, funciona por medio de la acción capilar, ya que absorbe agua y nutrientes mediante una mecha de tela especial. Tiene la capacidad de cultivar plantas de todos los tamaños. Para fabricarlo, se utiliza una maceta (puede estar hecha de vidrio, barro, plástico o aluminio), un recipiente con abertura en el fondo (en donde se almacena la solución nutritiva) y una mecha absorbente que está en contacto con la raíz de la planta (Fig. 2). La desventaja que tiene este sistema es que funciona con plantas individuales y no está pensado para realizar plantaciones a gran escala. Por otra parte, se recomienda utilizarlo para aquellas plantas que requieran poca agua (UVREG, 2012).

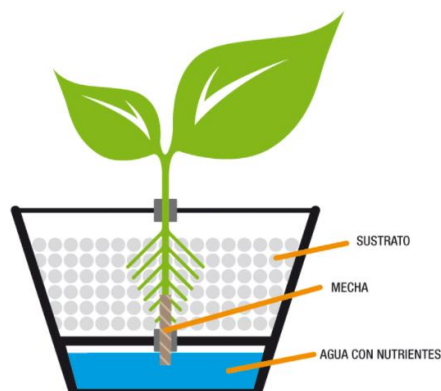


Figura 2: Sistema de mecha

Fuente: <http://urveg.blogspot.com/p/hidroponia-metodos-hidroponicos.html>

- Técnica de inundación y drenaje: También conocida como técnica de flujo y reflujo, consiste en almacenar el agua con los nutrientes en un recipiente, para luego ser bombeado hacia la bandeja en donde se encuentra el sustrato con las plantas (Fig. 3). De esta forma, la planta es capaz de absorber los nutrientes.

Una vez que se absorben adecuadamente los nutrientes, la solución es drenada nuevamente al depósito. Por lo tanto, la bomba vuelve a ser utilizada cada cierto intervalo de tiempo, accionándola manualmente o por medio de un temporizador. La ventaja que posee esta técnica es que los intervalos de tiempo en donde el recipiente con la planta no contiene el agua con los nutrientes son utilizados para proporcionar oxígeno a las raíces.

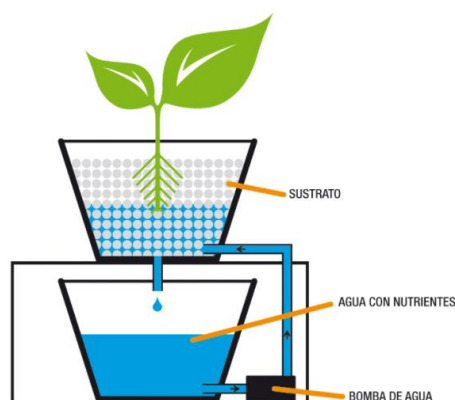


Figura 3: Técnica de inundación y drenaje

Fuente: <http://urveg.blogspot.com/p/hidroponia-metodos-hidroponicos.html>

- Sistema de goteo con recuperación (drip system): Este sistema es similar al riego por goteo del cultivo tradicional, con la diferencia de que el exceso de agua se recoge para

ser reutilizado. A pesar de que esta técnica permite utilizar los nutrientes de forma más eficiente, es más fácil controlar el pH y la solución de los nutrientes en un sistema sin recuperación.

Existen tres maneras diferentes de llevar a cabo este sistema. La primera de ellas es la que se conoce como cubeta individual de riego por goteo. Esta forma tiene la ventaja de ser una solución práctica y totalmente automatizada. Consiste en la utilización de dos cubetas superpuestas. Entonces, en la cubeta inferior se almacena el agua con los nutrientes, mientras que la cubeta superior contiene un sustrato con la planta y un multi gotero circular (Fig. 4). Durante el proceso de plantación, una pequeña bomba es accionada mediante intervalos de tiempo de un temporizador, con el objetivo de programar los riegos necesarios para cada planta y cada etapa.

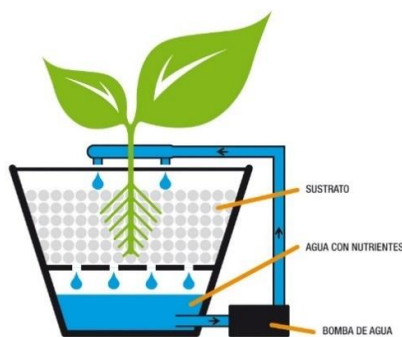


Figura 4: Cubeta individual de riego por goteo

Fuente: <http://urveg.blogspot.com/p/hidroponia-metodos-hidroponicos.html>

La segunda forma de implementar esta solución es la que se conoce como cubetas interconectadas de riego por goteo. Este sistema tiene la ventaja de ser modular y escalable. Por lo tanto, es muy efectivo para el cultivo de una gran cantidad de plantas de manera simultánea. Consiste en la utilización de cubetas conectadas entre sí mediante un conjunto de tubos, los cuales convergen en un recipiente central en donde se almacena el agua con los nutrientes. Para su ejecución, se cuenta con flotadores y un temporizador que acciona el bombeo del agua hacia el resto de las cubetas por un determinado tiempo para alimentar a las raíces de las plantas. Posteriormente, se vuelve a accionar el bombeo del agua hacia el recipiente central para oxigenar las raíces de las plantas.

El tercer método para llevar a cabo esta solución es la que se denomina sistema de conos verticales. Este método tiene la ventaja de cultivar plantas verticalmente,

ahorrando de esta manera mucho espacio. Por otra parte, es una técnica escalable en cantidad de plantas y es muy efectiva para cultivos chicos y medianos. Consiste en utilizar varias cubetas triangulares superpuestas entre sí, y cada una de ellas es fabricada con aperturas en sus costados. Dentro de la estructura hay un recipiente que tiene instalada una bomba de agua que se acciona por intervalos (Fig. 5). Dicha bomba tiene como objetivo llevar el agua con los nutrientes a la parte más alta del sistema, para que luego por medio de la gravedad se alimente a cada planta instalada dentro de las cubetas.

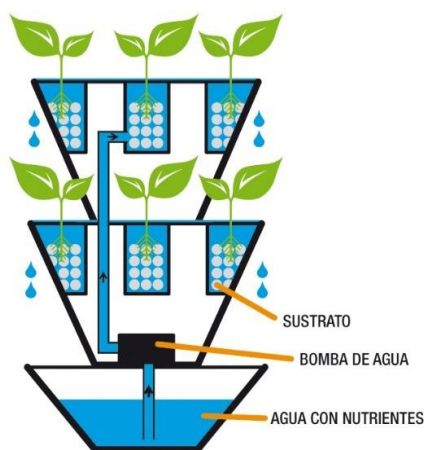


Figura 5: Sistema de conos verticales

Fuente: <http://urveg.blogspot.com/p/hidroponia-metodos-hidroponicos.html>

4.4.2. SISTEMAS DE RAÍCES EN AGUA

- Técnica de Película Nutritiva (NFT): Conocida en inglés como *Nutrient Film Technique*, es el método más utilizado en la industria hidropónica. Consiste en un sistema de tramos de tubos PVC perforados en donde se colocan las plantas. Por esos tubos pasa una ligera capa de agua que es impulsada desde un recipiente, empleando una bomba, para luego llegar nuevamente al recipiente original, y así ser recirculado constantemente (Fig. 6).

Este sistema tiene el beneficio de que es capaz de adaptarse a lugares reducidos, ya que tiene la posibilidad de adaptarse a los espacios verticales. Por lo tanto, posee una gran capacidad para cultivar plantas chicas y medianas.

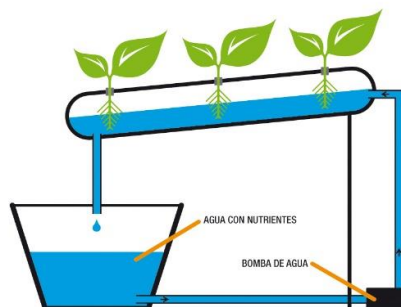


Figura 6: Sistema NFT

Fuente: <http://urveg.blogspot.com/p/hidroponia-metodos-hidroponicos.html>

- Sistema de cultivo en raíz flotante (DWC): Este sistema es ideal para las plantas de tamaño bajo, como las lechugas o algunas plantas aromáticas. Funciona mediante la utilización de poliestireno expandido o cualquier otro material ligero con múltiples cavidades, en donde se insertan las raíces de las plantas, y es colocado sobre un recipiente lleno de agua con nutrientes (Fig. 7). A partir de ello, las raíces quedan suspendidas sobre la solución nutritiva (se debe tener en cuenta que, para poder utilizar este sistema de cultivo, el agua debe ser oxigenada continuamente).

Como primera ventaja de esta solución, se puede afirmar que aprovecha al máximo el espacio cultivable. Es decir, genera más cosechas por metro cuadrado que cualquier otro sistema hidropónico. Además, tiene como beneficio que es uno de los sistemas más simples y de menor costo. Sin embargo, esta solución no es recomendable para plantas altas y pesadas o aquellas que son de desarrollo subterráneo como las zanahorias, las cebollas o las papas. Por otro lado, comparado con sistemas como el NFT, requiere de mayores cuidados diarios y hace un uso menos eficiente de la solución nutritiva.

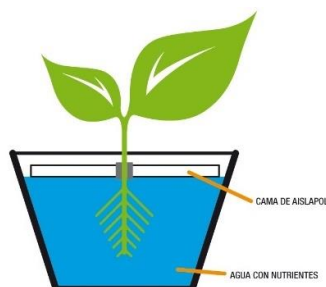


Figura 7: Sistema de cultivo en raíz flotante

Fuente: <http://urveg.blogspot.com/p/hidroponia-metodos-hidroponicos.html>

- Sistema de aeroponía: Esta es la técnica que proporciona una mayor velocidad de crecimiento, ya que garantiza un nivel más alto de oxigenación al quedar la planta suspendida en el aire. Para ello, un sistema de rocío de agua y nutrientes es creado mediante micro aspersores instalados dentro de unos tramos de tubos PVC (Fig. 8). Por otra parte, se acciona cada cierto intervalo de tiempo una bomba sumergible para poder rociar las raíces de las plantas que se encuentran instaladas dentro de las cavidades de los tubos. Una vez que las plantas fueron rociadas, el agua regresa al recipiente en donde es almacenada para poder ser utilizada en la próxima aspersión.

Además de garantizar un crecimiento veloz de los vegetales, tiene como beneficio que se puede adaptar a cualquier espacio, pudiendo así producir una gran cantidad de plantas. Asimismo, es la técnica que utiliza menos agua y, por consiguiente, menos cantidad de nutrientes. No obstante, presenta como inconvenientes que es el método de cultivo más costoso de fabricar y no es recomendado para aquellos que son principiantes.

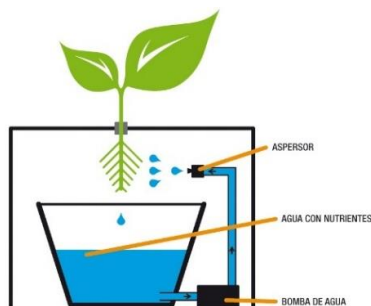


Figura 8: Sistema de aeroponía

Fuente: <http://urveg.blogspot.com/p/hidroponia-metodos-hidroponicos.html>

4.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

El hecho de no utilizar la tierra o suelo para cultivar hace que la hidroponía tenga muchas ventajas en comparación con los métodos de cultivo tradicionales (Puerto Rico Farm Credit, 2021).

El primer beneficio que se puede destacar de la hidroponía es el ahorro del agua, ya que esta es utilizada en forma eficiente, evitando así que se desperdicie e incluso haciendo que sea recirculado por el sistema. En el caso de la agricultura tradicional, el agua que se usa para el riego no es utilizada al cien por ciento, ocasionando que en parte sea desperdiciada. Esto último

es sumamente importante, debido a que en todo el mundo hay actualmente alrededor de 2.200 millones de personas privadas de acceso al agua potable (UNESCO, 2020).

La hidroponía trajo consigo la capacidad de poder producir cultivos en regiones limitadas por las condiciones ambientales como la escasez de agua, falta de suelos aptos para cultivos o fenómenos meteorológicos. Por otra parte, al no haber tierra en donde puedan crecer hierbas intrusas o plagas, se omite la necesidad de utilizar herbicidas, fertilizantes e insecticidas, ahorrando tiempo, dinero y esfuerzo. Sumando estas cualidades al hecho de que la hidroponía permite un mayor control de la cantidad de agua y nutrientes que se utilizan en los cultivos, así como un mayor porcentaje de automatización, se garantiza el crecimiento de productos de mayor calidad que aquellos que son cultivados en campo abierto.

No obstante, si bien la hidroponía posee una serie de ventajas, también dispone de una serie de desventajas. Entre ellas, una de las más destacadas es que requiere una inversión inicial más alta que los métodos tradicionales de cultivo, debido a que demanda la adquisición de un conjunto de materiales importantes como bombas, contenedores, sustratos, tubería, filtros, llaves de paso, entre otros. También se puede mencionar que para poder llevar a cabo esta solución se requiere analizar minuciosamente muchos detalles particulares que no son necesarios cuando se cultiva utilizando tierra. Asimismo, es menor el número de personas especializadas en hidroponía que en aquellos métodos de cultivo que utilizan la tierra.

5. DESCRIPCIÓN

En la presente sección se detallan cada uno de los componentes que conformaron la solución creada. Dicha descripción contempla los distintos componentes electrónicos que fueron utilizados para desarrollar el prototipo funcional, el protocolo de comunicación que se utilizó entre la huerta y el servidor que almacena los datos, el sistema de gestión de base de datos, el diseño de la base de datos y la estructura de la huerta NFT y la página web. A su vez, se presenta un conjunto de diagramas que detallan cómo interactúan entre sí cada una de las partes mencionadas.

5.1.MARCO TEÓRICO

El prototipo realizado consta de un servidor que almacena y procesa toda la información que es enviada y recibida por parte de cada una de las huertas o subsistemas NFT conectados

(aunque el prototipo funcional realizado cuenta solamente con uno). En la presente sección se detallan cada uno de los componentes que formaron parte de la solución desarrollada.

5.1.1. CONTROLADORES

Servidor

Con el fin de desarrollar una primera versión del producto descrito, se examinaron distintas opciones existentes en el mercado. Para esta instancia se optó por un Single Board Computer de la marca Raspberry Pi. Estas placas soportan diversas distribuciones del sistema operativo GNU/Linux lo que resulta de suma utilidad para la emular, de la manera más económica posible, la solución final.

Raspberry Pi es una línea de ordenadores de bajo costo y tamaño reducido fundada en 2009 por la Fundación Raspberry Pi. Dichos dispositivos pueden ser conectados a distintos periféricos de entrada, como un monitor o un teclado, para que un usuario pueda interactuar con ellos (Xataka, 2018). En este caso, se optó por utilizar la versión conocida como Raspberry Pi 3 B+ (Fig. 9), la cual cuenta con las siguientes especificaciones técnicas (Raspberry, 2018):

- Alimentación de entrada: 5V/2.5A DC
- SoC: Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) de 1,4 GHz
- Memoria RAM: 1 GB LPDDR2 SDRAM
- Almacenamiento: 32GB SD
- USB 2.0: 4 puertos
- HDMI: 1 puerto
- GPIO: 40 pines
- Wi-Fi: 2.4 GHz y 5 GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac
- Bluetooth: Versión 4.2



Figura 9: Raspberry Pi 3 B+

Fuente: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>

Placa controladora de huerta NFT

Una vez que se definió el hardware que se iba a utilizar como servidor, el próximo paso consistió en determinar cuál iba a ser la placa que se iba a emplear para conectar cada uno de los sensores y actuadores de las diferentes huertas NFT. Para ello, se escogió la placa de desarrollo NodeMCU ESP32-S (Fig. 10).



Figura 10: NodeMCU ESP32-S

Fuente: <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/384-nodemcu-32-esp32-wifi.html>

NodeMCU es una placa de desarrollo que cuando se lanzó al mercado utilizaba como SoC un ESP8266, el cual fue fabricado por Espressif Systems (Espressif Systems, 2020). En una versión más reciente, se disponibilizó la comercialización del mismo hardware utilizando como SoC un ESP32, siendo esta una evolución del ESP8266. Por lo tanto, la placa de desarrollo NodeMCU ESP32-S posee una mayor capacidad de comunicación y procesamiento, la cual es ideal para poder llevar a cabo el desarrollo del prototipo funcional (Naylamp Mechatronics, 2018).

A continuación, se mencionan las principales características de la placa seleccionada (Espressif Systems, 2019):

- Alimentación de entrada: 2.5-3.6V/0.0025-260mA DC
- CPU: Xtensa Dual-core 32-bit LX6
- RAM: 520 KB SRAM
- SPI Flash: 32Mbit
- Wi-Fi: 2.4 GHz IEEE 802.11.b/g/n (hasta una tasa de transmisión de 150 Mbps).
- Bluetooth: Versión 4.2
- DAC: 2 de 8 bits cada uno
- ADC: 18 canales SAR ADC de 12 bits

- Cantidad y tipos de interfaces:
 - SPI: 4
 - I2S: 2
 - I2C: 2
 - UART: 3
 - GPIO: 34

5.1.2. SENSORES

Las variables elegidas para ser analizadas fueron la temperatura y humedad ambiente, el nivel de iluminación que recibe la planta, el pH, EC y temperatura de la solución. Se descarto medir la concentración de CO₂ del ambiente y la oxigenación de la solución ya que difícilmente existan desvíos en sus valores que impacten significativamente la calidad de las plantas.

Sensor de temperatura y humedad ambiente

Se optó por la utilización de un sensor DHT22 para poder medir la temperatura y la humedad relativa del ambiente (Fig. 11). Se trata de un sensor digital de buen rendimiento, bajo costo y sencillo de usar tanto a nivel de hardware como de software. Sus especificaciones técnicas son las que se detallan a continuación (Aosong Electronics Co., 2018):

- Alimentación de entrada: 3.3-6V DC
- Rango de medición de temperatura: -40°C a 80°C
- Margen de error de medición de temperatura: ±0.5°C
- Resolución de temperatura: 0.1°C
- Rango de medición de humedad: 0% a 100%
- Margen de error de medición de humedad: ±2%
- Resolución de humedad: 0.1%
- Tiempo mínimo entre mediciones: 2 segundos



Figura 11: Sensor DHT22

Fuente: <https://datasheetspdf.com/pdf/792211/Aosong/DHT22/1>

Si bien existe otra solución en el mercado similar, conocida como DHT11, se decidió usar la mencionada previamente ya que posee una mejor resolución, más precisión y mayor rango de medición (Mouser Electronics, 2010).

Sensor de luz ambiente

Debido a la necesidad de conocer el tiempo y la intensidad de luz a la que están expuestas las plantas, fue necesaria la adquisición de un sensor de luz. Es por esa razón que se utilizó en el prototipo un sensor de luz GY49 MAX44009 (Fig. 12).

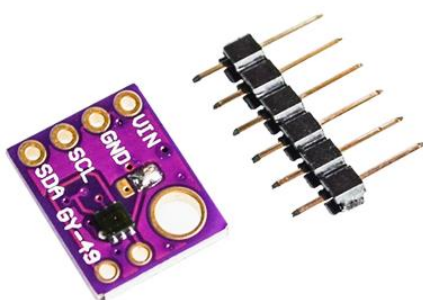


Figura 12: Sensor GY49 MAX44009

Fuente: <https://www.robotics.org.za/MAX44009-MOD>

A diferencia del LDR analógico, este es un sensor de luz ambiente digital con comunicación I2C (Maxim Integrated, 2011) que se destaca por tener una respuesta espectral ideal para este tipo de usos (Fig. 13):

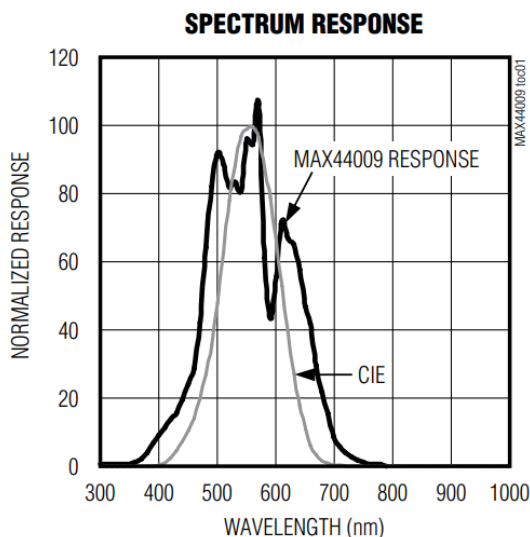


Figura 13: Respuesta espectral del sensor GY49 MAX44009

Fuente: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX44009.pdf>

Entre sus principales características se pueden mencionar:

- Alimentación de entrada: 1.7-3.6V - 0.65 μ A DC.
- Rango de medición: 0.045-188.000 lx.
- Protocolo de comunicación: I2C

Sensor de temperatura de la solución

Para medir la temperatura de la solución nutritiva, se escogió el sensor de temperatura digital DS18B20. A pesar de que la hoja de datos del fabricante muestra al sensor de temperatura utilizado con un encapsulado TO-92, es posible encontrarlo en el mercado en forma de sonda impermeable (Llamas, 2016). Para poder utilizarlo en un medio líquido, fue necesario adquirirlo en esta forma alternativa (Fig. 14).



Figura 14: Sensor DS18B20

Fuente: <https://www.luisllamas.es/temperatura-liquidos-arduino-ds18b20/>

Las especificaciones técnicas del dispositivo son las siguientes (Maxim Integrated, 2008):

- Alimentación de entrada: 3-5.5V
- Rango de medición: -55°C a 125°C.
- Margen de error: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ si se trabaja entre -10°C y 85°C
- Protocolo de comunicación: 1-Wire

Sensor de pH de la solución

Para medir el pH de la solución nutritiva se optó utilizar el sensor analógico PH-4502C (Fig. 15).



Figura 15: Sensor PH-4502C

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

Dicho periférico cuenta con las siguientes especificaciones técnicas (Unit Electronics, 2020):

- Alimentación de entrada: 4.8-5.2V / 5-10mA DC
- Tiempo de respuesta: 5 segundos
- Tiempo de estabilidad: hasta 60 segundos
- Consumo de energía: hasta 0.5W
- Temperatura de trabajo: -10°C a 50°C

Por otro lado, la relación entre el pH y el voltaje de salida es lineal, estando el valor de pH neutro a mitad del fondo de escala (Fig. 16).

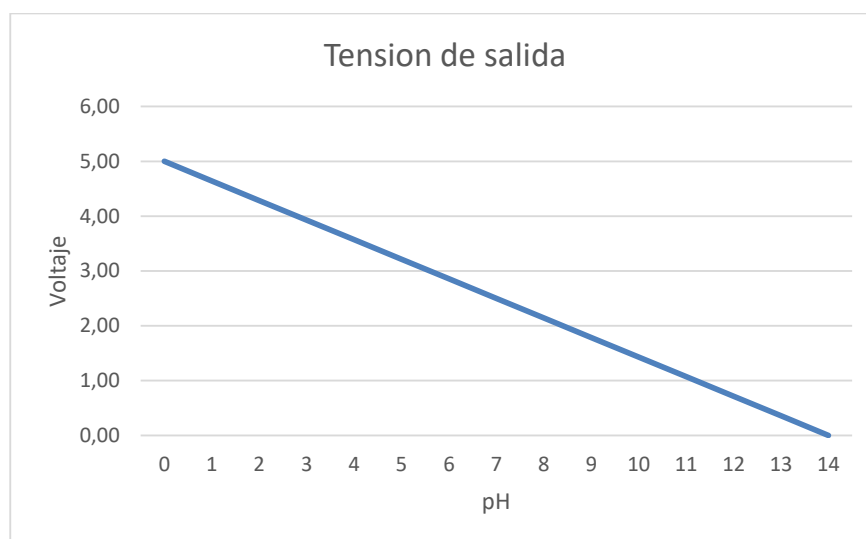


Figura 16: Tensión de salida en función del pH

Sensor de EC de la solución

En virtud de conocer la concentración de nutrientes de la solución nutritiva, se adquirió el sensor de EC analógico DFR0300, desarrollado por DFRobot (Fig. 17). En particular, se utilizó la segunda versión de dicho dispositivo. Para poder hacer las mediciones en los líquidos, utiliza una sonda que se conecta al módulo por medio de un conector BNC (DFRobot, 2018):



Figura 17: Sensor DFR0300

Fuente: <https://www.dfrobot.com/product-1123.html>

Las especificaciones técnicas del periférico son las siguientes:

- Alimentación de entrada: 3-5V DC
- Margen de error: $\pm 5\%$
- Temperatura de trabajo: 0°C a 40°C

Para garantizar precisión, al igual que el sensor de pH el dispositivo debe ser calibrado antes de su primer uso.

Sensor de nivel de la solución

Con la finalidad de automatizar el llenado del tanque de agua, se adquirieron dos sensores de nivel 4033-1P, cada uno con un flotador de 40 mm y una inclinación de 90° (Fig. 18). Al no estar contruidos en metal, se evita cualquier tipo de reacción no deseada con la solución nutritiva.



Figura 18: Sensor 4033-1P

Fuente: <https://www.ocompra.com/argentina/item/sensor-nivel-de-agua-4033-1p-flotador-40mm-arduino-mona-665395558/>

Sensor de flujo

Para controlar el correcto funcionamiento de la bomba, se utilizó un sensor de flujo magnético modelo EFS-04P NA (Fig. 19) construido enteramente de plástico (Walfront, 2018).



Figura 19: Sensor de flujo magnético EFS-04P

Fuente: https://www.etukuaij.com/index.php?main_page=product_info&products_id=113725

Según su desarrollador soporta:

- Alimentación de entrada: 0 - 24 DC / 0 - 220V AC / 3A
- Temperatura de trabajo: 1 - 100 °C
- Flujo de solución: 0,75 – 5 litros/min
- Presión nominal: 0,65 - 1.5Mpa
- Rosca: 3/4" macho

Sensor de corriente

Debido a la necesidad de conocer la rentabilidad del producto desarrollado, se requirió analizar el consumo eléctrico del sistema. Para ello, se colocó un sensor de corriente ACS712 de 30A (Fig. 20). Este transductor se caracteriza ser una solución económica y precisa para medir corriente alterna o continua en sistemas industriales, comerciales y de comunicación. Su funcionamiento se basa en la aplicación de un flujo de corriente en un conductor de cobre, generando un campo magnético a partir del cual se calcula una tensión proporcional, utilizando el efecto Hall (Allegro Microsystems, 2020).

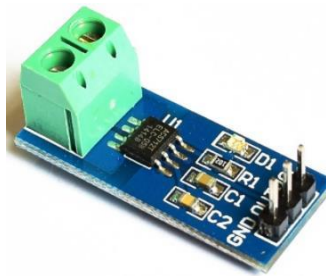


Figura 20: Sensor ACS712

Fuente: https://naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corriente-ac712.html

Las especificaciones técnicas del dispositivo son las que se detallan a continuación:

- Alimentación de entrada: 5V DC
- Rango de medición: -30A a 30A
- Sensibilidad: 66 mA/V
- Temperatura de trabajo: -40°C a 85°C
- Voltaje de salida: 2.5V cuando la corriente detectada vale 0A. A partir de allí, el voltaje de salida varía según la sensibilidad del transductor.

5.1.3. ACTUADORES

Display de conexión y calibración

Con el objeto de simplificar la interacción entre el usuario y el prototipo, se consiguió un display LCD 16x2 azul compatible con módulo de Hitachi HD44780 (Fig. 21) que muestra información relevante para el usuario como las mediciones tomadas cada uno de los sensores o el estado de conexión entre el microcontrolador de la huerta y el servidor. Dicho dispositivo es uno de los más vendidos por su sencillez y bajo precio (Llamas, 2016).

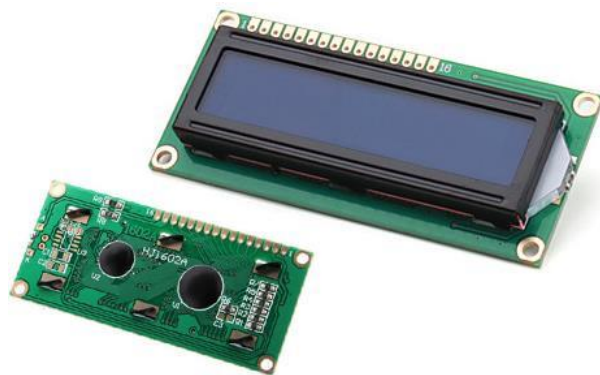


Figura 21: Display LCD 16x2 azul HD44780

Fuente: <https://www.luisllamas.es/arduino-lcd-hitachi-hd44780/>

Entre sus especificaciones se destacan:

- Alimentación de entrada: 5V
- Caracteres: 16 en 2 líneas
- Tamaño de carácter: 5.23 x 3 mm
- Protocolo de comunicación: Interfaz paralela. Puede operar en modo de 8 bits, o de 4 bits para ahorrar pines del microcontrolador.

El inconveniente principal de utilizar este periférico es que requiere el uso de una gran cantidad de pines para ser controlado, debido a que utiliza un bus paralelo para comunicarse. Para solucionarlo, se dispuso de un módulo adaptador I2C PCF8754 (Fig. 22), el cual contiene un integrado PCF8574, permitiendo así conectar el display al resto del hardware mediante la utilización de solamente dos pines (NXP Semiconductors, 2013).



Figura 22: Adaptador PCF8754

Fuente: <https://uelectronics.com/producto/modulo-lcd-2x16-i2c/>

Iluminación

Debido a que uno de los objetivos del desarrollo consistía en controlar automáticamente la iluminación de las plantas, se creó un sistema de iluminación que consta de dos LEDs cob indoor full spectrum (Fig. 23)



Figura 23: Led Cob Indoor Full Spectrum

Fuente: <https://www.kaiserled.com.ar/producto/modulo-led-cob-50w-220v-full-spectrum/>

Estos LEDs son ideales para el cultivo de plantas en interiores (ver apartado 4.1.3) dado que trabajan bajo las siguientes condiciones (Kaiser LED, 2020) :

- Alimentación de entrada: 220V AC
- Potencia: 50W.
- Longitud de onda: 380-840 nm

Como todo led de potencia, se necesita de un disipador para poder utilizarlos. Por consiguiente, se colocó también un disipador de aluminio de 200 W en tándem con coolers de 80mm.

Ventilación

Para la ventilación de la huerta y el enfriamiento del disipador de las luces LEDs, se utilizaron uno y dos coolers de 80mm respectivamente (Fig. 24).



Figura 24: Cooler 80mm

Fuente: <https://www.gezatek.com.ar/tienda/coolers-gabinete/87-cooler-fan-80mm-negro-molex.html>

Los coolers adquiridos trabajan bajo las siguientes condiciones:

- Alimentación: 5V / 0,10A DC
- Revoluciones por minuto: 1.800

Electroválvula

Para permitir y negar el ingreso de agua al sistema (que posteriormente es mezclado con los nutrientes), se colocó una electroválvula con las siguientes características (Fig. 25):

- Alimentación: 110V-220V AC.
- Tipo de electroválvula: Solenoide normal cerrada.



Figura 25: Electroválvula solenoide

Fuente: <https://repuestoslineablanca.com.ar/producto/electrovalvula-1-via-180-lavarropas-varias-marcas/>

Bomba de agua

Para poder hacer circular el agua por toda la huerta NFT, se consiguió una bomba de agua monofásica con:

- Alimentación de entrada: 220V AC
- Potencia: 30W
- Caudal: 20 litros/minuto.

La misma es del tipo centrífuga y con espira de arranque, por lo que no cuenta con escobillas, lo que le proporciona un bajo mantenimiento. Además, al tener gran parte de sus componentes mecánicos construidos en plástico, no existe riesgo de corrosión al estar en contacto con la solución (Fig. 26).



Figura 26: Bomba de agua monofásica

Fuente: <https://mundobomba.net/bomba-de-agua-lavadora/>

5.1.4. OTROS DISPOSITIVOS

Convertor analógico digital

Durante el armado del prototipo se presentó un inconveniente al momento de recibir la información de los distintos sensores: para aquellos casos en donde se obtienen los datos en forma analógica, es necesario utilizar alguno de los convertores analógico a digital (ADC) que brinda el SoC ESP32. Sin embargo, estos convertores pueden trabajar eficazmente con entradas de hasta 3,3V (Microcontrollers Lab, 2019).

En vista de que el sensor de pH, el de EC y el de corriente pueden llegar a presentar valores de tensión a digitalizar mayores a 3,3V, fue necesario llevar a cabo una solución para evitar que la información sea recibida de manera distorsionada. Lo primero que se intentó fue utilizar un divisor resistivo que modifique de forma lineal la información brindada por los transductores. Sin embargo, este método afectaba a la resolución de los valores percibidos por cada uno de los dispositivos, por lo que finalmente se optó por el uso de un ADC de 16 bits conocido como ADS1115 (Fig. 27).

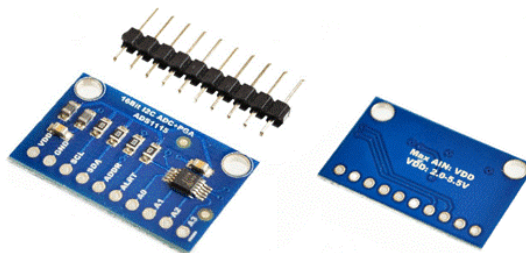


Figura 27: ADC ADS1115

Fuente: <https://www.luisllamas.es/entrada-analogica-adc-de-16-bits-con-arduino-y-ads1115/>

Relés

Para controlar el paso de corriente hacia las luces LEDs, la bomba, la electroválvula y los coolers, se utilizó un módulo de 4 relés (Fig. 29) y otro individual (Fig. 30). Estos se alimentan con 5V DC y son capaces de manejar hasta 10A en 250V (Tolocka, 2015).



Figura 29: Módulo de 4 relés

Fuente: <https://naylampmechatronics.com/drivers/152-modulo-relay-4-canales-5vdc.html>

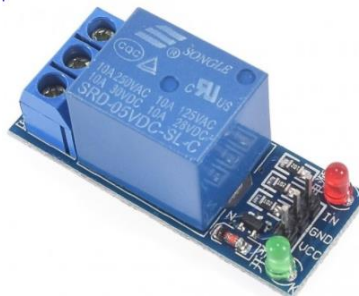


Figura 30: Módulo de 1 relé

Fuente: <https://naylampmechatronics.com/drivers/297-modulo-relay-1-canal-5vdc.html>

Fuente de alimentación

Para alimentar eléctricamente a los componentes del sistema, se optó por una fuente ATX de 500W ya que esta es una opción económica que cuenta con todas las salidas de alimentación necesarias.

- Alimentación de entrada: 110V-220V AC
- Potencia máxima: 500W
- Salidas: 3.3V, 5V y $\pm 12V$ DC



Figura 31: Fuente de alimentación

Fuente: <https://www.armytech.com.ar/tienda/componentes/fuentes/fuente-atx-500w-mt-box>

5.1.5. PROTOCOLO MQTT

MQTT es un protocolo de comunicación, estandarizado por OASIS, el cual es comúnmente usado para IoT. Entre sus principales características, se destaca por ser ligero y consumir poco ancho de banda de la red, lo que lo convierte en una solución ideal para conectar dispositivos de IoT que consuman pocos recursos, tales como pequeños microcontroladores (MQTT, 2020).

El funcionamiento del protocolo MQTT se basa en un modelo publish/suscribe (o PubSub). En otros términos, un publisher usa un tópico determinado para publicar sus mensajes a un Broker central y los suscribers se suscriben a ese tópico para ver los mensajes enviados. Sin embargo, todo cliente puede ser suscriber de algunos tópicos y publisher de otros al mismo tiempo (Fig. 32). Se utiliza el protocolo TCP para vincular al Broker con los clientes MQTT, por lo que existe la posibilidad de reenviar los mensajes cuando no llegaron correctamente a destino (esto puede ser regulado a partir de los niveles de calidad de servicio existentes).

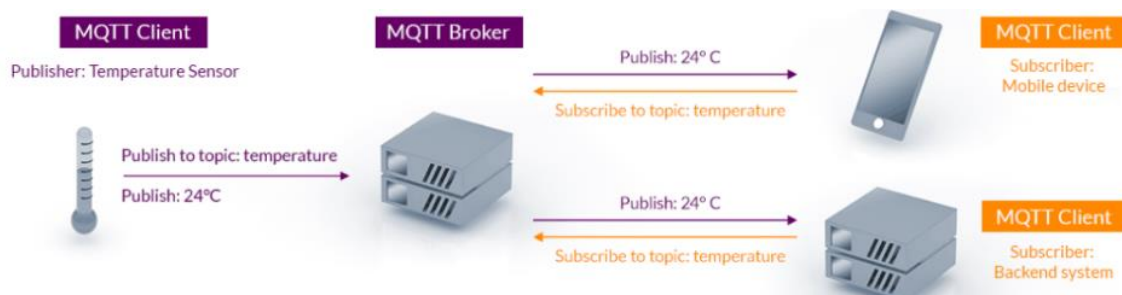


Figura 32: Modelo publish/suscribe

Fuente: <https://mqtt.org/>

5.1.6. BASE DE DATOS

Examinando las variantes existentes en el mercado, se priorizó la utilización de una solución que fuese gratuita y de la que se disponga una amplia documentación oficial. Considerando dichas prioridades, se optó por usar MariaDB como sistema de gestión de base de datos.

MariaDB nació en 2009 como una bifurcación de MySQL. Esta creación se originó a partir de que Oracle compró Sun Microsystems (en aquel entonces era el dueño del proyecto MySQL), con el fin de fomentar la continuidad de un desarrollo abierto y gratuito de la comunidad (Ionos, 2020). Dicho de otra forma, se buscó un desarrollo en donde el código fuente y la documentación se encuentre disponible de manera pública. Por el contrario, Oracle enfocó el desarrollo de MySQL recurriendo a un sistema de licenciamiento dual, por lo que cuenta con una licencia gratuita con algunas funcionalidades básicas y una licencia paga que posee un conjunto de herramientas adicionales.

5.2. HUERTA NFT

La estructura principal fue construida con listones de madera de pino de 2cm x 1 cm x 180cm, a los cuales se les aplicó una capa de barniz, con el fin de protegerlos contra la humedad. Se escogió dicha madera por su bajo peso, economicidad y fácil manipulación.

El armazón, que sostiene todas las partes que conforman la huerta, tiene una dimensión de 50 cm x 90 cm x 160 cm. A 60cm de altura se colocó un listón por cara en donde se fijaron, entre otros elementos, los caños de riego. Los mismos se instalaron de tal manera que existiera una inclinación de 2 cm por cada 100 cm de longitud. Para facilitar su traslado, se instalaron 4 ruedas, las cuales le dan a la huerta una altura total de 165 cm.

Cada una de las caras por sobre la línea de los 60 cm fueron revestidas con láminas de Mylar de 100 micrones de espesor, las cuales reflejan las ondas lumínicas y hacen un uso más provechoso de las mismas. Además, se colocó a un metro de altura, en el lateral izquierdo, un cooler de 80 mm cuya función consiste en hacer ingresar aire desde el exterior.

En el frontal inferior se fijó una plancha metálica galvanizada pintada de verde, que tiene la función de ocultar de la vista el interior del sistema. A la misma se le realizaron dos orificios, en el primero se colocó una llave de paso plástica que se conecta con el depósito de la solución nutritiva, y que puede ser usada cuando se desee purgar el sistema. En el segundo se instaló un indicador visual con el fin de conocer el nivel del recipiente en todo momento (Fig. 33).

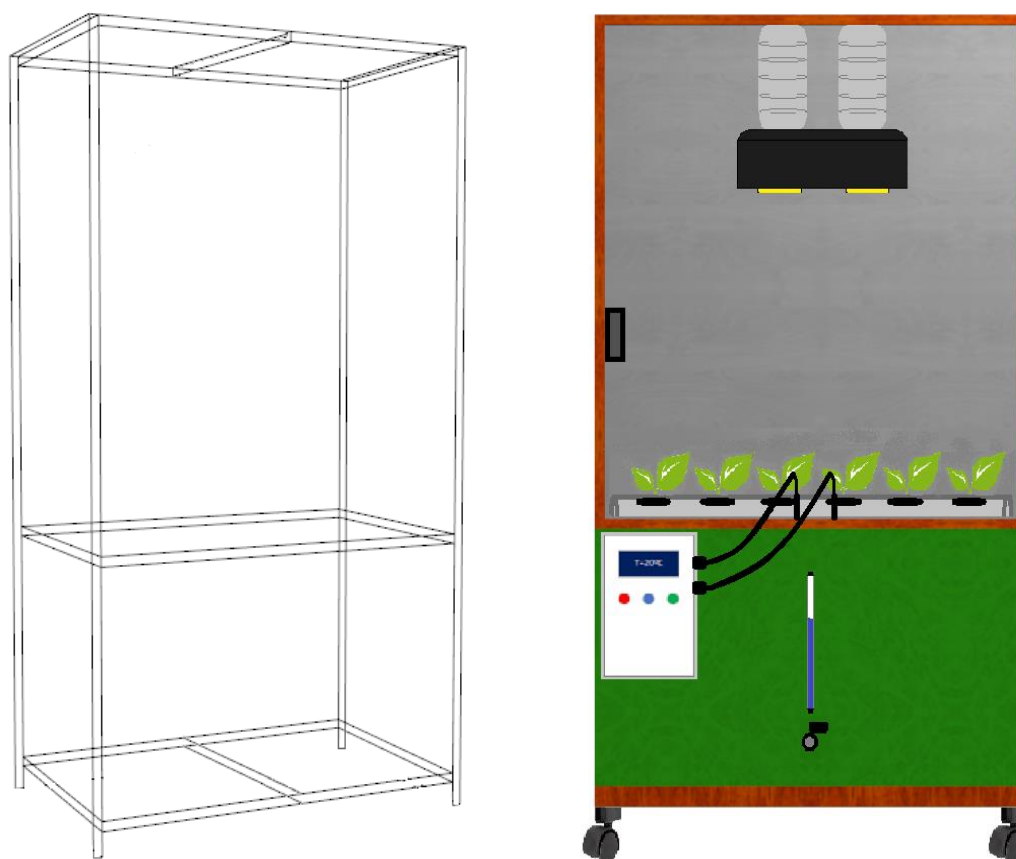


Figura 33: Estructura de la huerta NFT

Para almacenar la solución nutritiva se colocó un depósito de 20 litros. El mismo tiene una salida en su parte inferior, que lo conecta con la bomba. Ésta hace circular la solución por un filtro de 10 micrones, encargado de retener partículas indeseadas, como podrían ser restos orgánicos de las plantas. Después, el circuito desemboca en los tubos donde estarán las macetas, para luego retornar nuevamente al origen. Un remanente de solución pasa por un sensor de flujo y cae en el tanque, pasando antes depósito secundario de 500 ml (Fig. 34). Dentro suyo se encuentran los sensores encargados de medir la temperatura, la EC y el pH. Por último, en la parte trasera de la huerta, se ubica una electroválvula la cual, una vez conectada a la red, permite o restringe el ingreso de agua potable al sistema.

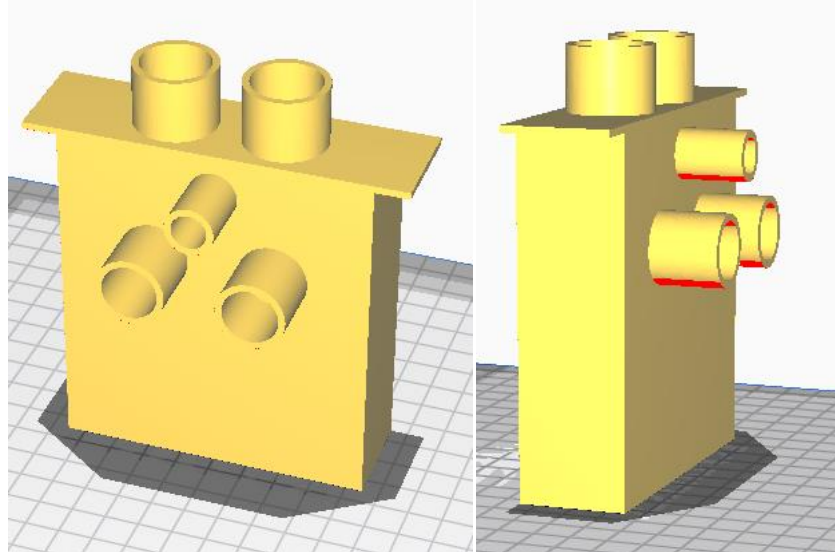


Figura 34: Deposito para medición de temperatura, pH y EC de la solución

Con el fin de reducir al mínimo el caudal de solución necesaria durante los riegos, se eligieron tubos de PVC de 6,3 cm de diámetro. De esta forma, con una bomba de 30 W de potencia y caudal de 20 l/min, se obtiene una “lamina” de solución de 5 mm de alto que es capaz de circular a lo largo de los 90 cm de cada uno. En caso de ser necesario, podrá regularse individualmente el caudal por cada tubo por medio de llaves de paso instaladas en sus entradas. Se colocaron 5 de estos tubos sobre el listón de 50 cm de longitud, espaciados 10 cm unos de otros. Dos de ellos cuentan con 9 orificios de 6 cm de diámetro separados 9 cm uno de otro, mientras que los tres restantes tienen 6 orificios de 5,4 cm de diámetro separados por 14 cm, brindándole a la huerta una capacidad total de 36 plantas. Los primeros dos tienen el objetivo en primera instancia de contener las macetas con sustrato en las que se introducirán las semillas, de esta manera se evita la necesidad de germinadores facilitando el proceso de siembra, ya que será la huerta la encargada de mantener húmedo el sustrato mediante los riegos programados. Una vez que la semilla germina y la planta crece en tamaño, también lo hace su sistema radicular. Por lo tanto, es necesario cambiarla de posición a una donde sus raíces tengan más espacio para desarrollarse. Los tres caños restantes cuentan con ese espacio extra, ya que tienen orificios más pequeños y en menor densidad. De esta manera, las macetas pueden estar más alejadas del fondo del caño y separadas unas de otras (Fig. 35)

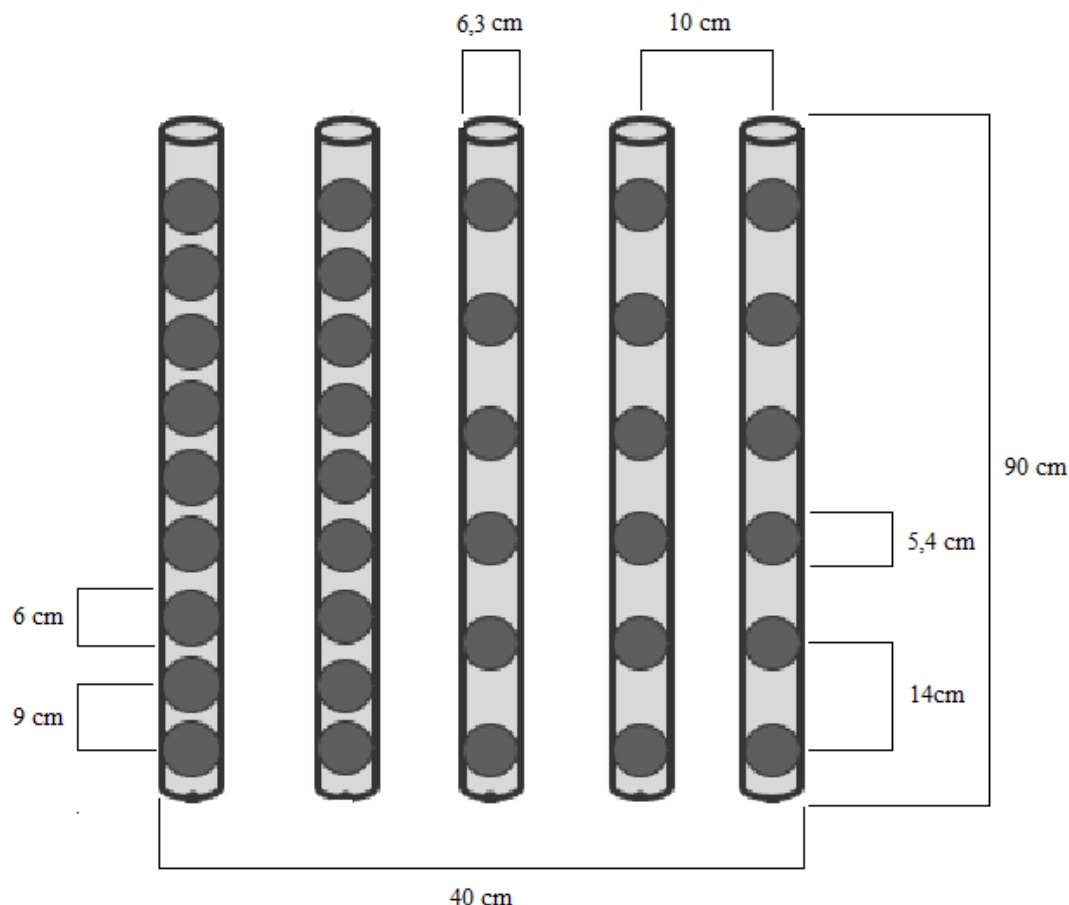


Figura 35: Vista superior de los canales de riego

5.2.1. ESQUEMA ELÉCTRICO

En la esquina izquierda a 65 cm de altura se ubica una caja plástica de 20 cm x 15 cm x 8 cm que contiene gran parte del sistema eléctrico. Dentro, se encuentran el ESP32, el RTC, la fuente de alimentación, los relés, el ADC y los sensores de corriente eléctrica, pH y EC (Fig. 36). La misma tiene en su lateral derecho dos conectores BNC hembras para las sondas, una correspondiente al sensor de EC y otro al del pH. En el izquierdo cuenta con orificios de ventilación y con un interruptor para encender y apagar el sistema. En el frente se encuentran un pequeño orificio para calibrar el sensor de pH, además de un display LCD retroiluminado de 16 caracteres y 2 filas y 3 botones mediante los cuales se puede interactuar con el menú de la huerta y observar los parámetros recolectados. En la parte inferior se instaló una toma C13 hembra para la red eléctrica domiciliaria monofásica de 220V y 60Hz y un cooler de 40 mm

encargado de la refrigeración de los componentes eléctricos. En la cara trasera hay tres enchufes hembras tipo I y un conector DE15 hembra. Los primeros son los encargados de alimentar a la bomba, la electroválvula y las luces LED, mientras que en la salida DE15 se encuentran las líneas de alimentación GND, 3.3V, 5V y 12V DC, además de los cables de los sensores digitales de temperatura y humedad, de los analógicos de nivel y de flujo y del de luminosidad el cual se comunica por I2C. De esta manera, en caso de alguna falla, se podrá reemplazar rápida y fácilmente toda la electrónica para su posterior reparación en un taller especializado.

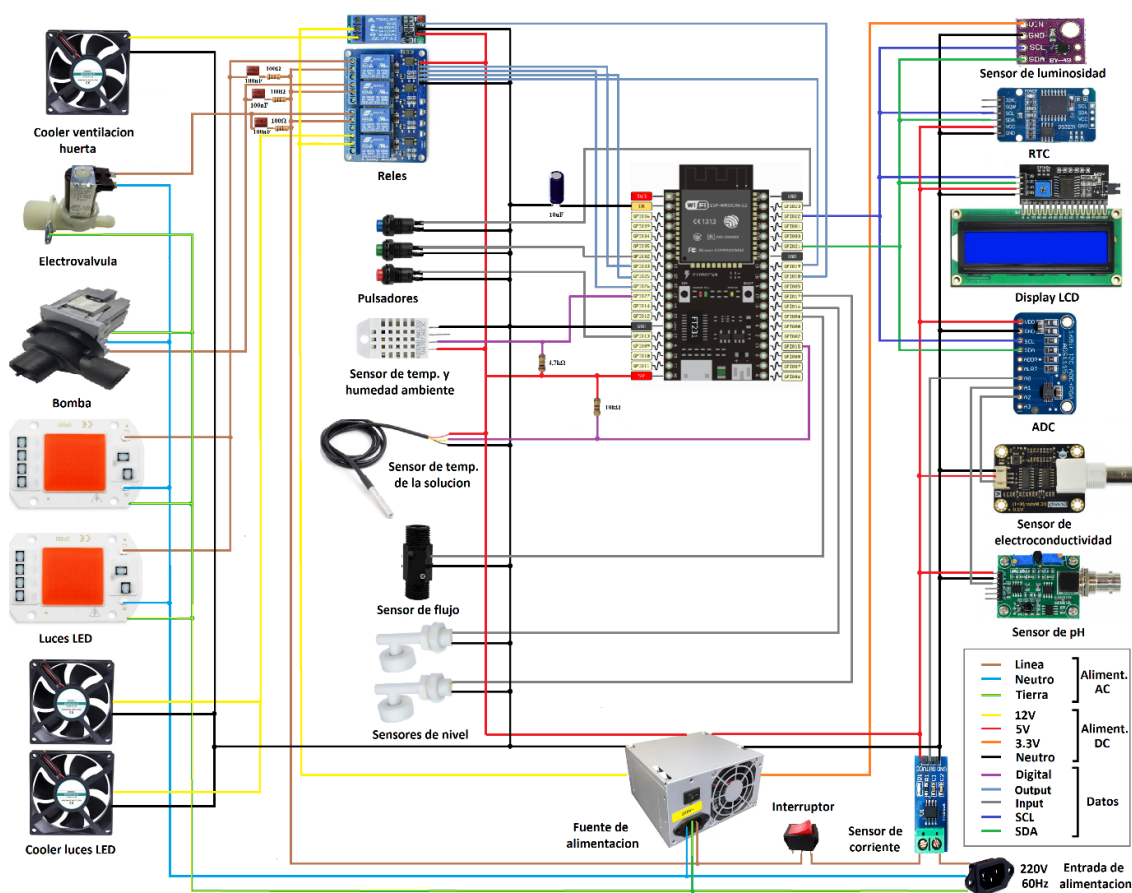


Figura 36: Esquema de eléctrico

En cuanto a la iluminación, se colocaron en la parte superior de la huerta dos luces LED full spectrum de 50W tipo COB, adheridas a un disipador de aluminio ventilado por dos cooler de 80mm, que expulsarán el aire caliente fuera del habitáculo por medio de dos tubos corrugados de 100 mm de diámetro. Las mismas se encuentran a unos 60 cm de altura respecto a los canales de riego. Para poder integrar todas las partes, se diseñó e imprimió en PLA una

estructura a la cual se fijaron los componentes (Fig. 37), y un adaptador para expulsar el aire caliente hacia el exterior correctamente (Fig. 38).

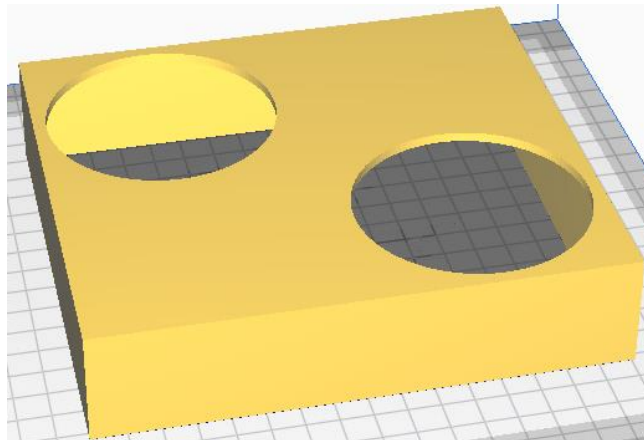


Figura 37: Armazón para fijar el disipador con las luces LED y los cooler

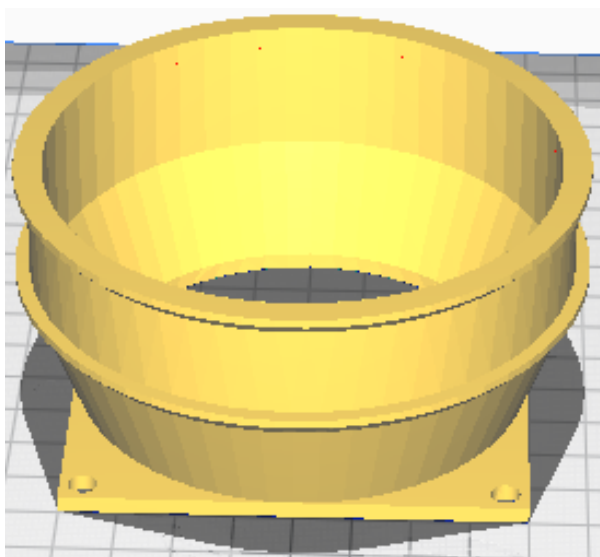


Figura 38: Adaptador 80 mm a 100 mm

Por último, a la salida de los relés se conectaron resistencias y capacitores como “snubbers” con el fin de suprimir los picos de voltaje y amortiguar la oscilación transitoria provocada por la inductancia de la bomba, la EV y los LEDs.

5.2.2. INSTALACION

El sistema se diseñó para ser autoinstalable. Para facilitar su traslado, llegará al domicilio del cliente en dos partes: la estructura por un lado y la caja con la electrónica por otro,

acompañado de un instructivo sobre como ensamblarlo y ponerlo en funcionamiento. El proceso de instalación consta de 2 etapas:

- **Ensamblaje:** el cliente deberá, en primera instancia, fijar la caja a la estructura mediante una tuerca y posteriormente conectar el conector DE15 y los tres enchufes machos de la huerta con sus respectivas hembras. Luego tendrá que enchufar la caja a la corriente eléctrica y la entrada de agua a la red de suministro.
- **Conexión:** una vez finalizado el ensamblaje, mediante el interruptor correspondiente, podrá encender el sistema y conectarlo a internet. Para ello la huerta creará una red WiFi. Una vez se conecte a ella, le mostrará un pop-up que le indicará que no tiene acceso a internet y lo redirigirá a una página en su navegador que le solicitara las credenciales de la red WiFi (Fig. 39). Una vez brindadas las mismas, se reiniciará, conectará en la red y comenzará a comunicarse con el Broker MQTT. En caso de no contar con una, podrá elegir la opción de iniciar en “Modo sin conexión”. Esto le permitirá hacer uso del sistema, pero no le brindará todas las características provistas por la interfaz web, sino que solo mostrará los valores de las últimas variables recolectadas en el display LCD. Allí también se podrá ver y modificar los estados de las luces, el paso de agua, la iluminación y la bomba, además de la próxima hora de riego.

Si bien en este punto el sistema ya cuenta con funcionalidades básicas, se deberán completar los siguientes pasos para acceder a la totalidad de ellas:

- **Iniciación:** antes de finalizar la etapa de conexión, se redirigirá al cliente a la web donde deberá registrarse como usuario. Allí podrá agregar a la huerta mediante un id único brindado en el instructivo y en un adhesivo en la caja. Una vez hecho esto podrá hacer uso de todas las características del sistema.
- **Configuración:** si bien el sistema cuenta con una configuración de fábrica y con un listado de plantas determinado, el usuario tendrá la posibilidad de fijar umbrales, crear una lista de plantas en el sistema, observar las variables recolectadas en tiempo real y configurar la duración y cantidad de riegos, horas de luz, ingreso de agua y ventilación.

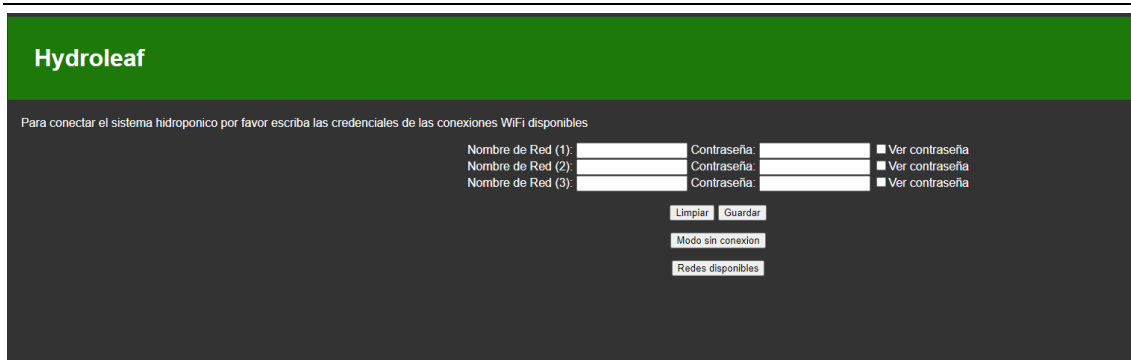


Figura 39: Pagina de conexión de la huerta.

5.2.3. FUNCIONAMIENTO

En un principio se deberá seleccionar el “tipo de planta” que se desea cultivar. En este proyecto, solo se contará con la opción “Verduras de hoja y aromáticas” que incluye Lechuga, Espinaca, Acelga, Albahaca, Perejil y Cebolla de verdeo. Estas tendrán los mismos umbrales de temperatura, humedad, pH y EC. A su vez, cada planta contará con parámetros propios como la cantidad de días necesarios para que la planta se desarrolle. Todos estos valores podrán ser modificados por el usuario a su antojo y serán utilizados para generar alarmas y notificaciones.

Elegidas las plantas a cultivar, se deberá permitir el ingreso de agua al sistema activando la electroválvula ya sea por medio de la web o el menú de la huerta. Cuando el depósito llegue a su capacidad máxima, la entrada de agua se restringirá automáticamente. Es entonces cuando se correspondería encender la bomba y verificar que el valor de EC no supere los 0.9 mS/cm, ya que de lo contrario el agua no sería apta para su uso. Luego deberá controlarse el valor de pH y, en caso de ser necesario, agregar un corrector para alcanzar un valor entre 5.5 y 7.

Con el agua en los parámetros requeridos, será el momento de introducir la solución concentrada “A” con los macronutrientes y luego la “B” con los micronutrientes. Hecho esto, y con la bomba aun en funcionamiento, se tendrá que controlar que los valores de EC y pH de la solución se encuentren dentro de los umbrales fijados para el tipo de planta seleccionado. Con el pasar de las semanas, la cantidad de solución ira disminuyendo, por lo que será necesario repetir este procedimiento.

En este punto la huerta ya estará lista para recibir plantas. Para ello se colocará una o varias semillas en la maceta plástica con el sustrato elegido, para posteriormente introducirlo en la huerta. Para darle mayor seguimiento, deberán informarse las mismas en el sistema por medio de la página web. Allí además se podrá darles seguimiento a los parámetros recolectados y ver

las alertas cuando algún parámetro se encuentre fuera de umbral o cuando las plantas hayan cumplido el periodo de permanencia recomendado.

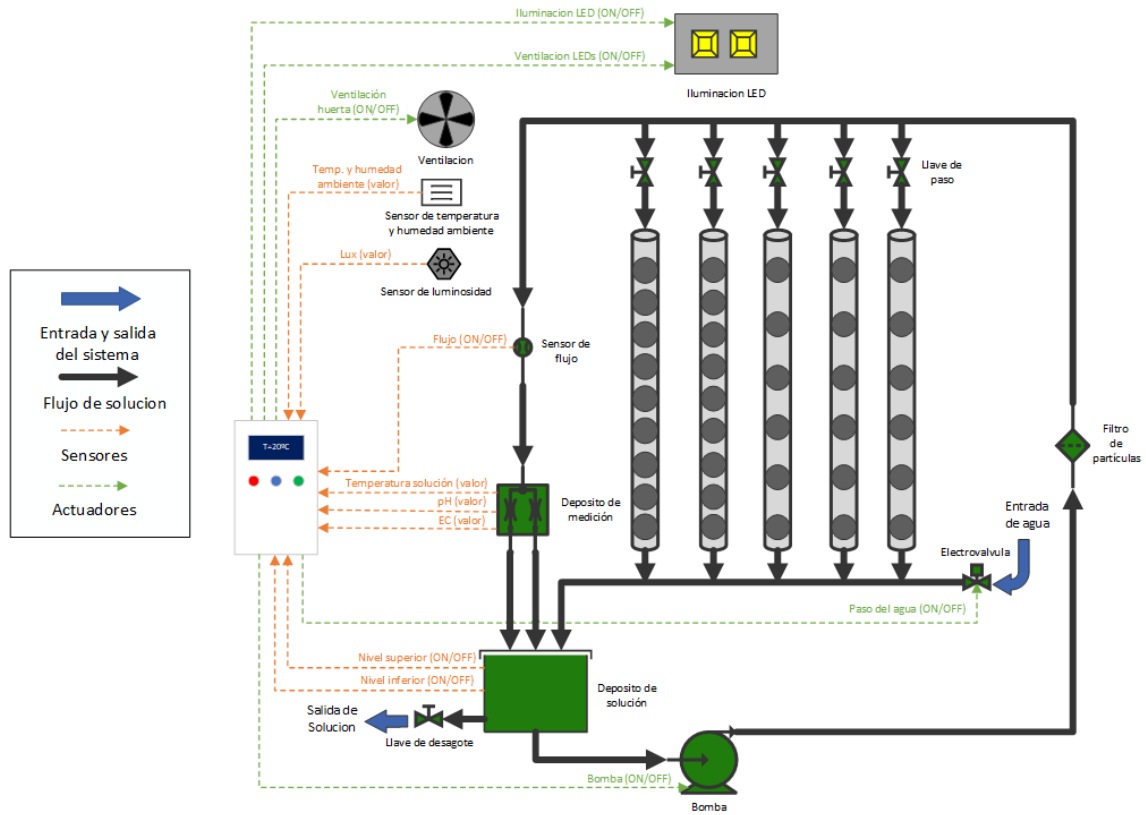


Figura 40: Diagrama de tuberías e instrumentación

5.2.4. DIAGRAMA DE FLUJO

El sketch cargado en el ESP32 es el responsable de contener las instrucciones necesarias para el correcto funcionamiento de la huerta (ver ANEXO I). El mismo consta de dos secciones:

- Setup: es la primera función en ejecutarse. Aquí es donde se establecen algunos criterios que requieren una ejecución única, como por ejemplo las funciones de inicialización y los modos de trabajo de los pines (Fig. 41).

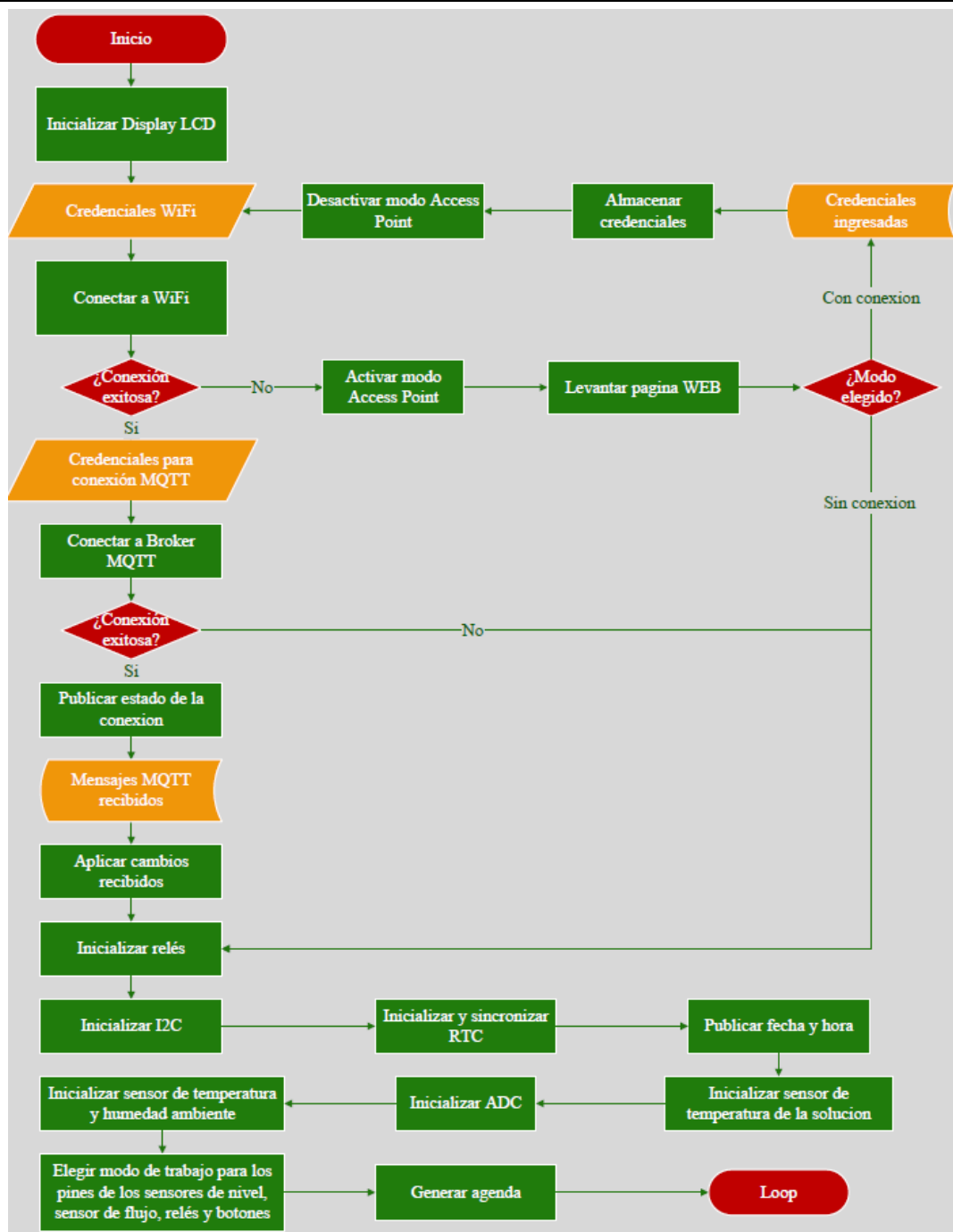


Figura 41: Diagrama de flujo del setup.

- Loop: se ejecuta un número infinito de veces. Al encenderse el ESP32, corre el código del setup y luego se entra al loop, el cual se repetirá de forma indefinida hasta que se apague o se reinicie el microcontrolador (Fig. 42).

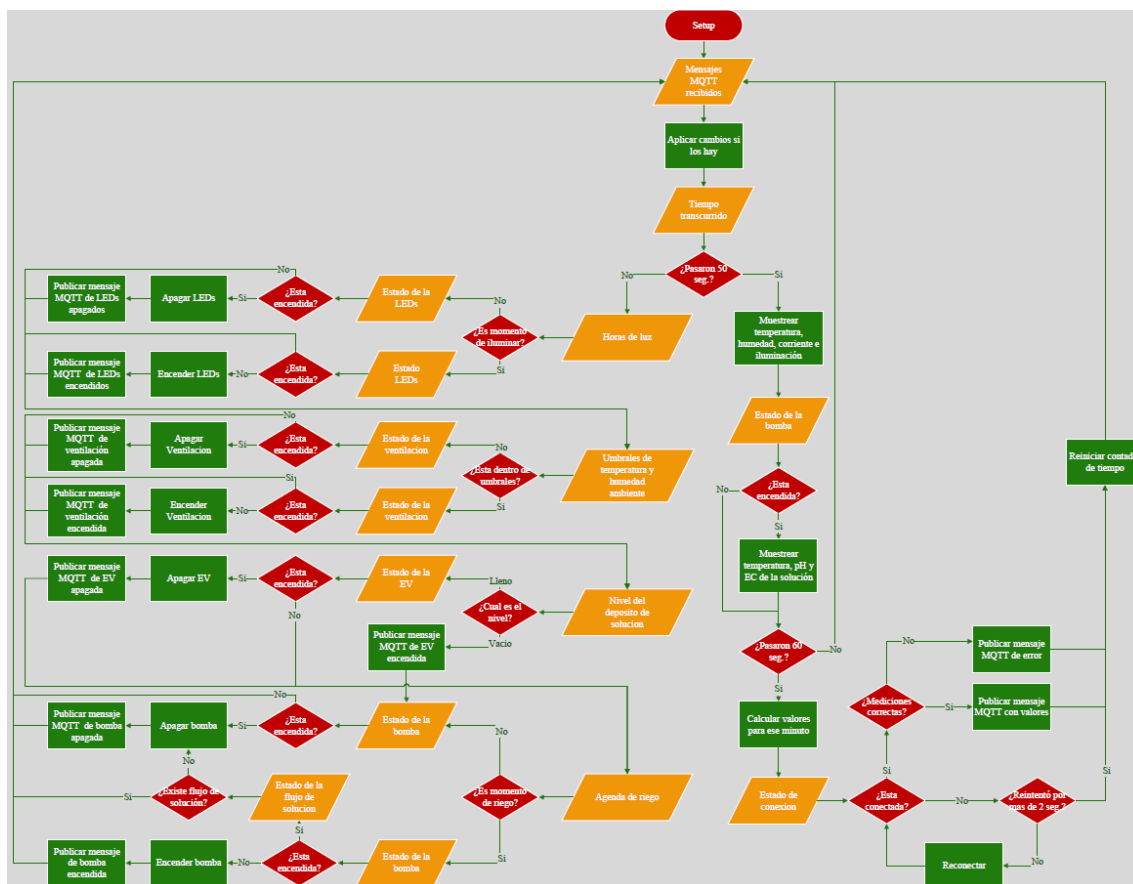


Figura 42: Diagrama de flujo del loop

5.3. ALMACENAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Puesto que el servidor se encarga de recibir y procesar la información enviada a cada una de las huertas NFT, es necesario crear y gestionar una Base de Datos para almacenar dichos parámetros.

Si bien se reciben mensajes cada 60 segundos, la base de datos almacenara la información de cada uno de los sensores cada 15 minutos, permitiendo de esta forma no solo conocer la última medición realizada por dichos periféricos, sino que además brinda a la página web creada la posibilidad de graficar cómo variaron cada uno de los valores en el tiempo (en el caso de la temperatura, pH y EC de la solución se almacenara un valor por cada minuto que dure el riego).

Como se ha mencionado anteriormente, el usuario podrá utilizar la huerta para cultivar un determinado tipo de planta (el prototipo construido fue desarrollado para cultivar verduras de hoja y aromáticas). Teniendo en cuenta esta consideración, la base de datos almacena los

parámetros que deben contemplarse para poder cultivar correctamente las verduras para las cuales fue pensada la solución (rangos de pH y EC de la solución nutritiva, volúmenes de solución nutritiva que deben colocarse en el agua que se coloca en el sistema, rangos de humedad, temperatura y cantidad de horas de iluminación recomendadas). Además, para cada planta en particular (independientemente del tipo de planta al que pertenecen), se tiene registrado el rango de días que se recomienda que la planta esté en el sistema.

Con respecto a las plantas que fueron colocadas en la huerta, la base de datos guarda en qué huerta se colocaron cada una de ellas y el momento en que fueron depositadas. Por otra parte, en caso de que hayan sido cosechadas o desechadas, la base de datos registra también la fecha en que fue recolectada la plantación, una descripción hecha por parte del usuario y el puntaje que le puso al resultado obtenido (puede ser de 1 a 5).

Es posible que ocurra durante la utilización de la huerta algún evento que deba ser notificado al usuario, como un error en las mediciones realizadas o un cambio en el estado de un actuador del sistema. Para que se tenga acceso a toda la información que deba conocer quien utilice la huerta, la base de datos se encarga de almacenar estos eventos, incluyendo el momento en que ocurrieron, su estado, el nivel de importancia que tienen y su valor.

Por otra parte, la base de datos registra cada uno de los sistemas NFT que se estén utilizando, teniendo en cuenta la capacidad de plantas y solución nutritiva que tiene cada uno, la dirección MAC de la ESP32-S que los controla, el horario de inicio y fin del riego diurno y el riego nocturno, así como también el número de riegos diurnos y nocturnos. Asimismo, se registra a qué usuario pertenece cada una de las huertas.

Por último, la base almacena quienes son los usuarios que están registrados para utilizar la solución. Para ello, se guarda información básica de ellos como el nombre, apellido, usuario y contraseña, como así también qué permisos tienen sobre la manipulación de datos desde la página web (lectura o escritura).

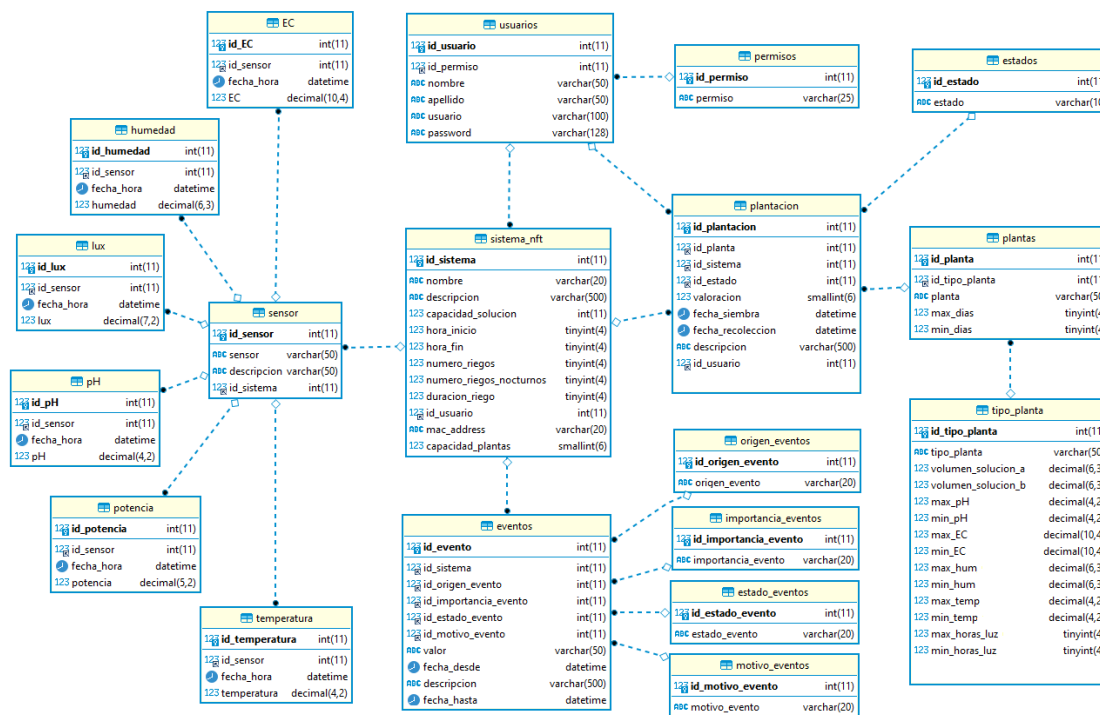


Figura 43: Estructura de la base de datos relacional

5.4.COMUNICACIÓN

Para poder comunicar al servidor con cada huerta NFT que se pueda llegar a conectar, se emplea un sistema de comunicación que sea capaz de usar la red Wi-Fi como medio de transmisión. De este modo, se estableció una conexión del tipo hub-and-spoke mediante el protocolo de comunicación MQTT.

Se montará en el mismo servidor donde se encuentra la base de datos, un Broker MQTT el cual tendrá entre sus tareas aceptar los mensajes publicados y difundirlos entre los suscritos. Para su correcto funcionamiento se deberá configurar el router encargado de gestionar la red de Hydroleaf para redirigir todos aquellos paquetes entrantes en el puerto 1883 de la IP Publica al mismo puerto de la IP Privada del servidor (Fig. 44).

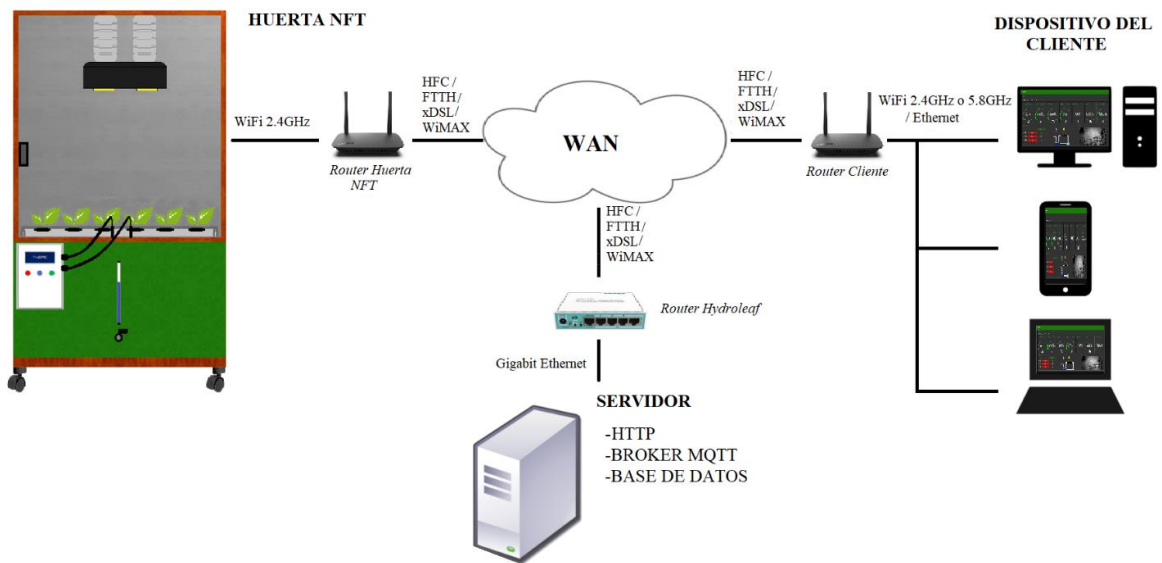


Figura 44: Diagrama de comunicación

5.5.PAGINA WEB

Con el objetivo de que el usuario sea capaz de interactuar con el prototipo funcional construido, utilizando una interfaz gráfica simple y amigable, se optó por montar un entorno web en el servidor. Además de alojar la web, dicho servidor se encargará de responder a las peticiones HTTP de los usuarios. De igual manera que en el caso del Broker MQTT, será necesario redireccionar el puerto 80 de la IP Publica al mismo puerto de la IP Privada correspondiente al servidor.

5.5.1. ESTRUCTURA

Al ingresar a la web, el usuario podrá observar tres secciones (Fig. 45).

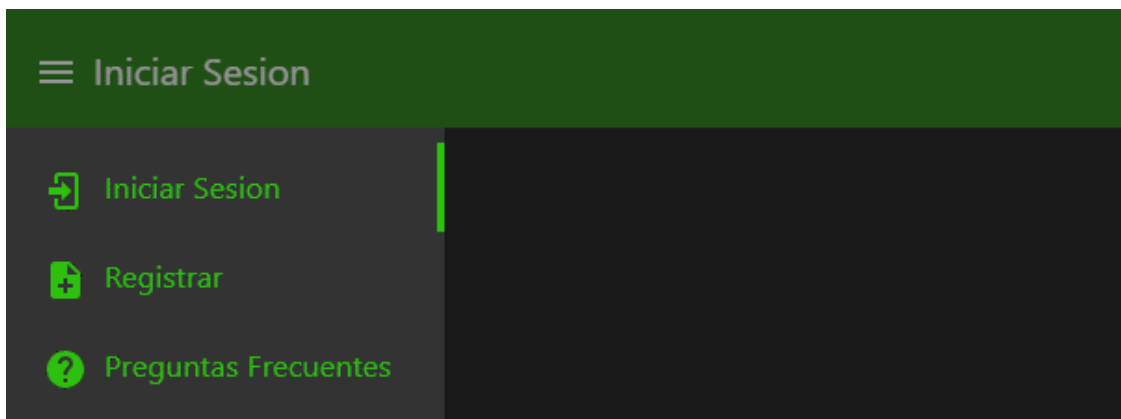


Figura 45: Opciones disponibles antes de iniciar sesión

- Iniciar sesión: En el log in el usuario inicia su sesión en el sistema, utilizando su usuario y contraseña cargados con anterioridad (Fig. 46).

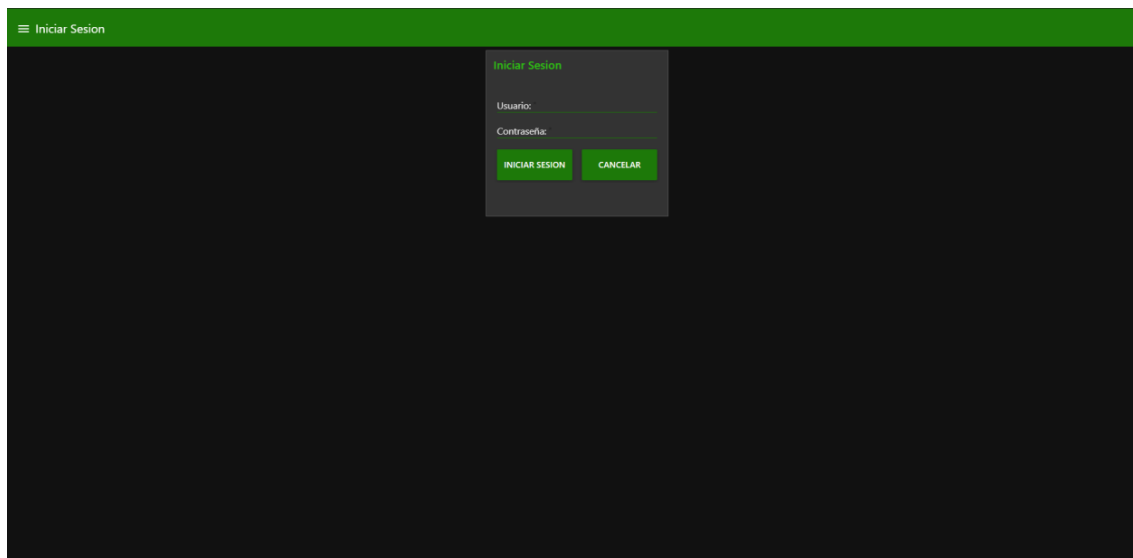


Figura 46: Iniciar sesión

- Registrar: En registrar se agrega un nuevo usuario al sistema, indicando en un formulario el usuario (una dirección de correo), contraseña de acceso, nombre, apellido y si tiene permisos de lectura o escritura en el sistema (Fig. 47).

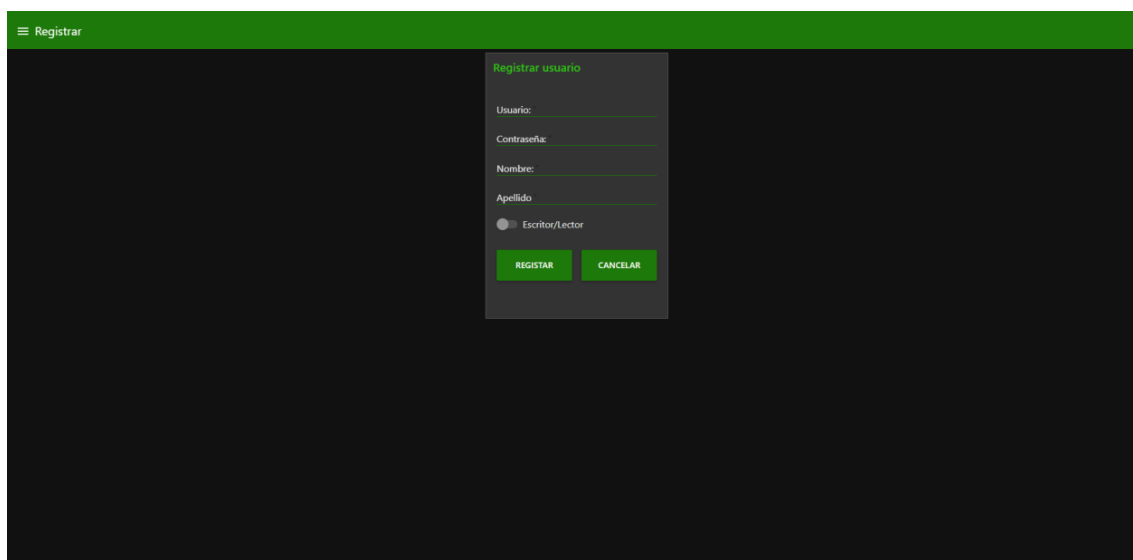


Figura 47: Registrar

- Preguntas Frecuentes: En Preguntas Frecuentes aparecerá un listado de respuestas a preguntas que pueden surgir regularmente a los usuarios del sistema. Por ejemplo, cómo se conecta la huerta a internet (Fig. 48).

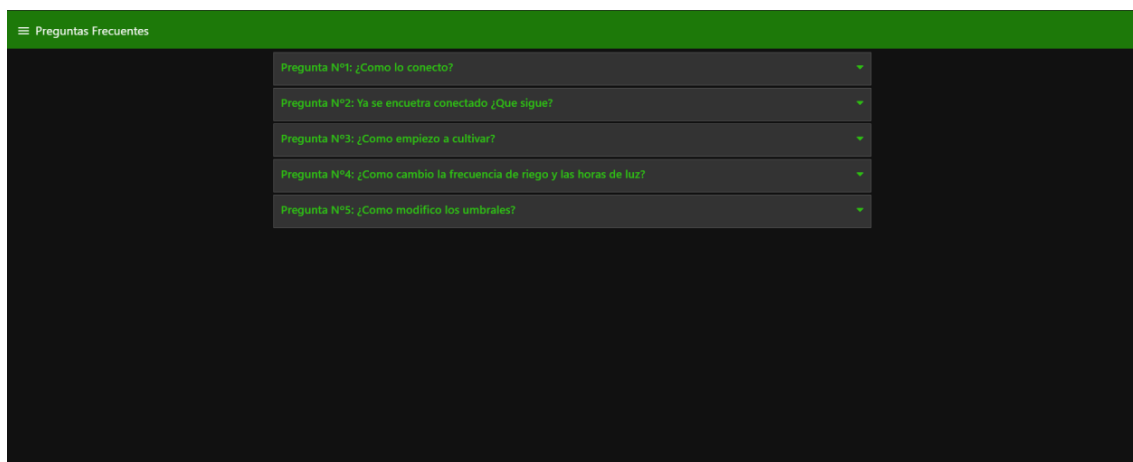


Figura 48: Preguntas frecuentes

Una vez que el usuario ha iniciado sesión en el sistema, le aparecerán ocho secciones (Fig. 49).

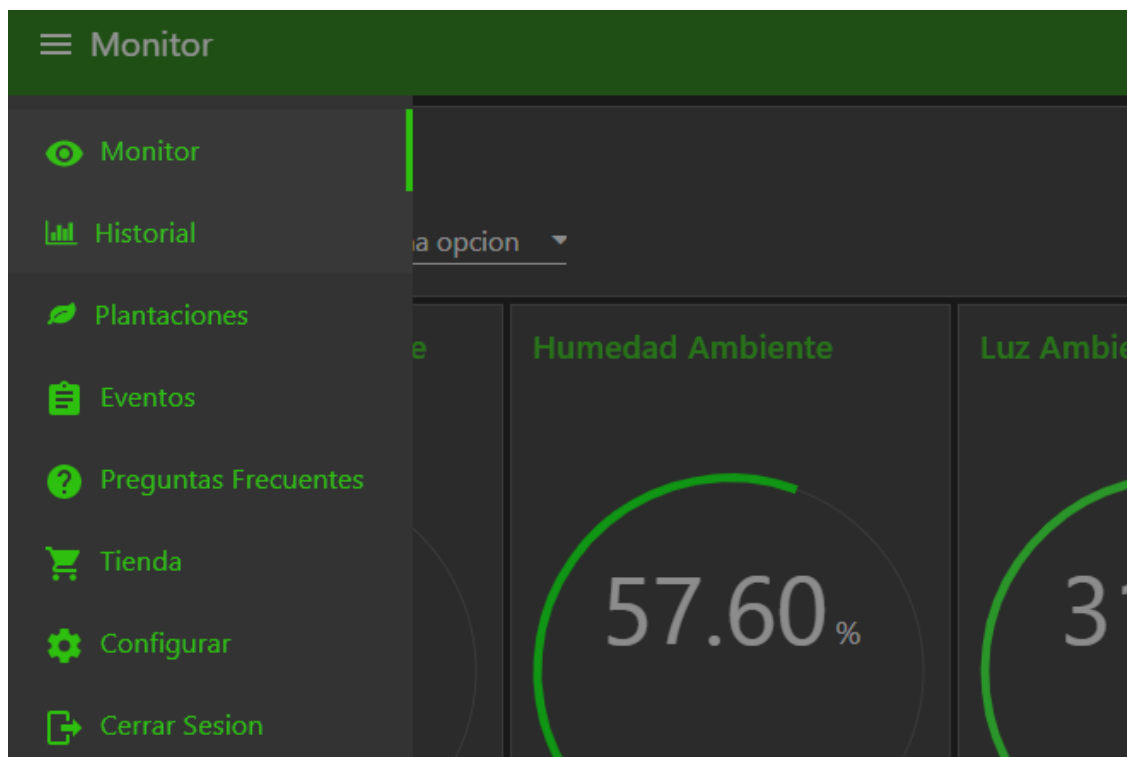


Figura 49: Opciones una vez iniciada la sesión

- **Monitor:** En monitor se podrá visualizar para cada huerta los niveles de los parámetros medidos (temperatura ambiente, humedad ambiente, intensidad lumínica, temperatura de la solución, pH de la solución, conductividad eléctrica de la solución y consumo eléctrico actual), un tablero de mando que permitirá encender o apagar cada actuador del sistema y una imagen (que cambia periódicamente) que muestra el estado actual de la huerta (Fig. 50).

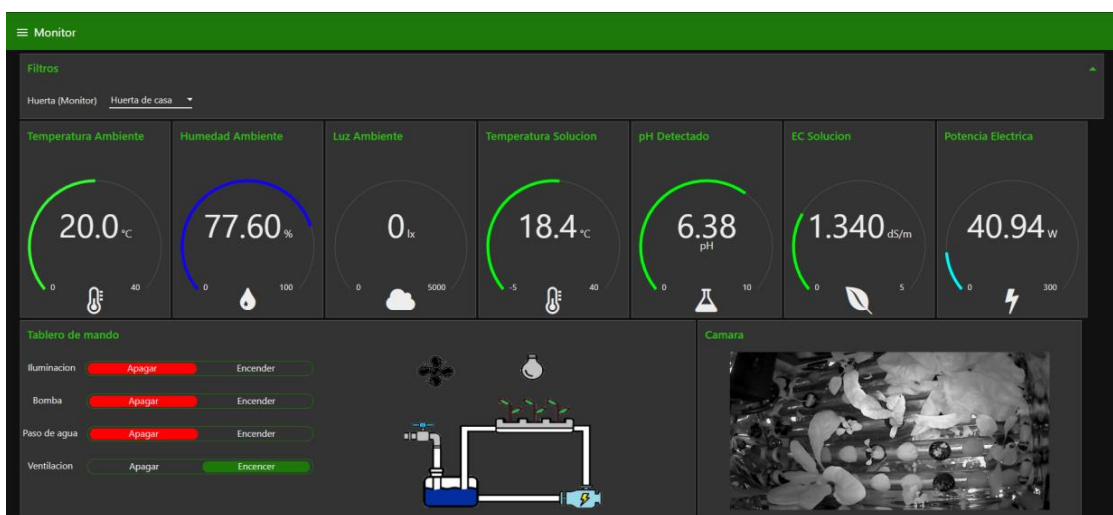


Figura 50: Monitor

- **Historial:** En historial se visualizarán los niveles medidos de cada uno de los parámetros de todas las huertas disponibles en las últimas veinticuatro horas o los últimos dos, siete, treinta o noventa días (Fig. 51).

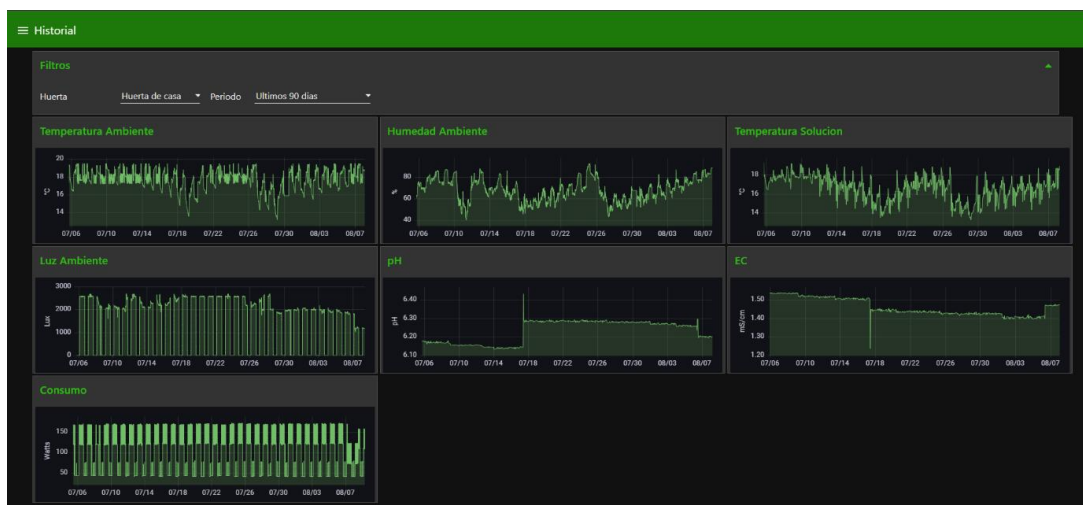


Figura 51: Historial de las distintas variables medidas

- Plantaciones: Aquí se observarán para cada huerta, las plantas que fueron sembradas, su estado actual (sembrado, cosechado o descartado), la fecha y hora de sembrado y el usuario encargado de esas plantaciones. Además, para aquellos casos en donde la planta ya fue cosechada o retirada, la fecha y hora de recolección, la calificación que colocó el usuario a su plantación y la descripción que colocó el usuario al respecto. Por otra parte, en este lugar un usuario también podrá registrar las plantas que se colocan en una huerta, indicando la planta que se coloca, la cantidad y quién es el usuario a cargo (esto solo está disponible para aquellos usuarios con permiso de escritura). Por último, también tendrá la posibilidad de indicar qué plantas fueron retiradas de una determinada huerta indicando si son cosechadas o desechadas, la valoración que le colocara a las plantaciones realizadas y las observaciones que destacara de los resultados obtenidos (Fig. 52).

Plant...	Planta	Estado	Fecha Siembra	Fecha Recoleccion	Valoracion	Descripcion	Usuario
1	Lechuga Mantecosa	Cosechado	3/7/2021 21:00:49	18/9/2021 12:22:20	★★★★★	Muy buen tamaño, color y textu...	scasse@uade.edu.ar
2	Lechuga Mantecosa	Cosechado	3/7/2021 21:00:49	5/9/2021 11:48:24	★★★★★	Planta de mala calidad. No se d...	scasse@uade.edu.ar
4	Lechuga Mantecosa	Cosechado	3/7/2021 21:00:49	29/8/2021 10:38:06	★★★★★	Excelente lechuga. Gran tamaño...	scasse@uade.edu.ar
5	Lechuga Mantecosa	Cosechado	3/7/2021 21:00:49	23/8/2021 13:54:47	★★★★★	Planta de buen tamaño, con un...	scasse@uade.edu.ar
6	Lechuga Mantecosa	Cosechado	3/7/2021 21:00:49	18/9/2021 12:22:20	★★★★★	Muy buen tamaño, color y textu...	scasse@uade.edu.ar
7	Lechuga Mantecosa	Cosechado	3/7/2021 21:00:49	18/9/2021 12:22:20	★★★★★	Muy buen tamaño, color y textu...	scasse@uade.edu.ar
8	Lechuga Mantecosa	Cosechado	3/7/2021 21:00:49	19/8/2021 13:23:24	★★★★★	Excelente planta. Buen tamaño...	scasse@uade.edu.ar
9	Lechuga Mantecosa	Cosechado	3/7/2021 21:00:49	18/9/2021 12:22:20	★★★★★	Muy buen tamaño, color y textu...	scasse@uade.edu.ar
10	Lechuga Mantecosa	Cosechado	3/7/2021 21:00:49	18/9/2021 12:22:20	★★★★★	Muy buen tamaño, color y textu...	scasse@uade.edu.ar
11	Lechuga Mantecosa	Cosechado	3/7/2021 21:00:49	23/8/2021 13:55:42	★★★★★	Buen color y tamaño. Se retira p...	scasse@uade.edu.ar
12	Lechuga Mantecosa	Cosechado	3/7/2021 21:00:49	23/8/2021 13:54:47	★★★★★	Planta de buen tamaño, con un...	scasse@uade.edu.ar
13	Lechuga Mantecosa	Cosechado	3/7/2021 21:00:49	18/9/2021 12:22:20	★★★★★	Muy buen tamaño, color y textu...	scasse@uade.edu.ar
14	Lechuga Mantecosa	Cosechado	3/7/2021 21:00:49	18/9/2021 12:22:20	★★★★★	Muy buen tamaño, color y textu...	scasse@uade.edu.ar
15	Lechuga Mantecosa	Cosechado	3/7/2021 21:00:49	6/9/2021 10:45:12	★★★★★	Debido a la densidad de planta...	scasse@uade.edu.ar
16	Lechuga Mantecosa	Cosechado	3/7/2021 21:00:49	23/8/2021 13:55:43	★★★★★	Buen color y tamaño. Se retira p...	scasse@uade.edu.ar
17	Lechuga Mantecosa	Cosechado	3/7/2021 21:00:49	5/9/2021 11:41:59	★★★★★	Buen tamaño y color.	scasse@uade.edu.ar
18	Lechuga Mantecosa	Cosechado	3/7/2021 21:00:49	21/9/2021 12:46:47	★★★★★	En un trasplante parte de la ra...	scasse@uade.edu.ar
19	Albahaca	Cosechado	13/7/2021 15:11:17	4/10/2021 20:13:53	★★★★★	Excelente tamaño, aroma y sabor.	scasse@uade.edu.ar
20	Acelga	Cosechado	17/7/2021 19:45:47	4/10/2021 20:14:52	★★★★★	Muy buen tamaño.	scasse@uade.edu.ar
21	Acelga	Cosechado	17/7/2021 19:45:47	4/10/2021 20:14:52	★★★★★	Muy buen tamaño.	scasse@uade.edu.ar
22	Acelga	Cosechado	17/7/2021 19:45:47	4/10/2021 20:14:52	★★★★★	Muy buen tamaño.	scasse@uade.edu.ar
23	Albahaca	Cosechado	22/7/2021 19:56:30	4/10/2021 20:15:40	★★★★★	Buena cosecha. Se retira por cie...	scasse@uade.edu.ar
24	Albahaca	Cosechado	22/7/2021 19:56:30	29/8/2021 10:39:10	★★★★	Se retira porque la planta murió.	scasse@uade.edu.ar

Figura 52: Plantaciones realizadas

- Eventos: En esta sección se mostrarán notificaciones y alertas que el sistema le proporcionara al usuario, indicando información relevante como su origen, descripción, fecha en que aparecen, importancia, estado y su valor correspondiente (Fig. 53).

Origen	Motivo	Descripción	Valor	Desde	Hasta	Importancia
Bomba	Estado	Se apaga la bomba	OFF	17/9/2021 23:26:25		1
Bomba	Estado	Se enciende la bomba	ON	17/9/2021 23:15:24	17/9/2021 23:26:24	1
Luces LEDs	Estado	Se apaga la iluminación LED	OFF	17/9/2021 20:00:18		1
Bomba	Estado	Se apaga la bomba	OFF	17/9/2021 19:10:16	17/9/2021 23:15:24	1
Bomba	Estado	Se enciende la bomba	ON	17/9/2021 18:59:16	17/9/2021 19:10:16	1
Bomba	Estado	Se apaga la bomba	OFF	17/9/2021 18:13:15	17/9/2021 18:59:16	1
Bomba	Estado	Se enciende la bomba	ON	17/9/2021 18:03:14	17/9/2021 18:13:15	1
Bomba	Estado	Se apaga la bomba	OFF	17/9/2021 17:18:14	17/9/2021 18:03:14	1
Bomba	Estado	Se enciende la bomba	ON	17/9/2021 17:10:18	17/9/2021 17:18:13	1
Bomba	Estado	Se apaga la bomba	OFF	17/9/2021 17:10:02	17/9/2021 17:10:18	1
Bomba	Estado	Se apaga la bomba	OFF	17/9/2021 17:09:16	17/9/2021 17:09:16	1
Bomba	Estado	Se enciende la bomba	ON	17/9/2021 17:09:16	17/9/2021 17:10:02	1
Bomba	Estado	Se enciende la bomba	ON	17/9/2021 17:07:12	17/9/2021 17:09:16	1
Bomba	Estado	Se apaga la bomba	OFF	17/9/2021 16:21:16	17/9/2021 17:07:12	1
Bomba	Estado	Se enciende la bomba	ON	17/9/2021 16:14:58	17/9/2021 16:21:16	1
Bomba	Estado	Se apaga la bomba	OFF	17/9/2021 16:14:37	17/9/2021 16:14:58	1
Bomba	Estado	Se apaga la bomba	OFF	17/9/2021 16:14:10	17/9/2021 16:14:10	1
Bomba	Estado	Se enciende la bomba	ON	17/9/2021 16:14:10	17/9/2021 16:14:37	1
Bomba	Estado	Se enciende la bomba	ON	17/9/2021 16:11:10	17/9/2021 16:14:10	1
Bomba	Estado	Se apaga la bomba	OFF	17/9/2021 15:26:09	17/9/2021 16:11:10	1
Bomba	Estado	Se enciende la bomba	ON	17/9/2021 15:15:08	17/9/2021 15:26:09	1
Bomba	Estado	Se apaga la bomba	OFF	17/9/2021 14:30:07	17/9/2021 15:15:08	1
Bomba	Estado	Se enciende la bomba	ON	17/9/2021 14:19:06	17/9/2021 14:30:07	1
Bomba	Estado	Se apaga la bomba	OFF	17/9/2021 13:34:05	17/9/2021 14:19:06	1

Figura 53: Eventos registrados

- Tienda: En dicha pestaña el usuario tendrá acceso a todos los productos que el vendedor comercialice. De esta manera, podrá comprar fácil y rápidamente, cualquier tipo insumo necesario para el cultivo (Fig. 54).

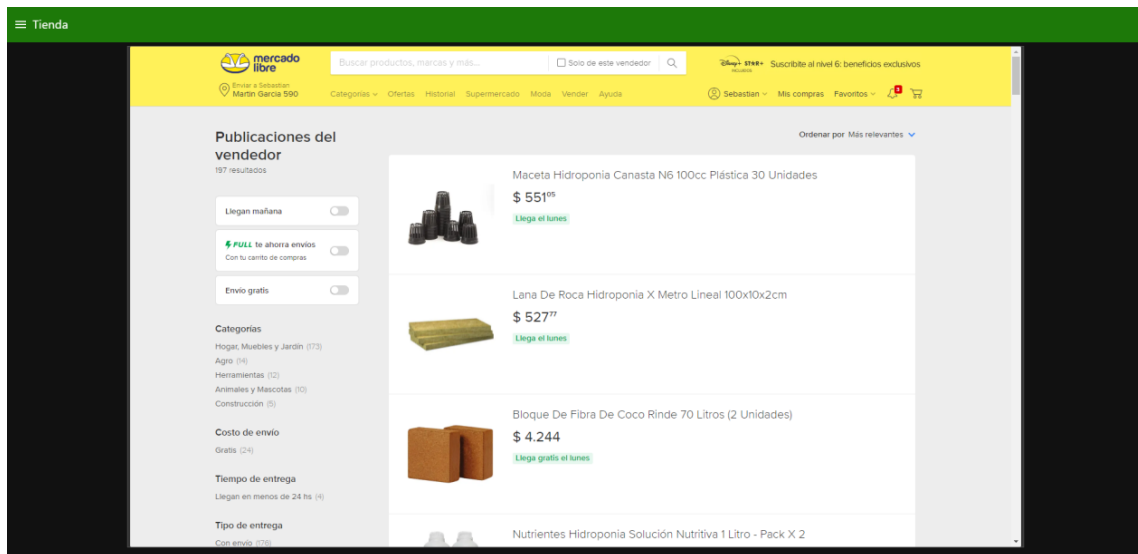


Figura 54: Tienda embebida en la pagina

- Configurar: Configurar es una sección que solamente se encontrara disponible para aquellos usuarios que posean permisos de escritura. Allí se podrá establecer los valores

para cada uno de los puntos que se detallan a continuación (incluyen un botón para reestablecer a un valor de fábrica todos los parámetros):

- Agregar huerta: nombre que se le desea dar a la huerta, una descripción de esta y el código brindado que la identifica inequívocamente (Fig. 55).
- Configuración de huerta: Hora de inicio de riegos diurnos, hora de inicio de riegos nocturnos, número de riegos diurnos, número de riegos nocturnos y duración de cada riego en horas.
- Umbrales por Tipo de planta: Volumen de la solución nutritiva A, volumen de la solución nutritiva B, mínimo pH, máximo pH, mínima conductividad eléctrica, máxima conductividad eléctrica, mínima humedad recomendada, máxima humedad recomendada, mínima temperatura recomendada, máxima temperatura recomendada, cantidad mínima de horas de luz diarias recomendadas y cantidad máxima de horas de luz diarias recomendadas.
- Umbrales por Planta: Cantidad mínima de días que se cultiva la planta dentro del sistema y cantidad máxima de días que se cultiva la planta dentro del sistema.

The screenshot shows a configuration interface with a dark background and green accents. At the top left, there is a menu icon and the text 'Configurar'. The interface is divided into two main sections:

- Agregar Huerta:** This section contains three input fields labeled 'Nombre:', 'Descripción:', and 'ID:'. Below these fields are two buttons: 'AGREGAR' and 'CANCELAR'.
- Configuración de Huerta:** This section starts with a dropdown menu labeled 'Huerta:' with the text 'Select option'. Below this are four input fields: 'Hora inicio:', 'Hora fin:', 'Numero de riegos diurnos:', and 'Numero de riegos nocturnos:'. A fifth input field is labeled 'Duración de riegos (minutos:'. At the bottom of this section are two buttons: 'ACTUALIZAR' and 'CANCELAR'. Below the 'Configuración de Huerta' section is a wide button labeled 'RESTEAR A FABRICA'.

Figura 55: Configuración de huertas y umbrales

- Cerrar sesión: En cerrar sesión se encontrará disponible un botón que el usuario podrá presionar en caso de querer salir de la aplicación (Fig. 56).

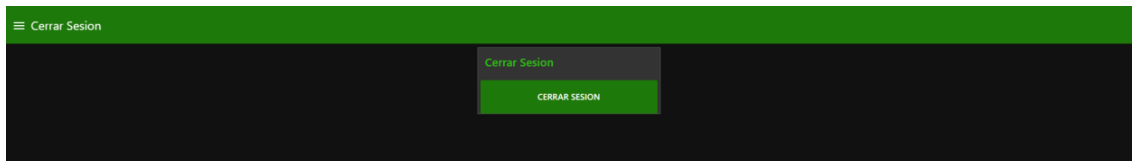


Figura 56: Cerrar sesión

5.5.2. ARQUITECTURA

El usuario podrá mediante un navegador, acceder a la página web, la cual mostrará tanto los valores del último minuto de las variables relevadas, así como también un histórico de las mismas. Los primeros provendrán directamente de la huerta gracias a la comunicación MQTT establecida, mientras que los segundos tendrán su origen en la base de datos que almacenara los datos recogidos con una cierta periodicidad (Fig. 57).

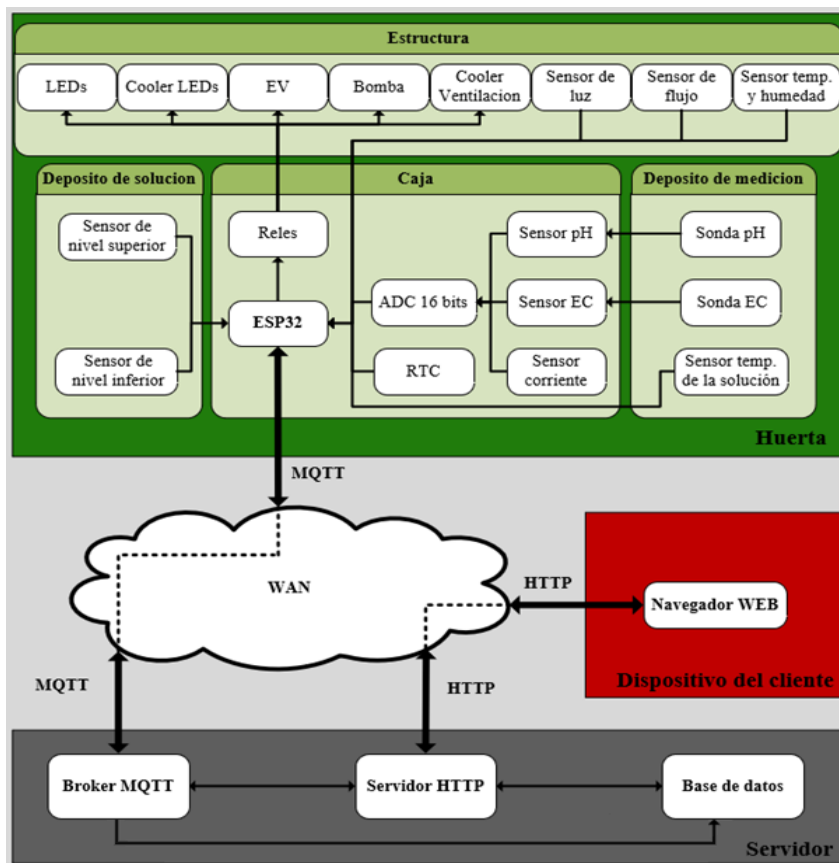


Figura 57: Diagrama de arquitectura de la solución

6. METODOLOGÍA DE DESARROLLO

En esta sección se abordan las herramientas y metodologías seleccionadas para desarrollar el prototipo funcional, incluyendo los diagramas que facilitan la comprensión del funcionamiento del sistema creado.

6.1. METODOLOGÍA SELECCIONADA

Con el fin de llevar a cabo la ejecución de las tareas relacionadas con el proyecto de la forma más eficiente posible, la metodología seleccionada fue la que se conoce como Kanban.

Kanban es un método para gestionar el trabajo que fue elaborado por el Sistema de Producción Toyota (TPS), el cual fue adaptado más adelante en la industria del software dado que podía generar un cambio positivo en la forma en la que se producían y entregaban los productos y servicios (Kanbanize, 2018).

Lo primero que se puede destacar de este método es la utilización de un tablero, conocido como tablero Kanban, el cual permite tener una idea clara acerca de lo que está haciendo el equipo de trabajo durante la ejecución del proyecto. Para ello, el tablero cuenta con distintas columnas que indican la fase de realización de cada una de las tareas, mientras que las tarjetas representan las actividades específicas que se deben ejecutar.

Otro aspecto importante del método Kanban es que no busca implementar cambios radicales, sino que busca pequeños y continuos cambios incrementales y evolutivos. Para poder llevar esto a la práctica, se utiliza el tablero Kanban para visualizar la cantidad de tareas que realiza un equipo de trabajo en forma simultánea. Así, el equipo mantiene un ritmo de trabajo óptimo sin exceder su capacidad de trabajo, de manera tal que se obtiene un flujo continuo e ininterrumpido.

Por último, Kanban considera que las reuniones regulares son necesarias para la transferencia de conocimiento. Su frecuencia depende de muchos factores, siendo estas regulares, a una hora estrictamente fija y nunca innecesariamente largas. Sin embargo, el uso del tablero Kanban elimina la necesidad de llevar a cabo reuniones innecesarias que tengan como objetivo mantener actualizados a los integrantes del equipo en relación con el progreso de cada una de las actividades del proyecto.

6.2. HERRAMIENTAS Y RECURSOS

A continuación, se detallan las herramientas utilizadas para realizar cada una de las tareas necesarias para poder llevar a cabo el desarrollo del prototipo.

6.2.1. NODE-RED

Para construir el sitio web que utiliza el usuario para interactuar con el sistema, se utilizó Node-RED. Esta es una plataforma de desarrollo, creada por IBM, que es capaz de conectar diferentes dispositivos de hardware usando diversos protocolos entre los que podemos destacar a MQTT. Por otra parte, es considerada una herramienta de programación ideal al momento de trabajar sobre un hardware de bajos recursos como Raspberry Pi (Node-RED, 2015).

Node-RED utiliza un paradigma de programación conocido como programación basada en flujo. Esto significa que el comportamiento de la aplicación está descrito por una red de procesos de caja negra o “nodos” (como son comúnmente denominados en Node-RED). Cada uno de estos nodos tiene un propósito predefinido, por lo que estos reciben un dato, lo procesan y lo envían al nodo siguiente de la cadena (Fig. 46). Este modelo de programación permite tener una representación visual sencilla del comportamiento del programa. Por lo tanto, en caso de ocurrir algún problema, se puede observar de manera discreta qué está ocurriendo sin la necesidad de entender las líneas individuales de código que se ejecutan dentro de cada nodo.

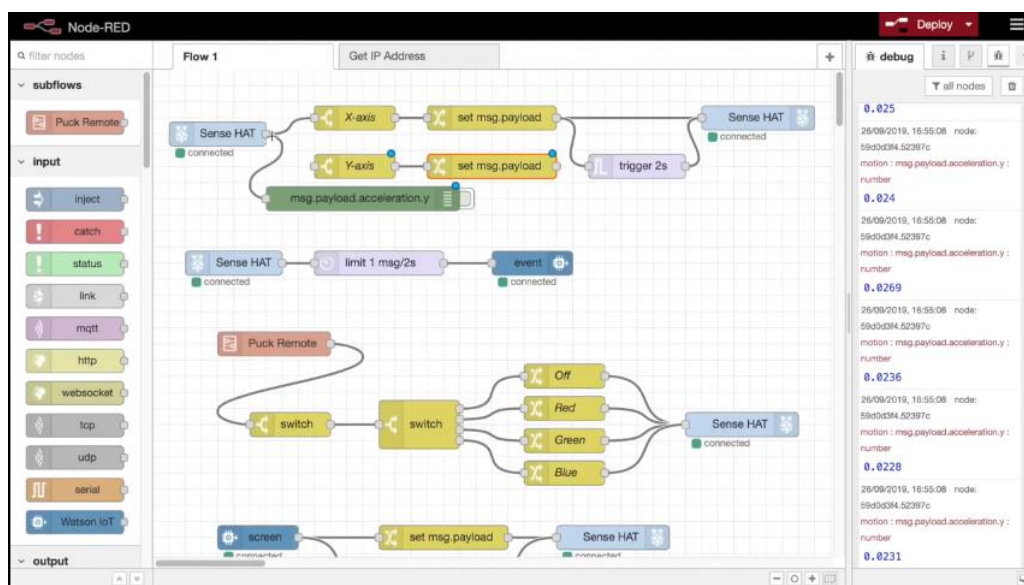


Figura 58: Interfaz gráfica de Node-RED.

Fuente: <https://nodered.org/>

6.2.2. DBEAVER

Se utilizó DBeaver como herramienta para configurar y gestionar la base de datos de la solución, empleando una interfaz gráfica que es provista por dicho recurso. Se trata de un software gratuito y de código abierto que se encuentra disponible para múltiples plataformas (DBeaver, 2018). Entre sus diversas funcionalidades, se puede destacar la creación de diagramas visuales que permiten analizar el comportamiento de la base de datos y la posibilidad de crear y ejecutar consultas SQL contra las bases de datos creadas (DatabaseGuide, 2018).

6.2.3. GRAFANA

Por lo que se respecta a la sección en donde se detallan los valores medidos de cada uno de los parámetros importantes de las distintas huertas en los intervalos de tiempo previamente mencionados (ver apartado 5.4.1), existe la posibilidad de desarrollarlo a partir de las herramientas brindadas por Node-RED. Sin embargo, existe una herramienta llamada Grafana que es capaz de crear gráficos mucho más amigables para el usuario gracias a la utilización de los valores almacenados en la base de datos.

Grafana es un programa de software libre creada en enero de 2014, el cual es empleado para visualizar datos de manera temporal. En otras palabras, genera gráficos a partir de una serie de datos recolectados, presentando de esta forma los datos monitoreados por los sensores utilizados de una manera sencilla y agradable para el usuario (Pandora FMS, 2019).

6.2.4. ARDUINO IDE

Con respecto a la programación de las placas de desarrollo NodeMCU ESP32-S, se utilizó el software de código abierto Arduino IDE. Se trata de una herramienta que es posible utilizarla en múltiples placas y se encuentra disponible para Windows, Mac OS X y Linux. También existe la posibilidad de utilizar el editor web, que se encuentra disponible en Arduino Cloud, para aquellos casos en donde se emplee una Chromebook (Arduino, 2021).

6.2.5. MOSQUITTO

En lo referente a la comunicación de la Raspberry con las huertas NFT, fue necesario instalar un Broker MQTT que se comporte como software intermediario. Para ello, se instaló en la Raspberry el programa Mosquitto.

Mosquitto es una herramienta ligera de código abierto, por lo que es apropiada para ser usada en todo tipo de dispositivos, desde computadoras de baja capacidad hasta en grandes

servidores. Además, cuenta con diversas librerías en C que pueden utilizarse así publicar o suscribirse a un tópico MQTT por medio de sencillas funciones (Eclipse Mosquitto, 2020).

6.2.6. VIRTUALBOX

Al momento de crear una aplicación, independientemente del tipo de software que se trate, lo que se sugiere es crear un entorno de pruebas. De esta forma, se verifica el correcto funcionamiento de las distintas funcionalidades y servicios que se desarrollan antes de que estos sean utilizados por el usuario final.

Para poder garantizar el correcto funcionamiento de la página web del prototipo, se creó una máquina virtual con Ubuntu y allí dentro se instaló Node-RED. Por consiguiente, no sólo se instaló Node-RED en la Raspberry para construir la página web del prototipo final, sino que además se creó un entorno de desarrollo en donde se utilizó la misma herramienta.

La instalación de la máquina virtual fue posible gracias a la utilización de Virtualbox. Este es un producto de virtualización de código abierto que se caracteriza por ser la única solución profesional que se encuentra disponible de manera gratuita en el mercado. Su instalación se encuentra disponible para computadoras con sistema operativo Windows, Linux, Macintosh y Solaris y es capaz de crear entornos que utilicen una gran variación de sistemas operativos, entre ellos Windows, DOS/Windows, Linux, Solaris y OpenBSD (Virtualbox, 2007).

6.2.7. GOOGLE DRIVE

Por lo que respecta al almacenamiento de la información del proyecto, se consideró que lo más conveniente era utilizar una herramienta que permite almacenar datos en la nube. Respetando este criterio, se utilizó Google Drive como herramienta de almacenamiento de información en la nube. Su versión gratuita permite guardar una cantidad máxima de datos de 15 GB, lo que se consideró idóneo para compartir la información relevante.

6.2.8. GOOGLE FORMS

En el trabajo realizado se hizo un estudio de mercado en donde el principal objetivo fue analizar la viabilidad del producto, comparándolo con los que ofrecen los competidores. Para ello, se hizo una encuesta a los potenciales clientes en donde se les consultó si estarían dispuestos a adquirir un sistema hidropónico y, en caso afirmativo o probable, qué características debía cumplir dicho sistema (precio, cantidad de plantas, consumo, tamaño y si contaban con una interfaz de monitoreo).

Para poder llevar a cabo la encuesta, se utilizó una herramienta conocida como Google Forms. Dicho software permite crear y compartir formularios de manera sencilla, accediendo a ellos simplemente a través de un enlace que se puede enviar. Por otra parte, permite recopilar y procesar los resultados de las encuestas en forma sencilla, gracias a que los datos ingresados son almacenados automáticamente en una hoja de cálculo que se puede ver una vez recopilada la cantidad de respuestas necesarias (Universidad Continental, 2014).

6.2.9. TRELLO

A fin de organizar las tareas realizadas en el transcurso del proyecto, siguiendo los fundamentos de la metodología Kanban, se utilizó Trello como herramienta para gestionar y coordinar las actividades realizadas por cada uno de los integrantes.

Trello fomenta el trabajo en equipo mediante la creación de tableros con listas. Dentro de estas listas se colocan las tarjetas que contienen información relevante como por ejemplo la actividad que se está llevando a cabo, su importancia, el tipo de tarea del que se trata, los responsables de su ejecución, comentarios acerca de los resultados obtenidos, entre otros. Para este proyecto en particular, se creó una lista para las tareas pendientes de realizar, una para las tareas que se encuentran en curso y otra para aquellas tareas que hayan sido finalizadas (Figura 5959), siendo estas las tres secciones básicas que utiliza un tablero de Kanban (Kanbanize, 2018).

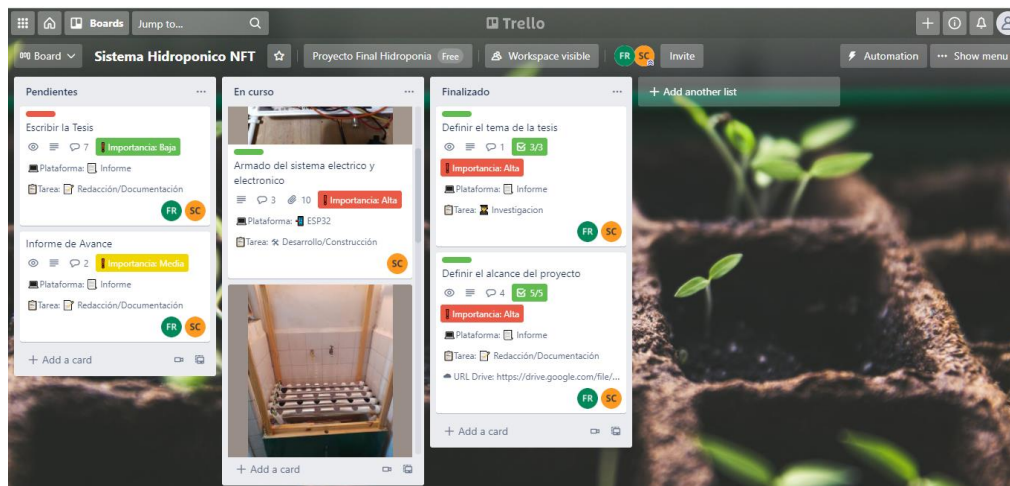


Figura 59: Diagrama de Arquitectura de Comunicación entre Dispositivos

6.2.10. MICROSOFT TEAMS

Tal como se mencionó anteriormente, la metodología Kanban refleja la necesidad de realizar un seguimiento constante del avance del proyecto por parte de todos los integrantes. Dicha sincronización se obtiene gracias a la realización de una serie de reuniones que se llevan a cabo de manera periódica. Tomando dicha consideración, se utilizó el programa Microsoft Teams para concretar semanalmente reuniones breves, con el objetivo de reportar avances y discutir aquellas ideas que aseguren un mejor resultado en el desarrollo del prototipo funcional construido.

7. ANÁLISIS FINANCIERO

Con el fin de conocer la viabilidad del proyecto, se llevó a cabo un análisis financiero del mismo. En primera instancia, mediante un análisis FODA, se identificaron y contrastaron las fortalezas y debilidades internas, contra las oportunidades y amenazas externas.

Posteriormente se relevaron los recursos económicos disponibles, el coste del proceso de producción y la mano de obra necesaria. Gracias a esto se estimó el costo total del proyecto, así como los ingresos que se estiman recibir y la inversión necesaria para publicidad.

Finalmente, con toda esa información se calcularon los principales indicadores financieros para conocer la rentabilidad del proyecto y se desarrolló un plan de negocios con objetivos realistas y estrategias competitivas para alcanzar los objetivos establecidos.

7.1.FODA

Para comprender la situación del proyecto, y así tomar decisiones a futuro, se identificaron las fortalezas, las oportunidades, las debilidades y las amenazas, mediante un análisis FODA (ver Tabla II).

TABLA II: Análisis FODA

FODA		Internas	
		Fortalezas	Debilidades
		<i>1-Know-how tecnológico</i>	<i>1-Inversion Inicial</i>
		<i>2-Dinamismo</i>	<i>2-Flujo de caja</i>
	<i>3-Datos de cultivos</i>	<i>3-Construcción de marca</i>	
Externas	Oportunidades		
	<i>1-Escasa difusión y desconocimiento</i> <i>2-Tendencias sustentables</i> <i>3-Preocupación uso ineficiente de recursos no renovables</i> <i>4-Gran cantidad de proveedores</i> <i>5-Soluciones parcialmente automatizadas</i>	O1-F1: Desarrollo de una interfaz intuitiva O3-F3: Optimización de recursos gracias al análisis de los datos recolectados O5-F1: Desarrollo de una solución integral	O2-D3: Desarrollo de un plan de marketing O4-D1: Reducción de costos gracias a la negociación con proveedores
	Amenazas		
	<i>1-Restricciones a las importaciones</i> <i>2-Altos costos</i> <i>3-Altas tasas de financiación</i> <i>4-Pequeño nicho de mercado</i>	A1-F1: Sustitución de importaciones A4-F2: realización de encuestas a potenciales clientes	A2-D2: Compras mensuales de componentes A3-D2: Ventas bajo demanda

7.2. INVERSION Y COSTOS

Con el fin de estimar inversión inicial necesaria para el proyecto se calcularon los costos asociados al mismo. Se los diferenció en costos iniciales, mensuales y anuales. Los primeros hacen referencia a los costos relacionados al inicio del proyecto y que tienen el carácter de ser por única vez. Los dos restantes tienen una ocurrencia mensual y anual respectivamente.

7.2.1. COSTOS INICIALES

En primera instancia se proyecta adquirir herramientas por un total de \$26.163 pesos (ver TABLA III), las cuales serán destinadas a la producción de las huertas NFT.

TABLA III: Estructura de costos iniciales de la maquinaria y herramientas

Ítem	Cantidad	Medida	Valor unitario	Total
Taladro 500W 220 V Mandril 13mm	1	unidad	\$ 3.824	\$ 3.824
Amoladora angular 700 W 220 V	1	unidad	\$ 5.999	\$ 5.999
Kit de pinzas y destornilladores	1	unidad	\$ 2.938	\$ 2.938
Martillo Galponero 27mm	1	unidad	\$ 765	\$ 765
Multímetro digital True RMS	1	unidad	\$ 4.644	\$ 4.644
Cinta métrica	1	unidad	\$ 260	\$ 260
Sierra Caladora 420W	1	unidad	\$ 5.741	\$ 5.741
Pincel N° 10	1	unidad	\$ 93	\$ 93
Soldador estaño tipo lápiz 40W	1	unidad	\$ 699	\$ 699
Engrampadora Metálica 0,7mm	1	unidad	\$ 1.200	\$ 1.200
				\$ 26.163

Con el fin de perfeccionar el producto se contratarán por un total de \$57.200, a profesionales en el área de la hidroponía, electrónica e informática (ver TABLA IV). Los mismos serán los encargados de asesorar y recomendar sobre buenas prácticas hidropónicas, simplificar la electrónica y optimizar el backend y frontend de la interfaz web respectivamente.

TABLA IV: Estructura de costos iniciales de profesionales

Ítem	Cantidad	Medida	Valor unitario	Total
Experto en hidroponía	8	horas	\$ 400	\$ 3.200
Técnico en electrónica	40	horas	\$ 350	\$ 14.000
Desarrollador full stack	80	horas	\$ 500	\$ 40.000
				\$ 57.200

7.2.2. COSTOS MENSUALES

Entre los costos mensuales se puede diferenciar a los costos variables asociados a los de materiales y los costos fijos compuestos por la mano de obra, el alquiler y la publicidad.

Se calcula un costo en materiales de \$53.307 por cada huerta NFT construida (ver TABLA V).

TABLA V: Estructura de costos del sistema NFT

Ítem	Cantidad	Medida	Valor unitario	Total (\$)
Adaptador a I2C para display - PCF8754	1	unidad	\$ 193	\$ 193
Bomba centrífuga 30W 20 l/min	1	unidad	\$ 749	\$ 749
Botón Pulsador Switch sin retención 2 Pines 10mm	3	unidad	\$ 135	\$ 405
Cable tipo taller bipolar 1mm	4	metros	\$ 110	\$ 440
Cable unipolar amarillo 0.25mm	2	metros	\$ 38	\$ 76
Cable unipolar naranja 0.25mm	2	metros	\$ 38	\$ 76
Cable unipolar negro 0.25mm	4	metros	\$ 38	\$ 152
Cable unipolar rojo 0.25mm	2	metros	\$ 38	\$ 76
Caja de grampas para cables 100u.	1	unidad	\$ 250	\$ 250
Caja estanca 162x285x100mm	1	unidad	\$ 684	\$ 684
Capacitor electrolítico 10uF 25V	1	unidad	\$ 8	\$ 8
Capacitor poliéster 100nF 630V	3	unidad	\$ 44	\$ 132
Cloruro de cobre 250ml	1	unidad	\$ 280	\$ 280
Conector DE15 hembra	1	unidad	\$ 260	\$ 260
Conector DE15 macho	1	unidad	\$ 198	\$ 198
Convertor analógico digital 16bit - ADS1115	1	unidad	\$ 503	\$ 503
Cooler 80mm 5V 1800 rpm	3	unidad	\$ 280	\$ 840
Disipador Aluminio 6063 T6 200MM 200W	1	unidad	\$ 1.740	\$ 1.740
Display LCD Azul 16x2 - HD44780	1	unidad	\$ 490	\$ 490
Electroválvula solenoide	1	unidad	\$ 550	\$ 550
Enchufe macho ficha axial	3	unidad	\$ 125	\$ 375
Estaño en rollo 17gr 0,5mm	1	unidad	\$ 214	\$ 214
Fuente ATX 550W	1	unidad	\$ 1.220	\$ 1.220
Interruptor 4 contactos	1	unidad	\$ 99	\$ 99
LED COB Full spectrum - 50W	2	unidad	\$ 600	\$ 1.200
Modulo Nodemcu WiFi v1.1 - ESP32	1	unidad	\$ 1.580	\$ 1.580
Modulo Relay de 1 canal	1	unidad	\$ 230	\$ 230
Modulo Relay de 4 canales	1	unidad	\$ 778	\$ 778
Pila 3V - CR2032	1	unidad	\$ 56	\$ 56
Placa de cobre 10x20cm	1	unidad	\$ 275	\$ 275
Resistencia 10 kOhm 1/4w	1	unidad	\$ 6	\$ 6
Resistencia 100 Ohm 1w	3	unidad	\$ 20	\$ 60
Resistencia 4,7 kOhm 1/4w	1	unidad	\$ 6	\$ 6
Sensor analógico de EC - DFR300	1	unidad	\$ 11.184	\$ 11.184
Sensor de corriente Efecto Hall 30A - ACS712	1	unidad	\$ 228	\$ 228

Sensor de flujo NA rosca macho 3/4"	1	unidad	\$ 248	\$ 248
Sensor de nivel NA/NC - 40331P	2	unidad	\$ 268	\$ 536
Sensor de pH - PH4502C	1	unidad	\$ 1.907	\$ 1.907
Sensor digital de humedad relativa y temperatura - DHT22	1	unidad	\$ 573	\$ 573
Sensor digital de intensidad de luz - MAX44009 GY-49	1	unidad	\$ 411	\$ 411
Sensor digital de temperatura - DS18B20	1	unidad	\$ 596	\$ 596
Sensor Real Time Clock - DS3231	1	unidad	\$ 368	\$ 368
Tira de pines hembra paso 2.54mm Dupont 40 unid	1	unidad	\$ 49	\$ 49
Tira de pines macho 2.54mm Dupont 40 unid	2	unidad	\$ 33	\$ 66
Tira de terminales hembra 2.54mm Dupont 40 unid	1	unidad	\$ 420	\$ 420
Tira de terminales hembra cabezal plástico 2.54mm Dupont 20 unid	2	unidad	\$ 220	\$ 440
Toma Corriente Bipolar de superficie 10 A	3	unidad	\$ 160	\$ 480
Abrazadera metálica 29 a 35 mm	2	unidad	\$ 120	\$ 240
Carcasa portafiltro 10x2,5 rosca hembra 3/4"	1	unidad	\$ 1.849	\$ 1.849
Cinta aluminizada 72mm 50m	1	unidad	\$ 1.280	\$ 1.280
Codo espiga 1/2"	10	unidad	\$ 38	\$ 380
Codo espiga 3/4"	7	unidad	\$ 40	\$ 280
Conector espiga 3/4" a rosca macho 3/4"	2	unidad	\$ 45	\$ 90
Conector espiga tipo "T" de 3/4" a 1/2"	10	unidad	\$ 46	\$ 460
Conector espiga 1" a rosca macho 1" 90°	1	unidad	\$ 53	\$ 53
Conector espiga a rosca hembra 1/2"	10	unidad	\$ 55	\$ 550
Conector espiga a rosca hembra 3/4"	2	unidad	\$ 40	\$ 80
Conector espiga a rosca hembra 3/4" 90°	3	unidad	\$ 45	\$ 135
Contenedor plástico de 20 litros	1	unidad	\$ 770	\$ 770
Filtro agua 10x2,5 10 micrones	1	unidad	\$ 320	\$ 320
Manguera riego 1"	1	metros	\$ 304	\$ 304
Manguera riego 1/2"	2	metros	\$ 60	\$ 120
Manguera riego 3/4"	4	metros	\$ 240	\$ 960
Rosca plástica macho 1"	1	unidad	\$ 25	\$ 25
Rosca plástica macho 1/2"	10	unidad	\$ 22	\$ 220
Tapa para tubo PVC 3" (63cm)	10	unidad	\$ 69	\$ 690
Tubo PVC 3" (63cm) x 1 metro	5	unidad	\$ 414	\$ 2.070
Válvula esférica plástica 1/2"	5	unidad	\$ 125	\$ 625

Abrazaderas plásticas 30cm 100 unid.	1	unidad	\$ 515	\$ 515
Agarre para manguera 1" omega	2	unidad	\$ 128	\$ 256
Agarre para manguera 1/2" media omega	10	unidad	\$ 38	\$ 380
Agarre para manguera 3/4" media omega	4	unidad	\$ 48	\$ 192
Agarre para tubo PVC 3" omega	12	unidad	\$ 111	\$ 1.326
Barniz brillante para exteriores 500ml	1	unidad	\$ 414	\$ 414
Caja 6u tornillos metal autoperforante T1	1	unidad	\$ 130	\$ 130
Caja 75u tornillos madera 6x1 1/2	1	unidad	\$ 519	\$ 519
Caja 75u tornillos madera 6x8 8	1	unidad	\$ 509	\$ 509
Caño aluminio corrugado extensible 4"	1	unidad	\$ 320	\$ 320
Cobertor 1/2" x 2m	1	unidad	\$ 95	\$ 95
Cobertor 3/4" x 2m	2	unidad	\$ 106	\$ 212
Grampas 0,7mm 1000uni	1	unidad	\$ 141	\$ 141
Impresión 3D adaptador para cooler 80mm	2	unidad	\$ 60	\$ 120
Impresión 3D contenedor y tapa sensor de pH y EC	1	unidad	\$ 240	\$ 240
Impresión 3D imagotipo	1	unidad	\$ 20	\$ 20
Impresión 3D protector LEDs	1	unidad	\$ 110	\$ 110
Madera de pino 1x2x180 cm	13	unidad	\$ 120	\$ 1.560
Panel Mylar 100 micrones 100x70 cm	7	unidad	\$ 70	\$ 490
Pintura brillante para metal verde	1	unidad	\$ 491	\$ 491
Placa metálica galvanizada 100cmx60cm	1	unidad	\$ 780	\$ 780
Ruedas giratorias 75mm	4	unidad	\$ 235	\$ 940
Silicona sellador transparente universal 280 MI	1	unidad	\$ 339	\$ 339
				\$ 53.307

El servidor, necesario para recibir, almacenar y gestionar la información de todas las huertas vendidas, tiene un costo de materiales de \$66.948 (ver TABLA VI). En base a la periodicidad de las muestras, la cantidad de variables y la cantidad de huertas a comercializar, se calculó que 1TB de almacenamiento será suficiente para almacenar la página web, el broker MQTT y los datos correspondientes a todos los usuarios durante al menos 3 años. Para evitar pérdidas de información se optó por una configuración de RAID 0 entre los discos. El poder de procesamiento fue estimado considerando los recursos típicos de un gestor de base de datos y

un servidor HTTP. Por último, se prescindió de UPS ya que la relación costo/beneficio de contar con una no amerita tal inversión.

TABLA VI: Estructura de costos asociados al servidor

Ítem	Cantidad	Medida	Valor unitario	Total
Combo X79G Placa base con LGA2011 + Intel Xeon E5 2689 CPU + 4x4GB RAM DDR3 1333Mhz	1	unidad	\$ 30.000	\$ 30.000
Disco duro 1 TB	2	unidad	\$ 5.000	\$ 10.000
Fuente de alimentación para PC 550W negra 100V/240V	1	unidad	\$ 5.499	\$ 5.499
Disipador CPU Intel	1	unidad	\$ 980	\$ 980
Gabinete	1	unidad	\$ 3.500	\$ 3.500
Monitor 21" HD	1	unidad	\$ 16.000	\$ 16.000
Mouse y teclado	1	unidad	\$ 969	\$ 969
				\$ 66.948

En cuanto a la mano de obra necesaria para la construcción de las huertas, se contratará a un obrero por un total de \$50.400. El mismo tendrá una jornada laboral lunes a viernes de 8hs a 17hs, lo que da un promedio de 168 horas mensuales (ver TABLA VII).

TABLA VII: Estructura de costos mensuales de los empleados

Ítem	Cantidad	Medida	Valor unitario	Total
Obrero	168	horas	\$ 300	\$ 50.400
				\$ 50.400

Para la construcción y almacenamiento de las huertas NFT se dispondrá de un espacio de 150m³ el cual se alquilará por un total de \$40.000 mensuales (ver TABLA VIII).

TABLA VIII: Estructura de costos mensuales de alquiler

Ítem	Cantidad	Medida	Valor unitario	Total
Alquiler de taller, depósito y punto de venta 150 m ³	1	mensual	\$ 40.000,00	\$ 40.000
				\$ 40.000

Por último, con el fin de dar a conocer el producto, atraer a nuevos clientes y maximizar las ventas, se invertirán un total de \$80.000 en una campaña de marketing digital (Figura 67).

7.2.3. COSTOS ANUALES

Anualmente se destina un total de \$4.946 (ver TABLA IX) con el fin de reponer todos aquellos elementos como hojas de sierras, mechas de talado y demás materiales que se degradan con el paso del tiempo y las horas de uso.

TABLA IX: Estructura de costos anuales de la maquinaria y herramientas

Ítem	Cantidad	Medida	Valor unitario	Total (\$)
Grasa siliconada disipadora 10cc	1	unidad	\$ 250	\$ 250
Disco de Corte Amoladora 230 X 1.8 Metal	1	unidad	\$ 165	\$ 165
Kit 2 Hojas sierra caladora madera 75 mm	1	unidad	\$ 236	\$ 236
Mecha coppa 60 cm	1	unidad	\$ 880	\$ 880
Agarre para mecha coppa	1	unidad	\$ 1.090	\$ 1.090
Mecha cónica escalonada 32mm	1	unidad	\$ 1.234	\$ 1.234
Mecha coppa 51 cm	1	unidad	\$ 825	\$ 825
Mecha 5 mm	1	unidad	\$ 173	\$ 173
Pincel N° 10	1	unidad	\$ 93	\$ 93
				\$ 4.946

7.2.4. INVERSION INICIAL

Se estima producir 260 sistemas hidropónicos en 3 años (Fig. 60). El esquema de producción plantea iniciar la construcción de 4 huertas NFT por mes hasta llegar a la capacidad máxima instalada de 9, con un crecimiento anual promedio de un 32%. Para llevar a cabo el objetivo planificado, se invertirán \$700.000. Este monto proviene del patrimonio personal de los socios involucrados.

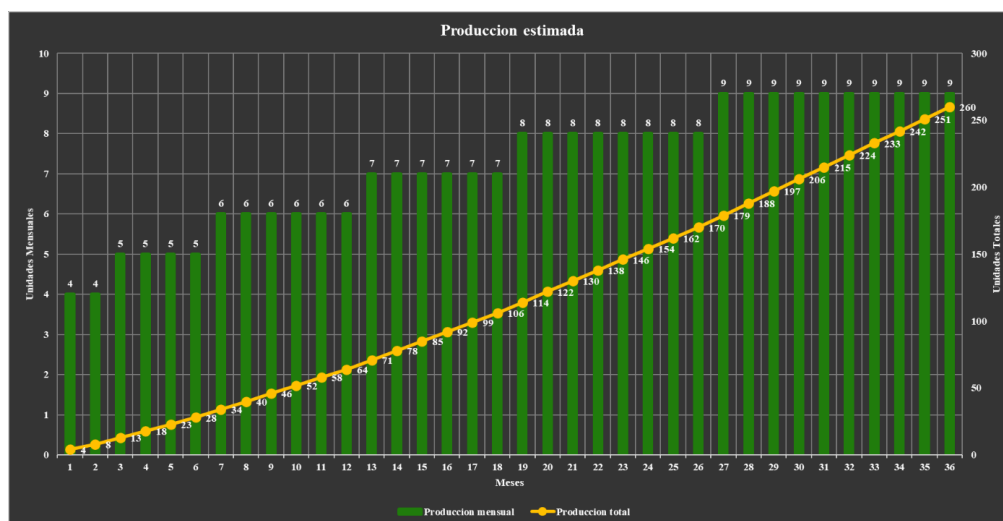


Figura 60: Esquema de producción

7.3.INGRESOS

Gracias al análisis FODA realizado (ver Tabla III) se optó por una producción bajo demanda, es decir producir el sistema una vez que se realiza la venta, adquiriendo solamente los componentes necesarios para la producción estimada en dicho mes. De esta manera disminuye el monto de la inversión inicial necesaria, evitando así los intereses asociados a cualquier tipo de préstamo bancario. Por otro lado, se reduce el espacio necesario para almacenamiento y por consiguiente los gastos fijos asociados al alquiler de un taller y depósito de mayor superficie.

Se estima alcanzar ventas por un total de \$18.2 millones (Fig. 61) todas ellas realizadas por la plataforma Mercado Libre bajo la modalidad de envío “Acuerdo con el vendedor”. Esta opción permite contratar una empresa de logística ajena a la plataforma y trasladarle dicho costo al cliente. Además, es la única capaz de transportar paquetes de estas dimensiones.

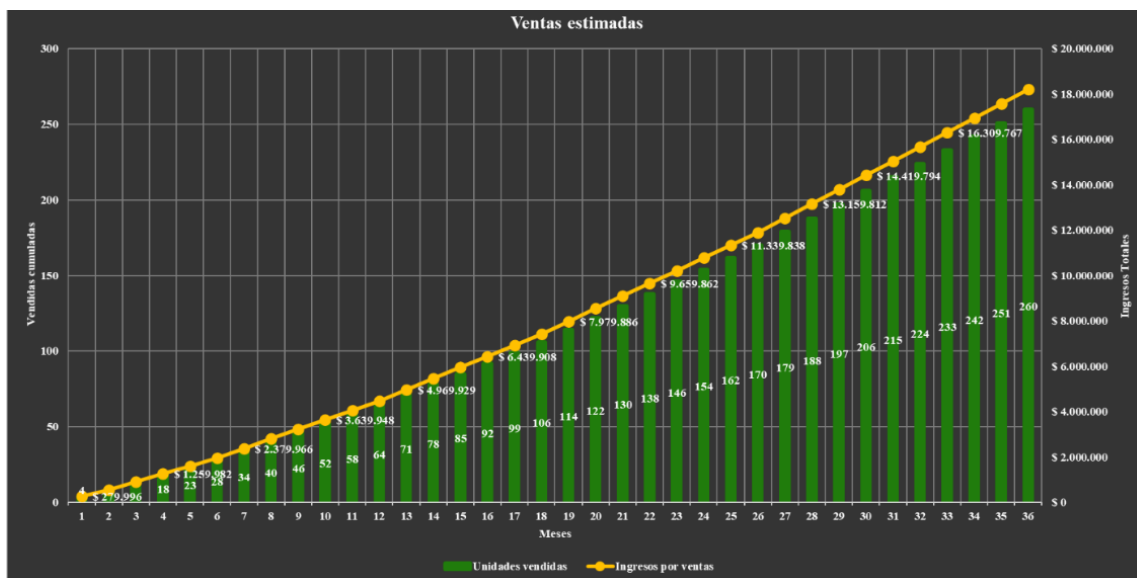


Figura 61: Esquema de ventas

7.4.FLUJO DE CAJA

Con la estructura de costos y la estimación de ventas realizada, se calculó el flujo de caja para cada uno de los 3 años estipulados en el proyecto.

El primer año se estima alcanzar un saldo neto positivo a partir el séptimo mes y un saldo acumulado de \$501.019 al cierre del periodo (ver TABLA X).

TABLA X: Primer año del flujo de caja

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Ingreso a caja	\$ 979.996	\$ 279.996	\$ 349.995	\$ 349.995	\$ 349.995	\$ 349.995	\$ 419.994	\$ 419.994	\$ 419.994	\$ 419.994	\$ 419.994	\$ 419.994
Cobro por ventas	\$ 279.996	\$ 279.996	\$ 349.995	\$ 349.995	\$ 349.995	\$ 349.995	\$ 419.994	\$ 419.994	\$ 419.994	\$ 419.994	\$ 419.994	\$ 419.994
Inversion Inicial	\$ 700.000											
Egresos a caja	\$ 465.486	\$ 308.229	\$ 358.536	\$ 358.536	\$ 358.536	\$ 358.536	\$ 411.843	\$ 411.843	\$ 411.843	\$ 411.843	\$ 411.843	\$ 411.843
Materiales	\$ 213.229	\$ 213.229	\$ 266.536	\$ 266.536	\$ 266.536	\$ 266.536	\$ 319.843	\$ 319.843	\$ 319.843	\$ 319.843	\$ 319.843	\$ 319.843
Herramientas	\$ 31.109											
Servidor	\$ 66.948											
Sueldos y salarios	\$ 107.200	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000
Alquiler	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000
Publicidad	\$ 7.000	\$ 5.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000
Saldo Neto	\$ 514.510	-\$ 28.233	-\$ 8.541	-\$ 8.541	-\$ 8.541	-\$ 8.541	\$ 8.151	\$ 8.151	\$ 8.151	\$ 8.151	\$ 8.151	\$ 8.151
Saldo Anual	\$ 514.510	\$ 486.277	\$ 477.736	\$ 469.195	\$ 460.655	\$ 452.114	\$ 460.264	\$ 468.415	\$ 476.566	\$ 484.717	\$ 492.868	\$ 501.019
Saldo Acumulado	\$ 514.510	\$ 486.277	\$ 477.736	\$ 469.195	\$ 460.655	\$ 452.114	\$ 460.264	\$ 468.415	\$ 476.566	\$ 484.717	\$ 492.868	\$ 501.019

Al final del segundo año, el objetivo planteado es lograr un saldo anual de \$393.317 y uno acumulado de \$894.335 (ver TABLA XI).

TABLA XI: Segundo año del flujo de caja

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Ingreso a caja	\$ 489.993	\$ 489.993	\$ 489.993	\$ 489.993	\$ 489.993	\$ 489.993	\$ 559.992	\$ 559.992	\$ 559.992	\$ 559.992	\$ 559.992	\$ 559.992
Cobro por ventas	\$ 489.993	\$ 489.993	\$ 489.993	\$ 489.993	\$ 489.993	\$ 489.993	\$ 559.992	\$ 559.992	\$ 559.992	\$ 559.992	\$ 559.992	\$ 559.992
Egresos a caja	\$ 470.096	\$ 465.150	\$ 465.150	\$ 465.150	\$ 465.150	\$ 465.150	\$ 518.458	\$ 518.458	\$ 518.458	\$ 518.458	\$ 518.458	\$ 518.458
Materiales	\$ 373.150	\$ 373.150	\$ 373.150	\$ 373.150	\$ 373.150	\$ 373.150	\$ 426.458	\$ 426.458	\$ 426.458	\$ 426.458	\$ 426.458	\$ 426.458
Herramientas	\$ 4.946											
Servidor												
Sueldos y salarios	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000
Alquiler	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000
Publicidad	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000
Saldo Neto	\$ 19.897	\$ 24.843	\$ 24.843	\$ 24.843	\$ 24.843	\$ 24.843	\$ 41.534	\$ 41.534	\$ 41.534	\$ 41.534	\$ 41.534	\$ 41.534
Saldo Anual	\$ 19.897	\$ 44.739	\$ 69.582	\$ 94.425	\$ 119.267	\$ 144.110	\$ 185.644	\$ 227.179	\$ 268.713	\$ 310.248	\$ 351.782	\$ 393.317
Saldo Acumulado	\$ 520.915	\$ 545.758	\$ 570.600	\$ 595.443	\$ 620.286	\$ 645.128	\$ 686.663	\$ 728.197	\$ 769.732	\$ 811.266	\$ 852.801	\$ 894.335

Por último, se calcula cerrar el tercer año con un saldo anual de \$660.385 y uno acumulado de \$1.554.721 (ver TABLA XII).

TABLA XII: Tercer año del flujo de caja

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Ingreso a caja	\$ 559.992	\$ 559.992	\$ 629.991	\$ 629.991	\$ 629.991	\$ 629.991	\$ 629.991	\$ 629.991	\$ 629.991	\$ 629.991	\$ 629.991	\$ 629.991
Cobro por ventas	\$ 559.992	\$ 559.992	\$ 629.991	\$ 629.991	\$ 629.991	\$ 629.991	\$ 629.991	\$ 629.991	\$ 629.991	\$ 629.991	\$ 629.991	\$ 629.991
Egresos a caja	\$ 523.404	\$ 518.458	\$ 571.765	\$ 571.765	\$ 571.765	\$ 571.765	\$ 571.765	\$ 571.765	\$ 571.765	\$ 571.765	\$ 571.765	\$ 571.765
Materiales	\$ 426.458	\$ 426.458	\$ 479.765	\$ 479.765	\$ 479.765	\$ 479.765	\$ 479.765	\$ 479.765	\$ 479.765	\$ 479.765	\$ 479.765	\$ 479.765
Herramientas	\$ 4.946											
Servidor												
Sueldos y salarios	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000
Alquiler	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000
Publicidad	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 2.000
Saldo Neto	\$ 36.588	\$ 41.534	\$ 58.226	\$ 58.226	\$ 58.226	\$ 58.226	\$ 58.226	\$ 58.226	\$ 58.226	\$ 58.226	\$ 58.226	\$ 58.226
Saldo Anual	\$ 36.588	\$ 78.123	\$ 136.349	\$ 194.575	\$ 252.802	\$ 311.028	\$ 369.254	\$ 427.480	\$ 485.707	\$ 543.933	\$ 602.159	\$ 660.385
Saldo Acumulado	\$ 930.924	\$ 972.458	\$ 1.030.684	\$ 1.088.911	\$ 1.147.137	\$ 1.205.363	\$ 1.263.589	\$ 1.321.816	\$ 1.380.042	\$ 1.438.268	\$ 1.496.494	\$ 1.554.721

Gracias a este análisis se obtiene además que el periodo repago es de 20 meses y que en ningún momento los egresos superan el saldo acumulado, por lo tanto, no se requerirá de ningún tipo de financiación o adelanto por parte del cliente para hacer frente a las obligaciones contraídas (Fig. 62).

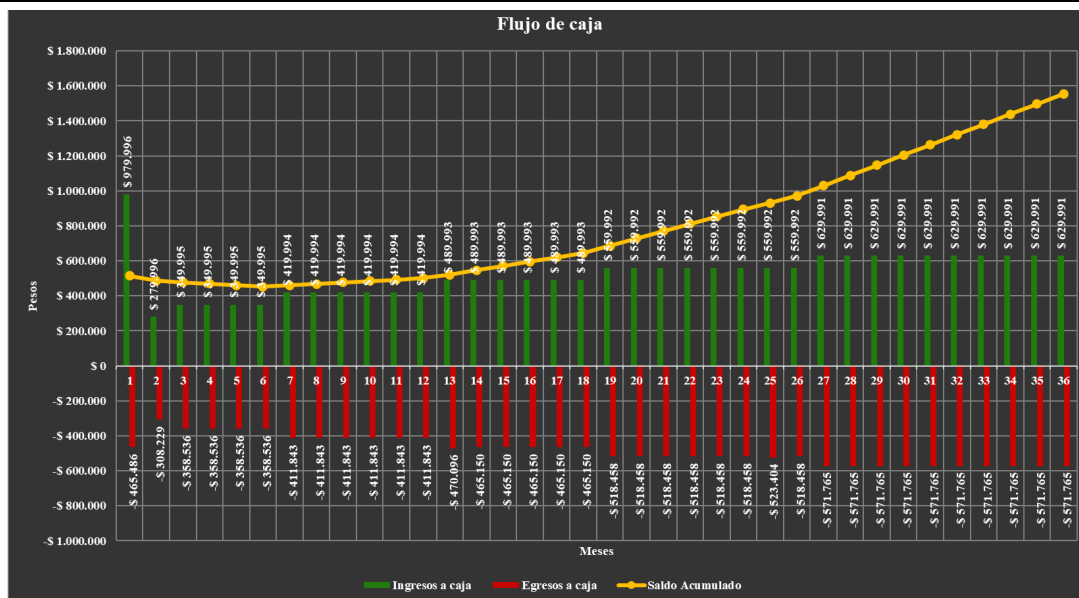


Figura 62: Flujo de caja

7.5.PRINCIPALES INDICADORES

De los flujos de caja detallados en el inciso anterior se obtienen los siguientes indicadores financieros:

- Inversión inicial: \$700.000
- Duración del proyecto: 36 meses
- Ventas estimadas: 260 unidades
- Resultado del primer año: \$ 501.019
- Resultado del segundo año: \$ 393.317
- Resultado del tercer año: \$ 660.385
- Resultado neto acumulado: \$ 1.554.721
- Periodo de repago: 20 meses

Con dicha información se calculó el TIR, VAN, ROI y el punto de equilibrio, lo que permitió tener un mejor panorama acerca de la viabilidad del proyecto.

7.5.1. VALOR NETO ACTUAL (VAN)

El valor actual neto (VAN) es un indicador financiero que consiste en descontar al momento actual todos los flujos de caja originados durante un periodo de tiempo definido. Para ello se elige una tasa de descuento la cual se utilizará para actualizar los flujos futuros a su valor actual (1):

$$VAN = \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{(1+k)^i} - I \quad (1)$$

Donde:

- n : número de periodos.
- FC : flujo de caja.
- k : tasa de descuento.
- I : Inversión inicial.

En este caso, para el cálculo del indicador se optó por excluir la variable inflacionaria del análisis y definir una tasa de descuento del 15%. Reemplazando los valores con los expuestos en el flujo de caja se obtiene lo siguiente:

$$VAN = \$ 467.286$$

7.5.2. TASAS INTERNA DE RETORNO (TIR)

La tasa interna de retorno (TIR) puede utilizarse para estimar la rentabilidad de un proyecto. Específicamente permite comprender la rentabilidad de los cobros y pagos actualizados generados por una inversión. La fórmula de cálculo es similar a la fórmula del VAN, solo que se iguala está a cero (2):

$$\sum_{i=1}^n \frac{F_i}{(1+k)^i} - I = 0 \quad (2)$$

Por lo tanto, el TIR será (3):

$$TIR = \frac{\sum_{i=1}^n F_i - I}{\sum_{i=1}^n i * F_i} \quad (3)$$

Donde:

- n : número de periodos.
- F : flujo de caja.
- k : tasa de descuento.
- I : Inversión inicial.

Reemplazando lo valores se obtiene:

$$TIR = 51\%$$

7.5.3. RETORNO DE INVERSIÓN (ROI)

El retorno de la inversión (ROI) es utilizada para valorar el rendimiento, viabilidad y rentabilidad del proyecto. Básicamente es una relación expresada en porcentaje que compara la utilidad obtenida en relación con la inversión realizada (4):

$$ROI = \frac{\sum_{i=1}^n F_{i-I}}{I} * 100 \tag{4}$$

Donde:

- n : número de periodos.
- F : flujo de caja.
- I : Inversión inicial.

Remplazando los valores por calculados para este proyecto se obtiene:

$$ROI=122\%$$

7.5.4. PUNTO DE EQUILIBRIO

El punto de equilibrio o umbral de rentabilidad es el número mínimo de unidades que se deben comercializar para que el beneficio en ese momento sea cero. En otras palabras, es el punto donde los costos totales igualan a los ingresos.

Para este proyecto se requerirá de una venta mensual mínima de 6 unidades para cubrir así los gastos fijos (Fig. 63). Se estima alcanzar dicho valor el séptimo mes de trabajo (ver apartado 7.2.4).



Figura 63: Punto de equilibrio

7.6. PLAN DE MARKETING

El plan diseñado tiene como objetivo principal iniciar un proceso de branding (anglicismo que hace referencia a la construcción de una marca) mediante el uso de distintas herramientas que, juntas, identifiquen de forma inequívoca a la marca. Dicho proceso busca hacerla conocida, deseada y con una imagen positiva en la mente de los consumidores.

7.6.1. PALETA DE COLORES

Como parte del proceso de branding se escogieron colores buscando transmitir las siguientes sensaciones:

- Verde: naturaleza y seguridad (Exciting red and competent blue: the importance of color in marketing, 2010).
- Blanco: pureza, limpieza y simplicidad.
- Negro: sofisticación y elegancia.
- Gris: exclusividad (Managing Images in Different Cultures: A Cross- National Study of Color Meanings and Preferences, 2000).

Teniendo en cuenta esto, se definió la paleta de colores a utilizar en el proyecto (Fig. 64).

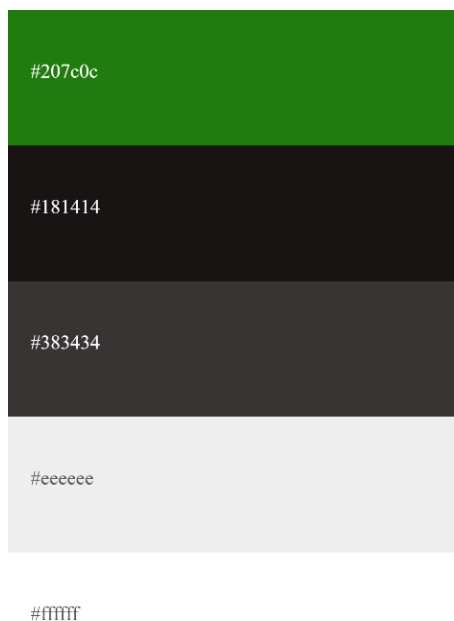


Figura 64: Paleta de colores

7.6.2. IMAGOTIPO

Por otro lado, se diseñó un imagotipo (Fig. 65) atemporal, fácil de recordar y entender y que describe rápidamente el producto. Es verde monocromo, aunque también puede mostrarse en blanco y negro (Fig. 66) sin necesidad de sombras o efectos especiales lo que posibilita adaptarlo rápidamente a cualquier lugar y superficie.

En el logotipo se utilizó una tipografía imprenta mayúscula que busca transmitir simpleza y conformidad visual, mientras que la palabra anglosajona compuesta “Hydroleaf” hace clara referencia a la hidroponía y a las verduras de hoja (“Leaf”) dos elementos que resumen en gran medida el proyecto.

En consonancia, en el isotipo eligió representar estos elementos mediante una hoja sobre la cual se posa una gota.



Figura 65: Imagotipo



Figura 66: Imagotipo en blanco y negro

7.6.3. CAMPAÑA PUBLICITARIA

Como se mencionó con anterioridad se planea invertir un total de \$80.000 durante todo el proyecto. La distribución elegida es de \$5.000 el primer mes, \$3.000 el segundo y \$2000 los 34 meses restantes (Fig. 67).

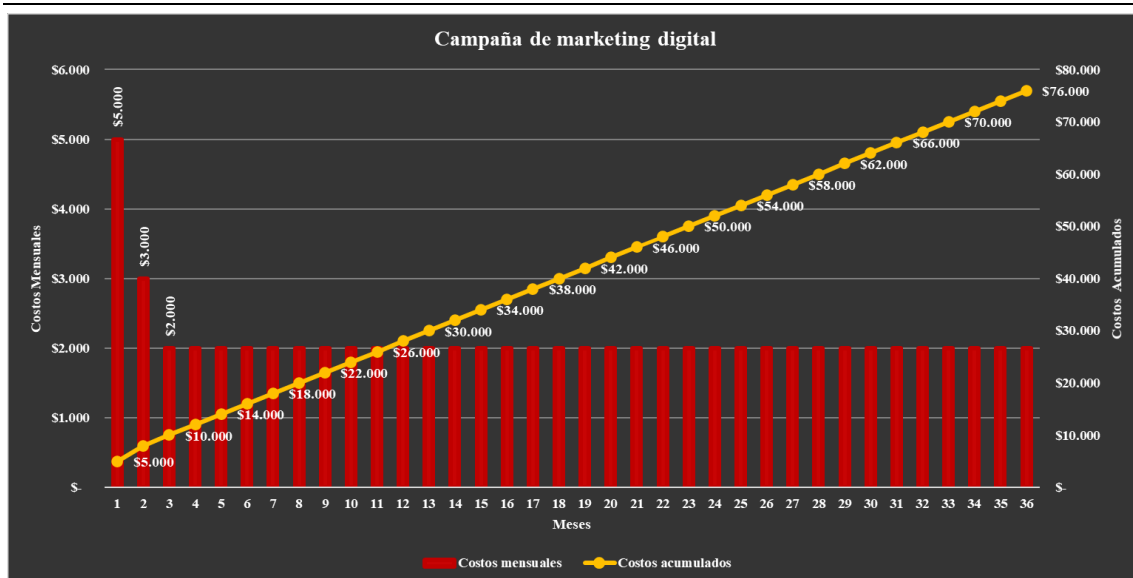


Figura 67: Campaña publicitaria.

Si bien se planea contar con presencia en las redes sociales más importantes, como Instagram, Facebook, YouTube, TikTok, Twitter y WhatsApp, el 100% del presupuesto estará destinado en darle mayor visibilidad a las publicaciones realizadas desde la cuenta oficial de la marca en Instagram. Se eligió dicha red ya es una de las más grandes, con unos 1.221 millones de usuarios activos en el mundo, 21 millones de ellos en Argentina. Esto representa un 22,1% más que en 2020 a nivel global y un 5% en el país. Además, las personas en promedio invierten unas 10,3 horas por mes y el público es muy homogéneo siendo un 51% femenino y un 49% masculino. En cuanto al engagement, la tasa de interacción global es de 0,85%. Dependiendo del formato de contenido la tasa de interacción puede diferir un poco, las fotos por ejemplo alcanzan un 0,88%, los videos un 0,55% y los carruseles un 1,05%. Este último se encuentra crecimiento y es tendencia (Datareportal, 2021)

Para incrementar la visibilidad y el alcance de la cuenta y sus publicaciones, se recurrirá a la plataforma Facebook Ads. Con un costo medio por cada 1000 impresiones (CPM) de \$200 en Argentina (Metricool, 2018), se espera alcanzar las 400.000 impresiones durante los 3 años del proyecto. Teniendo en cuenta la tasa de misionada anteriormente, se espera una interacción de 3.400 potenciales clientes. Se alcanzará la meta ventas de 260 unidades si el 7,65% de ellos adquieren una huerta. Por otro lado, las publicaciones se realizarán en horas pico y se separarán los párrafos en textos más cortos para incentivar al lector a pasar y navegar por todas las imágenes subidas.

8. PRUEBAS REALIZADAS

Para asegurar el correcto funcionamiento del prototipo construido, se realizó una serie de pruebas que son especificadas en la presente sección. Dichos experimentos incluyeron la construcción y desarrollo de la huerta y su correspondiente página web, así como también el testeo de estas y el análisis de los datos recolectados y de los resultados obtenidos.

8.1.CONSTRUCCION DE LA HUERTA

A partir de lo definido anteriormente (ver apartado 5.2) se comenzó integrando todos los componentes electrónicos en la caja adquirida para tal fin (Fig. 68).

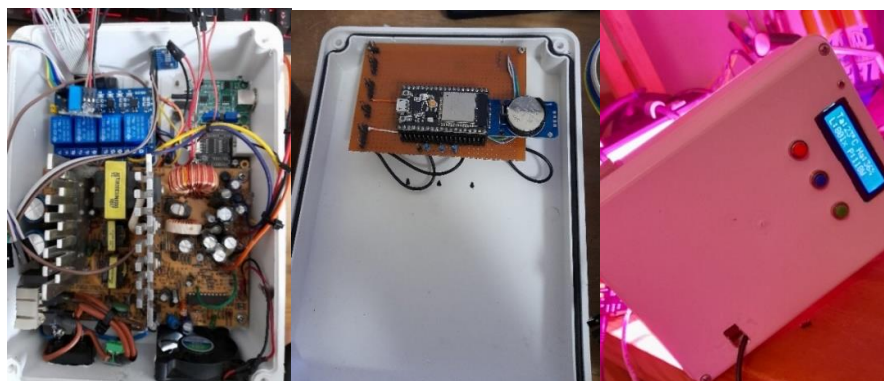


Figura 68: Armado de la caja con la electrónica de la huerta

Luego, teniendo en cuenta el modo de trabajo de los todos los pines del ESP32 (Fig. 69), se procedió a la conexión de los diferentes componentes.

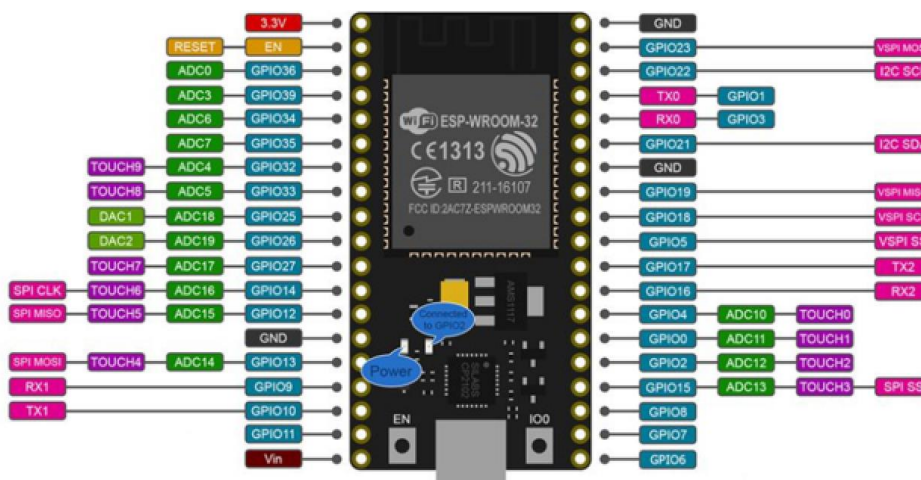


Figura 69: Pinout del ESP-32S

Fuente: <https://content.instructables.com/ORIG/FOL/YWLI/JEOILQ5U/>

FOLYWLIJEOILQ5U.png

Se documentó cada uno de los pines utilizados para posteriormente volcarlo al sketch, evitando de esa manera posibles errores en el funcionamiento (ver TABLA XIII).

TABLA XIII: Conexión de cada uno de los pines utilizados del ESP32-S

ESP32		
PIN	USO	Descripción
4	EFS-04P	Sensor de flujo
13	Botón Rojo	Botón de interacción con menú
15	DS18B20	Sensor de temperatura de la solución
16	4033-1P	Sensor de nivel inferior
17	4033-1P	Sensor de nivel superior
18	Relé	Cooler de ventilación
19	Relé	Cooler de refrigeración LEDs
21	I2C: GY49 MAX44009 / PCF8754 / DS3231 / ADS1115	Sensor de luz / Conversor paralelo a I2C / Real Time Clock / ADC 16 bits
22		
23	Botón Azul	Botón de interacción con menú
25	Relé	Electroválvula
26	Relé	LEDs
27	DHT22	Sensor de temperatura y humedad ambiente
32	Botón Verde	Botón de interacción con menú
33	Relé	Bomba

Para mejorar la precisión en de los sensores analógicos, se usó un ADC de 16bit (ver apartado 5.1.4) el cual cuenta con 4 entradas y una salida I2C (ver TABLA XIV).

TABLA XIV: Conexión de cada uno de los pines utilizados del ADS1115

ADS1115		
PIN	USO	Descripción
A0	DFR0300	Sensor de EC
A1	PH-4502C	Sensor de pH
A2	ACS712	Sensor de corriente
A3	-	-

Con todos los elementos conectados se realizaron las pruebas de rigor, para evaluar el funcionamiento en cada uno de los elementos del sistema (Fig. 70).



Figura 70: Caja con la electrónica terminada

Posteriormente se procedió al armado de la estructura de la huerta, al despliegue de los cables y cañerías y finalmente a la instalación de los elementos que se fijaran a esta, como pueden ser la bomba, la electroválvula o la iluminación (Fig. 71).



Figura 71: Construcción de la huerta

Por último se instaló, conectó y probó la caja con gran parte de la electrónica. En este punto, también se realizaron pequeños ajustes en el sistema para asegurar su correcto funcionamiento (Fig. 72).



Figura 72: Huerta construida con cultivos y el sistema de iluminación activado

Analizando los datos recolectados se obtiene que el 80% de las muestras de temperatura tomadas durante las pruebas se encuentran entre los 17,8°C y 24°C. Los valores oscilaron por día unos 3,4°C en promedio y la temperatura media fue de 18,4°C. En cuanto a la humedad, su valor diario estuvo en el orden del 66,4% con variaciones de 18% durante el transcurso de las 24hs. El 75% de las mediciones se encontraron entre los 60 y 82 puntos porcentuales. Cabe remarcar que no se observaron variaciones significativas de estas variables al momento de encender y apagar la ventilación del sistema, por lo que se deberá analizar en futuras versiones la incorporación de un cooler de mayor potencia.

En base a los elementos utilizados, se estimó una potencia máxima consumida de 172W con la bomba y la iluminación encendida. Construida la solución, se constató que dicho valor ronda los 175W (Fig. 73).

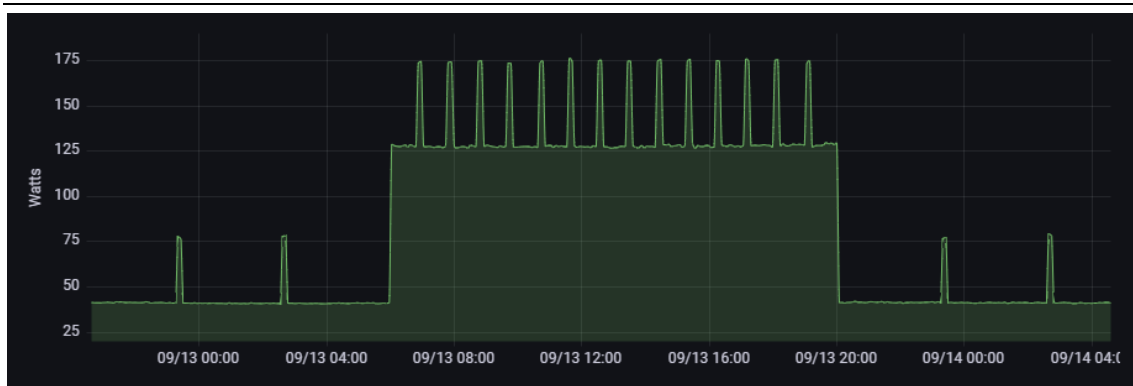


Figura 73: Potencia medida

Tomando 16 riegos diarios de 15 minutos cada uno y 14 horas de iluminación diaria, se obtuvo un consumo mensual de unos 75 kWh (ver TABLA XV), lo que representa unos \$370 pesos mensuales en la factura de luz (Edenor, 2018).

TABLA XV: Consumo eléctrico

Elemento	Potencia [W]		Uso diario [Horas]	Consumo diario [Wh]	Consumo mensual [Wh]
	Esperado	Obtenido			
Bomba	30	46	4	184	5704
Iluminación	102	87	14	1218	37758
Resto de componentes	40	42	24	1008	31248
Total	172	175	-	2410	74710

Cuando las luces se encontraron encendidas, el nivel de iluminación promedio fue de 2482 lux con picos de hasta 3686 lux (Fig. 74). Los valores registrados variaron de acuerdo con la orientación del sensor y a los obstáculos que haya en frente, como pueden ser las hojas de las plantas.

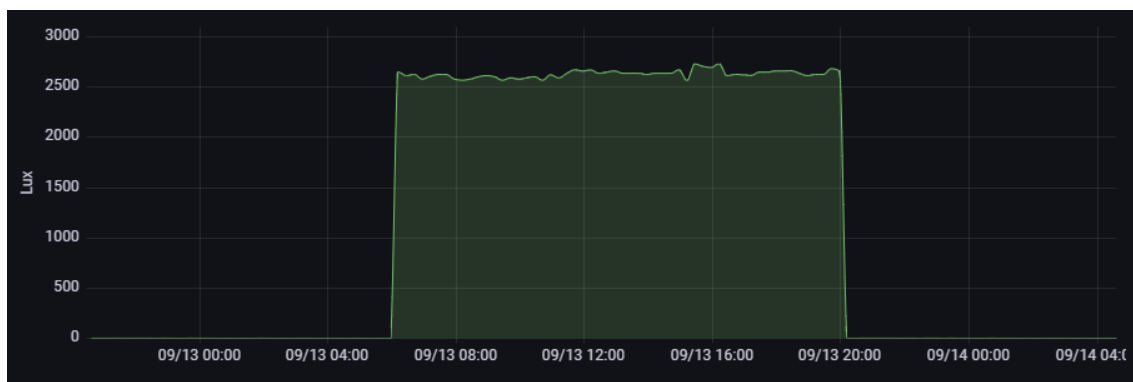


Figura 74: Nivel de iluminación medida

8.2.INTERFAZ WEB

Las pruebas que se realizaron, vinculadas al correcto funcionamiento de la interfaz web, son las que se detallan a continuación:

- Interacción del usuario con la plataforma: Con el motivo de garantizar que cualquier usuario es capaz de utilizar la interfaz web creada, sin adquirir previamente conocimientos técnicos, se hicieron una serie de pruebas en donde se utilizó dicha página. En estas pruebas se aseguró que el usuario sea capaz de gestionar tanto la huerta NFT como las plantas que fueron cultivadas en ella.
- Integridad de los datos: Estas pruebas tuvieron como fin validar el correcto flujo de la información que se intercambia entre la aplicación y el usuario por medio de la interfaz web. Esto implica lo siguiente:
 - El correcto envío de los datos desde y hacia el servidor.
 - El manejo de contraseñas de usuarios de forma encriptada. En otras palabras, las contraseñas fueron almacenadas en la base de datos de manera encriptada mediante HMAC (Hash-based Message Authentication Code), utilizando una clave criptográfica y SHA-512 como función de hash.

En ambas pruebas se obtuvieron resultados satisfactorios. Dichas conclusiones fueron obtenidas mediante la utilización de la interfaz de DBEaver y nodos Debug en Node-RED, los cuales reflejaban los valores que se manejaban durante el uso del programa creado.

- Control de errores del usuario: Al tener una comunicación con un usuario que es capaz de cometer errores al momento de cargar los datos en la página, esta fue desarrollada de forma tal que ante determinados errores, se envían mensajes de alerta al usuario que evitan el intercambio de información errónea con la aplicación. Por ejemplo, cuando se agregan nuevas plantaciones sembradas al sistema, se asigna a un usuario responsable de estos cultivos. Dicho usuario debe estar cargado previamente en la base de datos, o de lo contrario las plantaciones creadas no serán registradas.

Para comprobar que el control de errores al momento de cargar la información funcione correctamente, se cargaron de manera intencionada valores erróneos en la aplicación durante su ejecución, con el fin de observar cómo reaccionaba ante la aparición de dichos datos. Los resultados obtenidos fueron los esperados.

8.3. CULTIVOS

Para asegurar que el usuario final pueda utilizar el sistema desarrollado para cultivar las verduras de hoja que requiera, se hicieron pruebas durante 93 días.

En primera instancia, y con el fin de preparar el sistema, se habilitó el ingreso de agua hasta colmar la capacidad de este. Luego, se encendió la bomba para medir el pH y la EC, asegurando que se encuentren dentro de los márgenes adecuados. En el caso del primero, se debió agregar unas gotas de ácido fosfórico (Fig. 75) para bajar su valor y ubicarlo dentro de los umbrales recomendados.



Figura 75: Corrector de pH

Fuente: https://http2.mlstatic.com/D_NQ_NP_703620-MLA42881372076_072020-W.webp

Por cada litro de agua, se introdujeron primero 2ml de macronutrientes y luego 2ml de micronutrientes (Fig. 76), hasta completar los 40ml de cada uno. Hecho esto, se corroboró que nuevamente los umbrales de EC y pH se encuentren dentro de los valores preestablecidos para la solución nutritiva.



Figura 76: Solución nutritiva concentrada A y B.

Fuente: https://http2.mlstatic.com/D_NQ_NP_955335-MLA44228297814_122020-O.webp

Con la solución lista, se procedió a sembrar las plantas. Para ello, las semillas fueron colocadas en el sustrato el cual, luego de ser humedecido, fue introducido dentro de una maceta

para hidroponía (Fig. 77). Luego, la maceta fue colocada en uno de los huecos de los canales de riego. Para poder identificar a cada planta, se les colocó un señalador plástico al cual se le pegó una etiqueta con el ID asignado por la página web.



Figura 77: Maceta plástica para hidroponía de 6cm de diámetro.

Con el fin de evaluar el desempeño de distintos sustratos, se cultivaron las lechugas en espuma de poliuretano y el resto de las verduras en lana de roca (Fig. 78).



Figura 78: Lana de roca (izquierda) y Espuma de poliuretano(derecha).

Se cultivaron un total de 32 plantas, de las cuales 2 murieron y fueron descartadas, siendo las 30 restantes cultivadas y cosechadas con éxito (ver TABLA XVI). Ambas pérdidas fueron atribuidas a una mala manipulación de las macetas durante el proceso de trasplante a otro canal de riego, que provocó que su sistema radicular fuera dañado.

TABLA XVI: Listado de verduras cultivadas

Planta	Sembradas	Cosechadas	Desechadas
Lechuga	18	17	1
Albahaca	5	4	1
Acelga	3	3	-
Espinaca	3	3	-
Perejil	3	3	-
Total	32	30	2

A lo largo de las semanas, se hicieron diversos controles de pH, EC y nivel de solución. Se corrigieron desvíos en promedio cada 23 días, completando la capacidad del sistema cuando esta bajaba del 50%. A los 20 litros iniciales, se le sumaron 4 recargas de 10 litros, dando un total de 60 litros de solución nutritiva. Si se tiene en cuenta que al momento de detener el sistema se contaba con un remanente de 15 litros, las 30 plantas fueron cultivadas utilizando 45 litros de solución, dando un total de 1,5 litros/planta. Estos valores son similares a los obtenidos en soluciones NFT industriales (InfoNegocios, 2011). Si lo comparamos con las técnicas más utilizadas de riego sobre manto, tenemos una reducción de un 88% si se considera que para cultivar una lechuga se necesitan 13 litros promedio por planta (AguasResiduales, 2019).

Durante los 3 meses de uso no se presentaron problemas con mayores inconvenientes. El tiempo de cultivo por cada planta fue acorde a lo esperado (ver TABLA XVII).

TABLA XVII: Listado de verduras cultivadas

Planta	Cantidad	Días en la huerta		
		Mínimo	Promedio	Máximo
Lechuga	17	47	66	80
Albahaca	4	60	73	83
Acelga	3	79	79	79
Espinaca	3	64	64	64
Perejil	3	43	47	51

El crecimiento de las plantas fue homogéneo, no encontrándose diferencias relacionadas con la disposición de estas en la huerta (Fig. 79). Además, las plantas cosechadas no presentaron signos de déficit o superávit nutrimental (ver ANEXO II).



Figura 79: Plantaciones realizadas

El tiempo invertido en su iniciación, puesta en funcionamiento y mantenimiento, no supero un promedio de 1 hora semanal, llegando incluso al punto de no intervenir el sistema durante 7 días.

Desde el punto de vista del usuario, se estima que el gasto mensual por utilizar la huerta sería de \$598 (ver TABLA XVIII). El estimado contempla todos los elementos necesarios para cultivar con un 100% de ocupación, durante los 365 días del año.

TABLA XVIII: Gastos asociados al cultivo

Ítem	Cantidad	Medida	Valor unitario	Total (\$)
Kit de semillas Verdura de hoja - 12g	1	unidad	\$ 175	\$ 175
Lana De Roca Mineral Hidroponía - 120x10x2.5cm	5	unidad	\$ 345	\$ 1.725
Reductor de pH - 60ml	1	unidad	\$ 220	\$ 220
Kit Solución nutritiva A y B - 300ml c/u	1	unidad	\$ 220	\$ 220
Maceta plástica tipo canasta N°6 100cc plástica - 40 unidades	1	unidad	\$ 400	\$ 400
Consumo eléctrico	12	meses	\$ 370	\$ 4.440
Total anual				\$ 7.180
Total mensual				\$ 598

8.4.ESTUDIO DE MERCADO

Mediante la plataforma Google Forms se encuestó a un total de 243 personas residentes en AMBA (ver ANEXO III). Dicha averiguación tuvo su foco central en los posibles consumidores individuales del producto. Gracias a ellas, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Huerta: en relación con las especificaciones, características y precio de la solución propuesta, se relevaron una serie de puntos a mejorar en futuras releases.
 - Tamaño: de los 59 encuestados que afirman contar con una huerta en su casa, el 84% respondió tener 20 plantas o menos. Por otro lado, 105 de los 184 que no cuentan con una manifestaron que el motivo principal es la falta de espacio. Además, el 96% de las 211 personas que potencialmente tendrían una, respondieron que el tamaño tiene algo o mucha influencia a la hora de elegir una opción. Por estos motivos, se considera conveniente que, para hacer más atractiva la solución, podría reducirse su tamaño quitando un canal de riego y redistribuyendo la posición de algunos de sus componentes.
 - Costo: solo 8 de las 211 personas que tendrían una huerta hidropónica, afirman que el costo de esta no influye a la hora de escogerla. Si a esto le sumamos que la propuesta desarrollada tiene un valor 2,34 veces mayor que la más votada, concluimos que lo más conveniente a la hora de salir al mercado sería reducir su valor de comercialización. Para lograrlo podrían retirarse sensores, como el de corriente o el de flujo, así como también cambiar la madera por otro material, a la vez que se reduce la cantidad necesaria al minimizar su tamaño.
 - Interfaz web: 66 de las 211 respuestas obtenidas expresan que la web no influye en nada a la hora de elegir una opción u otra. Esto lleva a pensar que será necesario incorporar nuevas funcionalidades que la hagan más atractiva para el público en general. En caso de no poder lograrlo, se podría incluso prescindir de ella y así reducir todos los costos asociados.
- Publicidad: desde el punto de vista del marketing, se recabaron una serie de puntos que serán importantes recalcar al momento de realizar la campaña planificada.
 - Reconocimiento: del total de encuestados, el 57% no conocía acerca de la hidroponía. Por consiguiente, uno de los objetivos primordiales será darle visibilidad a esta técnica de cultivo, remarcando todas sus bondades.
 - Mantenimiento: otro de los puntos donde se deberá hacer foco es en el poco mantenimiento que requiere la solución planteada. De los 184 de los encuestados que no cuentan con una huerta, 74 (40,2%) respondieron que no tienen una debido a la falta de tiempo.

-
- Uso: por último, como el 45,7% de los 184 de los encuestados que no cuentan con una huerta manifiestan la falta de conocimiento, se cree que será necesario hacer énfasis en la posibilidad de usarla sin conocimientos previos, ya que se cuenta con una web donde se especifican cada uno de los pasos a seguir, además de un instructivo impreso en papel que se entrega al momento de la compra.

9. DISCUSIÓN

Una vez construido el prototipo funcional, se comparó el alcance final del trabajo realizado con respecto al definido inicialmente. En primer lugar, se propuso comparar los métodos tradicionales de cultivo con el sistema creado, demostrando así su uso eficiente de los recursos (el agua y los nutrientes). Sin embargo, debido a limitaciones de tiempo, recursos y disponibilidad de espacio para crear las huertas que utilicen los métodos tradicionales de cultivo, se compararon las características principales obtenidas en el prototipo creado con los valores teóricos que se obtienen al utilizar tierra como sustrato.

En segundo lugar, se estableció que el sistema debería ser capaz de corregir la temperatura y humedad ambiente en caso de ocurrir algún desvío en alguna de las variables analizadas. Para ello, se pensó en incluir sistema ventilación y otro de generación de vapor. No obstante, una vez puesto en funcionamiento el sistema, se observó que la humedad relativa medida raramente supero los umbrales establecidos, y cuando esto sucedía era algo que ocurría durante poco tiempo. Por lo tanto, se omitió la posibilidad de corregir la humedad relativa presente, reduciendo así el costo y la complejidad del proyecto.

Por último, se pensó conveniente la instalación de una cámara con la cual tener una referencia visual del estado de la huerta en cualquier momento. Sin embargo, debido a sus altos costos asociados, se decidió prescindir de ella en la solución final.

10. CONCLUSIONES

Tal como se expresó inicialmente, el objetivo del presente trabajo consistió en desarrollar un sistema de cultivo hidropónico de tipo NFT automatizado para interiores, con el propósito de que pueda ser utilizado por cualquier persona que adolece de conocimientos técnicos y de modo que sus costos no representen una limitante para su uso. Entre sus posibles consumidores, se destacan las instituciones educativas que quieran instruir a sus alumnos sobre este tipo de técnicas de cultivo, individuos interesados en comenzar a producir sus propios alimentos o

propietarios de pequeños emprendimientos que quieran comenzar con una integración vertical en sus respectivos emprendimientos.

Para poder llevar a cabo la solución, se hizo un análisis exhaustivo con relación a aquellos factores, tanto ambientales como de la solución nutritiva, que pueden impactar en la calidad de las verduras que se cultivan. De esta forma, se pudieron determinar qué componentes fueron necesarios para poder llevar a cabo el desarrollo final.

Por otra parte, se diseñó una página web que permite al usuario gestionar remotamente tanto las huertas como las plantas cultivadas en cada una de ellas, utilizando una interfaz gráfica amigable y adaptada al tipo de público para el que fue pensada la solución. A fin de poder hacer realidad este producto, se implementó una base de datos SQL con un sistema de gestión de base de datos que fuese gratuito y del que se disponga una amplia documentación.

Para el desarrollo del prototipo, fue necesario aplicar una metodología que garantice el trabajo en equipo utilizando los recursos de la forma más eficiente posible. En base a las necesidades del proyecto y los recursos y las herramientas disponibles, se optó por la metodología Kanban. Una vez establecidas las tareas que debía realizar cada integrante del proyecto, gracias al tablero Kanban (creado en Trello) se pudo mantener actualizado a todo el personal del proyecto en qué estado se encontraron cada una de las tareas durante la ejecución del proyecto, evitando así tener que invertir tiempo en reuniones innecesarias.

Con respecto al análisis financiero, se hizo primeramente un análisis FODA que permitió conocer las acciones que se deben llevar a cabo para implementar dicha solución de una manera óptima. Posteriormente, se detallaron la inversión inicial, todos los costos y los ingresos mensuales en un periodo de tres años, pudiendo así obtener un flujo de caja. A partir de todos estos datos, se obtuvieron los principales indicadores que garantizan la rentabilidad económica y financiera del desarrollo construido, como el VAN, TIR, ROI y el periodo de repago, los cuales brindaron resultados beneficiosos en el plazo de tiempo especificado. Además, examinando el mismo enfoque, se manifestó cuál fue el imago tipo utilizado para el producto creado y por qué se utilizó la paleta de colores seleccionada. Finalmente, una vez analizados los resultados de la encuesta, se estableció la solución técnica más adecuada para comercializar el producto final.

Sobre la base de las pruebas realizadas, se puede concluir que el sistema construido es capaz de dar una respuesta adecuada a la problemática para la cual fue planteada la solución inicialmente.

11. BIBLIOGRAFÍA

AguasResiduales. 2019. AguasResiduales. [En línea] 15 de Enero de 2019. [Citado el: 13 de Octubre de 2021.] <https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/cuanta-agua-se-necesita-para-producir-alimentos-BGy9h>.

Allegro Microsystems. 2020. ACS712 - Sensor de Corriente. [En línea] 30 de Enero de 2020. [Citado el: 27 de Mayo de 2021.] <https://www.allegromicro.com/en/search?q=acs712>.

Aosong Electronics Co. 2018. DHT22 - Sensor de Temperatura y Humedad Relativa. [En línea] 26 de Junio de 2018. [Citado el: 25 de Mayo de 2021.] <https://datasheetspdf.com/pdf/792211/Aosong/DHT22/1>.

Arduino. 2021. [En línea] 8 de Abril de 2021. [Citado el: 14 de Julio de 2021.] <https://www.arduino.cc/en/software>.

Beltrano, José y Gimenez, Daniel. 2015. *Cultivo en Hidroponía*. 1a. La Plata, Buenos Aires, Argentina : Editorial de la Universidad de La Plata, 2015. 978-950-34-1208-4.

Bizuet García, Arturo. 2014. *Desarrollo e Instrumentación para un invernadero hidropónico de lechuga Simpson*. México D.F. : Universidad Nacional Autónoma de México, 2014.

Castañares, Ing. Agr. José Luis. 2020. INTA. *ABC de la hidroponía*. [En línea] 28 de Septiembre de 2020. [Citado el: 21 de Marzo de 2021.] https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_amba_-_abc_de_la_hidroponia.pdf.

DatabaseGuide. 2018. *¿Qué es DBeaver?* [En línea] 15 de Marzo de 2018. [Citado el: 13 de Julio de 2021.] <https://database.guide/what-is-dbeaver/>.

Datareportal. 2021. DIGITAL 2021: LOCAL COUNTRY HEADLINES. [En línea] We are Social y Hootsuite, 27 de Enero de 2021. [Citado el: 16 de Septiembre de 2021.] https://datareportal.com/reports/digital-2021-local-country-headlines?utm_source=Reports&utm_medium=PDF&utm_campaign=Digital_2021&utm_content=Single_Report_Promo_Slide.

DBeaver. 2018. *Acerca de DBeaver*. [En línea] 2 de Mayo de 2018. [Citado el: 12 de Julio de 2021.] <https://dbeaver.io/about/>.

DFRobot. 2018. *DFR0300 - Sensor de electroconductividad analógico*. [En línea] 21 de Marzo de 2018. [Citado el: 29 de Mayo de 2021.] https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_Electrical_Conductivity_Sensor__Meter_V2__K=1__SKU_DFR0300#target_1.

Díaz, Laura Gabriela, y otros. 2014. *Alimentos: Historia, Presente y Futuro*. 1a. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina : s.n., 2014. 978-950-00-1048-1.

Eclipse Mosquito. 2020. [En línea] 21 de Abril de 2020. [Citado el: 15 de Julio de 2021.] <https://mosquitto.org/>.

Edenor. 2018. Simulador de Consumo. [En línea] Edenor, 9 de Octubre de 2018. [Citado el: 8 de Octubre de 2021.] <https://simulador.edenor.com/>.

El Holandés Picante. 2016. *Guía de Hidroponía para Principiantes*. [En línea] 4 de Julio de 2016. [Citado el: 21 de Mayo de 2021.] <https://elholandespicante.com/guia-de-hidroponia-para-principiantes/>.

Espressif Systems. 2020. *SoC ESP8266*. [En línea] Octubre de 2020. [Citado el: 24 de Mayo de 2021.] <https://datasheetspdf.com/pdf-file/853652/EspressifSystems/ESP8266/1>.

—. **2019.** *SoC ESP32*. [En línea] Abril de 2019. [Citado el: 24 de Mayo de 2021.] <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1148023/ESPRESSIF/ESP32.html>.

Exciting red and competent blue: the importance of color in marketing. **Labrecque, Lauren y Milne, George. 2010.** 2010, Journal of the Academic Marketing Sciences.

Hidroponía al Cubo. 2017. *Iluminación*. [En línea] 9 de Agosto de 2017. [Citado el: 21 de Mayo de 2021.] <https://hidroponiaalcubo.wordpress.com/iluminacion/>.

Hydro Environment. 2013. *Guía: La luz en tus plantas.* [En línea] 2 de Febrero de 2013.

[Citado el: 21 de Mayo de 2021.]

https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=221.

Hydro Environment . 2012. Hydroenv. *Calidad del agua en hidroponia.* [En línea] Hydro Environment , 24 de Enero de 2012. [Citado el: 21 de Marzo de 2021.]

https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=148.

Infoagro. 2020. infoagro. *Hidroponia: Conductividad óptima para diferentes cultivos sin suelo.* [En línea] Infoagro, 8 de Enero de 2020. [Citado el: 21 de Marzo de 2021.]

https://www.infoagro.com/documentos/hidroponia__conductividad_optima_diferentes_cultivos_suelo.asp.

InfoNegocios. 2011. InfoNegocios. [En línea] 13 de Abril de 2011. [Citado el: 13 de Octubre de 2021.] <https://infonegocios.info/plus/de-como-cultivar-5-000-plantas-de-lechuga-con-250-litros-por-planta-contra-2-500-del-sistema-tradicional>.

Ionos. 2020. *MariaDB y MySQL.* [En línea] 10 de Marzo de 2020. [Citado el: 3 de Junio de 2021.] <https://www.ionos.es/digitalguide/hosting/cuestiones-tecnicas/mariadb-vs-mysql/>.

Kaiser LED. 2020. *Modulo LED COB 50W 200V Full Spectrum.* [En línea] 22 de Febrero de 2020. [Citado el: 29 de Mayo de 2021.] <https://www.kaiserled.com.ar/producto/modulo-led-cob-50w-220v-full-spectrum/>.

Kanbanize. 2018. *Qué es un tablero Kanban.* [En línea] 1 de Junio de 2018. [Citado el: 24 de Julio de 2021.] <https://kanbanize.com/es/recursos-de-kanban/primeros-pasos/que-es-tablero-kanban>.

—. **2018.** *Qué es Kanban.* [En línea] 2 de Junio de 2018. [Citado el: 24 de Julio de 2021.] <https://kanbanize.com/es/recursos-de-kanban/primeros-pasos/que-es-kanban>.

Llamas, Luis. 2016. *DS18B20 - Sensor de Temperatura de Líquidos y Gases.* [En línea] 27 de Junio de 2016. [Citado el: 25 de Mayo de 2021.] <https://www.luisllamas.es/temperatura-liquidis-arduino-ds18b20/>.

—. **2016.** *HD44780 - LCD Hitachi.* [En línea] 15 de Abril de 2016. [Citado el: 25 de Mayo de 2021.] <https://www.luisllamas.es/arduino-lcd-hitachi-hd44780/>.

Managing Images in Different Cultures: A Cross-National Study of Color Meanings and Preferences. **Madden, Thomas, Hewett, Kelly y Roth, Martin.** 2000, Journal of International Marketing, págs. 90-107.

Maxim Integrated. 2008. *DS18B20 - Sensor de Temperatura Digital.* [En línea] 22 de Abril de 2008. [Citado el: 25 de Mayo de 2021.] <https://datasheet.octopart.com/DS18B20U%2B-Maxim-Integrated-datasheet-34182709.pdf>.

—. **2015.** *RTC DS3231.* [En línea] Marzo de 2015. [Citado el: 25 de Mayo de 2021.] <https://datasheet.octopart.com/DS3231SN%23-Maxim-Integrated-datasheet-81855932.pdf>.

—. **2011.** *GY49 MAX44009 - Sensor de luz ambiente.* [En línea] 1 de Enero de 2011. [Citado el: 10 de Julio de 2021.] <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX44009.pdf>.

Metricool. 2018. Estudio Facebook Ads: la publicidad en Facebook basada en datos reales. [En línea] Metricool, 18 de 03 de 2018. [Citado el: 16 de 09 de 2021.] <https://metricool.com/es/estudio-facebook-ads/>.

Microcontrollers Lab. 2019. *ESP32 ADC.* [En línea] 6 de Mayo de 2019. [Citado el: 29 de Mayo de 2021.] <https://microcontrollerslab.com/adc-esp32-measuring-voltage-example/>.

Mouser Electronics. 2010. *DHT11 - Sensor de Temperatura y Humedad Relativa.* [En línea] 10 de Agosto de 2010. [Citado el: 25 de Mayo de 2021.] <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>.

MQTT. 2020. *¿Qué es y cómo funciona MQTT?* [En línea] 31 de Julio de 2020. [Citado el: 4 de Junio de 2021.] <https://mqtt.org/>.

Naylamp Mechatronics. 2018. *NodeMCU ESP32*. [En línea] 30 de Abril de 2018. [Citado el: 24 de Mayo de 2021.] <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/384-nodemcu-32-esp32-wifi.html>.

Node-RED. 2015. *¿Qué es y cómo funciona Node-RED?* [En línea] 25 de Agosto de 2015. [Citado el: 4 de Junio de 2021.] <https://nodered.org/>.

NXP Semiconductors. 2013. *PCF8574*. [En línea] 27 de Mayo de 2013. [Citado el: 25 de Mayo de 2021.] https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/PCF8574_PCF8574A.pdf.

OASIS. 2007. *Manual de Hidroponia*. [En línea] 15 de Marzo de 2007. [Citado el: 19 de Mayo de 2021.] <https://www.oasisgrowersolutions.com/pdf/mx/manual-hidroponia.pdf>.

Pandora FMS. 2019. *Qué es Grafana y cómo podemos emplearlo para la monitorización*. [En línea] 19 de Febrero de 2019. [Citado el: 13 de Julio de 2021.] <https://pandorafms.com/blog/es/que-es-grafana/>.

ProgramarFacil. 2017. *¿Cómo controlar los tiempos con un RTC?* [En línea] 20 de Febrero de 2017. [Citado el: 25 de Mayo de 2021.] <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/reloj-con-arduino-rtc/>.

Puerto Rico Farm Credit. 2021. *Sistemas de Cultivo Hidropónico*. [En línea] 28 de Abril de 2021. [Citado el: 18 de Mayo de 2021.] <https://prfarmcredit.com/sistemas-de-cultivos-hidroponicos/>.

—. **2021.** *Ventajas y Desventajas de los Hiropónicos*. [En línea] 28 de Abril de 2021. [Citado el: 19 de Mayo de 2021.] <https://prfarmcredit.com/ventajas-y-desventajas-de-los-hidroponicos/>.

Raspberry. 2018. *Raspberry Pi 3 Modelo B+*. [En línea] 14 de Marzo de 2018. [Citado el: 24 de Mayo de 2021.] <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>.

Soria Campos, José Armando. 2012. *6° Curso de Hidroponía Básica para Principiantes*. 2012.

-
- Texas Instruments. 2018.** *ADS1115 - ADC*. [En línea] 8 de Enero de 2018. [Citado el: 26 de Mayo de 2021.]
https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1114.pdf?ts=1625747903618&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F.
- Tolocka, Ernesto. 2015.** *Módulo de 4 relés*. [En línea] 9 de Mayo de 2015. [Citado el: 29 de Mayo de 2021.] <https://www.profetolocka.com.ar/2015/05/09/modulo-de-4-reles-para-arduino/>.
- UNESCO. 2020.** *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos*. [En línea] 17 de Junio de 2020. [Citado el: 19 de Mayo de 2021.]
<https://es.unesco.org/themes/water-security/wwap/wwdr/2020>.
- Unit Electronics. 2020.** *PH-4502C - Sensor de pH líquido con electrodo E201-BNC*. [En línea] 5 de Diciembre de 2020. [Citado el: 25 de Mayo de 2021.]
<https://uelectronics.com/producto/sensor-de-ph-liquido/>.
- Universidad Continental. 2014.** [En línea] 11 de Mayo de 2014. [Citado el: 23 de Septiembre de 2021.] <https://blog.continental.edu.pe/uc-virtual/una-herramienta-que-nos-ayudara-con-las-encuestas/>.
- UVREG. 2012.** Cultivo Hidropónico Urbano. *Hidroponía - Métodos hidropónicos*. [En línea] 11 de Junio de 2012. [Citado el: 18 de Mayo de 2021.]
<http://urveg.blogspot.com/p/hidroponia-metodos-hidroponicos.html>.
- Virtualbox. 2007.** [En línea] 15 de Enero de 2007. [Citado el: 19 de Julio de 2021.]
<https://www.virtualbox.org/>.
- Walfront. 2018.** *EFS-04P - Sensor de flujo*. [En línea] 18 de Septiembre de 2018. [Citado el: 10 de Julio de 2021.] <https://www.amazon.com/-/es/interruptor-magn%C3%A9tico-vertical-horizontal-EFS-04P/dp/B075QFNZC7>.

Xataka. 2018. *¿Qué es Raspberry Pi?* [En línea] 15 de Julio de 2018. [Citado el: Mayo de 24 de 2021.] <https://www.xataka.com/makers/cero-maker-todo-necesario-para-empezar-raspberry-pi>.

12. ANEXO

12.1. ANEXO I: SKETCH ESP32

```

//////////////////////////////////Librerias//////////////////////////////////

#include <wifiTool.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <DHT.h>
#include <NTPClient.h>
#include <WiFiUdp.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <RTCLib.h>
#include <Adafruit_ADS1X15.h>
#include <Max44009.h>

//////////////////////////////////Constantes//////////////////////////////////

#define VOLTAGE 220
#define SENSITIVITY 0.124
#define OFFSET_VOLTAGE 2.501
#define OFFSET_CURRENT 0.01
#define MQTT_SERVER "http://hydroleaf.mooo.com/"
#define MQTT_PORT 1883
#define MQTT_USER "seba"
#define MQTT_PASSWORD "1q2w3e4r5T"
#define DHT_TYPE DHT22
#define ADDRESS_LUX 0x4A
#define ADDRESS_LCD 0x27
#define DHT_PIN 27
#define SENSOR_TEMP_PIN 15
#define EC_PIN 0
#define PH_PIN 1
#define CURRENT_PIN 2
#define TOP_BUOY_PIN 17
#define BOTTOM_BUOY_PIN 16
#define FLOW_PIN 4
#define EV_PIN 25
#define PUMP_PIN 33
#define FAN_LED_PIN 19
#define LED_PIN 26
  
```

```

#define FAN_PIN 18
#define BUTTOM_RED_PIN 13
#define BUTTOM_BLUE_PIN 23
#define BUTTOM_GREEN_PIN 32

//////////Objetos//////////

WifiTool wifiTool;
RTC_DS3231 rtc;
LiquidCrystal_I2C lcd(ADDRESS_LCD, 16, 2);
DHT dht(DHT_PIN, DHT_TYPE);
WiFiUDP ntpUDP;
NTPClient timeClient(ntpUDP, "0.south-america.pool.ntp.org",-10800,6000);
OneWire sensor(SENSOR_TEMP_PIN);
DallasTemperature sensor_temp(&sensor);
WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
Adafruit_ADS1115 ads;
Max44009 Lux(ADDRESS_LUX);

//////////Variables//////////

const byte row_num_menu = 7,
        num_wat = 3,
        num_but = 3,
        num_relay=5,
        num_read = 30,
        num_sched = 40,
        str_len_date_time=21;
byte key = 0,
    water[num_wat] = {TOP_BUOY_PIN,BOTTOM_BUOY_PIN,FLOW_PIN},
    buttons[num_but] = {BUTTOM_RED_PIN,BUTTOM_BLUE_PIN,BUTTOM_GREEN_PIN},
    relay[num_relay] = {FAN_LED_PIN,LED_PIN,EV_PIN,PUMP_PIN,FAN_PIN};
int pos = 0,
    prev_pos = 1,
    status = 0,
    prev_status=0,
    curs=0,
    number_irrigations=14,
    number_night_irrigations=2,
    duration_irrigations=10,
    start_time=6,
    stop_time=20,
    temp_amb_max=25;
char date_time_string[str_len_date_time];
unsigned long dif=0,
    time_ms=0,
    pump_time_ms=0,
    led_time_ms=0,
    ev_time_ms=0,
    pump_stop=600000,
    led_stop= 21600000,
    ev_stop=60000,
    sampling_start=50000,
    sampling_stop=60000;
float ta_readings[num_read],
    ha_readings[num_read],
    l_readings[num_read],
  
```



```

    ts_readings[num_read],
    pH_readings[num_read],
    t_amb=0.0,
    h_amb=0.0,
    l=0.0,
    l_value_total=0.0,
    t_sol=0.0,
    ts_value_total=0.0,
    p=0.0,
    Imax=0.0,
    Imin=0.0,
    pH=0.0,
    ec=0.0,
    timetable[num_sched][2],
    next_irrigation=0.0;
int16_t      ec_readings[num_read],
    pH_analog_value_total=0,
    ec_analog_value_total=0;
DateTime date_time;

//////////Setup////////////////////////////////////

void setup() {
    byte i = 0;
    time_ms=millis();
    Serial.begin(115200);
    lcd.begin();
    lcd.backlight();
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Inicializando...");
    wifiTool.begin(false);
    if (!wifiTool.wifiAutoConnect()){
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(1,0);
        lcd.print("Conectese a la ");
        lcd.setCursor(1,1);
        lcd.print("red ");
        lcd.print((char)34);
        lcd.print("Hydroleaf");
        lcd.print((char)34);
        wifiTool.runApPortal();
    }
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(1,0);
    lcd.print("Conexion WiFi");
    lcd.setCursor(2,1);
    lcd.print("exitosa");
    delay(2000);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(1,0);
    lcd.print("Conectando al ");
    lcd.setCursor(1,1);
    lcd.print("servidor MQTT");
    delay(2000);
    client.setServer(MQTT_SERVER, MQTT_PORT);
    mqtt_connect();

```

```

if(client.connected()){
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(1,0);
    lcd.print("Conexion MQTT");
    lcd.setCursor(2,1);
    lcd.print("exitosa");
    publish_mqtt("/Huerta/evento","Conectada");
else {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(1,0);
    lcd.print("Conexion MQTT");
    lcd.setCursor(2,1);
    lcd.print("fallida");
}
    delay(2000);
    client.setCallback(callback);
    publish_mqtt("/PUMP","OFF");
    publish_mqtt("/EV","OFF");
    publish_mqtt("/LED","OFF");
    publish_mqtt("/FAN","OFF");
    Wire.begin();
    timeClient.begin();
    timeClient.update();
    time_ms=millis();
    while (!rtc.begin() && millis()-time_ms<sampling_stop) {
        delay(2000);
    }
    rtc.adjust(DateTime(timeClient.getEpochTime()));
    date_time = rtc.now();
    sprintf( date_time_string, "%02hhu/%02hhu/%u
%02hhu:%02hhu:%02hhu",date_time.day(), date_time.month(), date_time.year(),
date_time.hour(), date_time.minute(),date_time.second());
    publish_mqtt("/Reloj/evento",date_time_string);
    sensor_temp.begin();
    for (i = 0; i < num_read; i++){
        ta_readings[i]=0;
        ha_readings[i]=0;
        l_readings[i]=0;
        pH_readings[i]=0;
        ts_readings[i]=0;
        ec_readings[i]=0;
    }
    ads.begin();
    for (i = 0; i < num_wat; i++) {
        pinMode(water[i], INPUT_PULLUP);
    }
    for (i = 0; i < num_but; i++) {
        pinMode(buttons[i], INPUT_PULLUP);
    }
    for (i = 0; i < num_relay-1; i++) {
        pinMode(relay[i], OUTPUT);
        digitalWrite(relay[i], HIGH);
    }
    pinMode(relay[num_relay-1], OUTPUT);
    digitalWrite(relay[num_relay-1], LOW);
    dht.begin();
    schedule();
    time_ms=millis();

```

```

}

////////////////////Loop////////////////////

void loop() {
  dif=millis()-time_ms;
  date_time= rtc.now ();
  if (!client.connected() && dif>=sampling_stop) {
    mqtt_connect();
    if (client.connected()) {
      if(digitalRead(relay[1])==LOW){
        publish_mqtt("/LED", "OFF");
      }else{
        publish_mqtt("/LED", "ON");
      }
      if(digitalRead(relay[2])==LOW){
        publish_mqtt("/EV", "OFF");
      }else{
        publish_mqtt("/EV", "ON");
      }
      if(digitalRead(relay[3])==LOW){
        publish_mqtt("/PUMP", "OFF");
      }else{
        publish_mqtt("/PUMP", "ON");
      }
      if(digitalRead(relay[4])==HIGH){
        publish_mqtt("/FAN", "ON");
      }else{
        publish_mqtt("/FAN", "OFF");
      }
    }
  }
  if(dif>sampling_start){
    get_amb_temp(dif);
    get_potency(dif);
    get_luminance(dif);
    get_amb_hum(dif);
    if(digitalRead(relay[3])==LOW){
      get_sol_ph (dif);
      get_sol_temp(dif);
      get_sol_ec (dif);
    }
    if(curs>=num_read-1){
      curs=0;
    }else {
      curs++;
    }
  }

  if(digitalRead(water[2])==HIGH && digitalRead(relay[3])==LOW &&
dif>=sampling_stop){
    publish_mqtt("/Flujo/evento", "Obstruido");
    pump_time_ms=0;
    prev_status=!prev_status;
    digitalWrite(relay[3], HIGH);
    publish_mqtt("/PUMP", "OFF");
  }
  if(dif>=sampling_stop){

```

```

    if(irrigation(date_time) && digitalRead(relay[3])==HIGH &&
(pump_time_ms==0 || millis()-pump_time_ms>=pump_stop)){
    if(water_level ()==0 || water_level ()==3){
        publish_mqtt("/Nivel/evento","Bajo");
    }else{
        pump_time_ms=0;
        prev_status=!prev_status;
        digitalWrite(relay[3], LOW);
        publish_mqtt("/PUMP","ON");
    }
    }else if(!irrigation(date_time) && digitalRead(relay[3])==LOW
&& (pump_time_ms==0 || millis()-pump_time_ms>=pump_stop)){
        pump_time_ms=0;
        prev_status=!prev_status;
        digitalWrite(relay[3], HIGH);
        publish_mqtt("/PUMP","OFF");
    }
    if(date_time.hour()>=start_time && date_time.hour()<stop_time
&& digitalRead(relay[1])==HIGH && (led_time_ms==0 || millis()-
led_time_ms>=led_stop)){
        led_time_ms=0;
        prev_status=!prev_status;
        digitalWrite(relay[0], LOW);
        digitalWrite(relay[1], LOW);
        publish_mqtt("/LED","ON");
    }else if ((date_time.hour()<start_time ||
date_time.hour()>=stop_time) && digitalRead(relay[1])==LOW &&
(led_time_ms==0 || millis()-led_time_ms>=led_stop)){
        led_time_ms=0;
        prev_status=!prev_status;
        digitalWrite(relay[0], HIGH);
        digitalWrite(relay[1], HIGH);
        publish_mqtt("/LED","OFF");
    }
    if(digitalRead(relay[4])==HIGH && t_amb<temp_amb_max*0.6){
        prev_status=!prev_status;
        digitalWrite(relay[4],LOW);
        publish_mqtt("/FAN","OFF");
    }else if(digitalRead(relay[4])==LOW && t_amb>=temp_amb_max){
        prev_status=!prev_status;
        digitalWrite(relay[4],HIGH);
        publish_mqtt("/FAN","ON");
    }
    curs=0;
    time_ms=millis();
}
if(digitalRead(relay[2])==LOW && (water_level ()>=2 || millis()-
ev_time_ms>=ev_stop)){
    ev_time_ms=0;
    prev_status=!prev_status;
    digitalWrite(relay[2], HIGH);
    publish_mqtt("/EV","OFF");
    if(water_level ()>=2){
        publish_mqtt("/Nivel/evento","Alto");
    }
}
}
key = get_key(buttons);
get_pos_and_status(key);

```

```

    print_menu_lcd(dif);
    client.loop();
}

//////////Funciones//////////

void publish_mqtt (const char *parameter,const char *value){
    char sensor[]= "ESP32_";
    int str_len_sensor=(sizeof(sensor)/sizeof(sensor[0]));
    int str_len_parameter=(sizeof(parameter)/sizeof(parameter[0]));
    int str_len_mac = WiFi.macAddress().length()+1;
    int str_len_topic=str_len_sensor+str_len_mac+str_len_parameter+1;
    char mac[str_len_mac];
    WiFi.macAddress().toCharArray(mac, str_len_mac);
    char topic[str_len_topic]="";
    strcat(topic,sensor);
    strcat(topic,mac);
    strcat(topic,parameter);
    client.publish(topic,value);
}

void mqtt_connect() {
    unsigned long t_ms=millis();
    do{
        if (client.connect("ESP32",MQTT_USER,MQTT_PASSWORD)) {

            client.subscribe("RASP_b8:27:eb:39:0a:43/ESP32_24:0A:C4:59:45:C8/#");
            }else {
                delay(100);
            }
        }while (!client.connected() && millis()-t_ms<2000);
    }

void callback(char* topic, byte* message, unsigned int length) {
    String messageTemp;
    for (int i = 0; i < length; i++) {
        messageTemp += (char)message[i];
    }
    if (String(topic) ==
"RASP_b8:27:eb:39:0a:43/ESP32_24:0A:C4:59:45:C8/LED"){
        if(messageTemp == "ON"){
            digitalWrite(relay[0], LOW);
            digitalWrite(relay[1], LOW);
            prev_status=!prev_status;
            led_time_ms=millis();
        }else if(messageTemp == "OFF"){
            digitalWrite(relay[0], HIGH);
            digitalWrite(relay[1], HIGH);
            prev_status=!prev_status;
            led_time_ms=millis();
        }
    }else if (String(topic) ==
"RASP_b8:27:eb:39:0a:43/ESP32_24:0A:C4:59:45:C8/PUMP"){
        if(messageTemp == "ON"){
            if(water_level ()==3 || water_level ()==0){
                publish_mqtt("/Nivel/evento","Bajo");
            }else{
                digitalWrite(relay[3], LOW);
            }
        }
    }
}

```



```

void schedule() {
    byte i=1;
    float irrigation_lapsus = 0.0, start_hours=0.0, stop_hours=0.0;
    while(i<=num_sched) {
        timetable[i-1][0]=0;
        timetable[i-1][1]=0;
        i++;
    }
    i=1;
    irrigation_lapsus = (float)((stop_time-
start_time)/(float)(number_irrigations+1));
    while (i<=number_irrigations) {
        start_hours=(float)start_time+(float)(irrigation_lapsus*i)-
(float)(duration_irrigations/(60.0*2.0));
        if (start_hours>=24) {
            start_hours=start_hours-24;
        }
        stop_hours=start_hours+(float)(duration_irrigations/60.0);
        if (stop_hours>=24) {
            stop_hours=stop_hours-(int)stop_hours;
        }
        timetable[i-1][0]=start_hours;
        timetable[i-1][1]=stop_hours;
        i++;
    }
    i=1;
    irrigation_lapsus = (float)((24-(stop_time-
start_time))/(float)(number_night_irrigations+1));
    while (i<=number_night_irrigations) {
        start_hours=(float)stop_time+(float)(irrigation_lapsus*i)-
(float)(duration_irrigations/(60.0*2.0));
        if (start_hours>=24) {
            start_hours=start_hours-24;
        }
        stop_hours=start_hours+(duration_irrigations/60.0);
        if (stop_hours>=24) {
            stop_hours=stop_hours-(int)stop_hours;
        }
        timetable[number_irrigations+i-1][0]=start_hours;
        timetable[number_irrigations+i-1][1]=stop_hours;
        i++;
    }
}

bool irrigation(DateTime dat) {
    byte i=0;
    float hours_day = dat.hour() + (dat.minute() / 60.0);
    while (i<number_irrigations+number_night_irrigations) {
        if(i!=(number_irrigations+number_night_irrigations-1)) {
            if((hours_day>timetable[i][0] &&
hours_day<=timetable[i+1][0])) {
                next_irrigation=timetable[i+1][0];
            }
        }
        if(hours_day>=timetable[i][0] && hours_day<=timetable[i][1]) {
            return true;
        }
        i++;
    }
}

```

```

    }
    return false;
}

int water_level (){
    bool top_buoy=1;
    bool bottom_buoy=1;
    bottom_buoy=digitalRead(water[1]);
    delay(100);
    top_buoy=digitalRead(water[0]);
    if(top_buoy==0 && bottom_buoy==1){
        delay(100);
        top_buoy=digitalRead(water[0]);
        delay(100);
        bottom_buoy=digitalRead(water[1]);
        if(top_buoy==0 && bottom_buoy==1){
            return 3;
        }else{
            return (int)bottom_buoy+(int)top_buoy;
        }
    }else{
        return (int)bottom_buoy+(int)top_buoy;
    }
    return 1;
}

void get_potency (unsigned long d){
    int16_t analog_value=0;
    float pot=0.0,volts_value=0.0,current=0.0;
    analog_value=ads.readADC_SingleEnded(0);
    volts_value = ads.computeVolts(analog_value);
    current=(float)(volts_value-OFFSET_VOLTAGE)/SENSITIVITY;
    if(current>Imax){
        Imax=current;
    }
    if(current<Imin){
        Imin=current;
    }
    if(d>=sampling_stop){
        current=((Imax-Imin)/2)-OFFSET_CURRENT;
        pot = abs(current*0.707*VOLTAGE);
        if (isnan(pot) || pot>6600) {
            publish_mqtt("/ACS712/evento","Lectura erronea");
        }else{
            p=pot;
        }
        char po[7];
        sprintf(po, "%.2f", p);
        publish_mqtt("/ACS712",po);
        Imax=0;
        Imin=0;
    }
}

void get_luminance(unsigned long d) {
    float l_value_avg=0.0;
    l_value_total = l_value_total - l_readings[curs];
    l_readings[curs]=Lux.getLux();
}

```



```

    l_value_total = l_value_total + l_readings[curs];
    if(d>=sampling_stop){
        l_value_avg=l_value_total/num_read;
        if (isnan(l_value_avg) || l_value_avg<0 || l_value_avg>40000) {
            publish_mqtt("/GY49/evento","Lectura erronea");
            l_value_total=0;
            l_readings[curs]=0;
        }else{
            l=l_value_avg;
        }
        char lu[7];
        sprintf(lu, "%.2f", l);
        publish_mqtt("/GY49",lu);
    }
}

void get_amb_temp(unsigned long d) {
    float ta_value_avg=0.0,ta_value_total=0.0;
    ta_readings[curs]= dht.readTemperature();
    if(d>=sampling_stop){
        for(byte i =0;i<num_read;i++){
            ta_value_total = ta_value_total + ta_readings[i];
        }
        ta_value_avg=ta_value_total/num_read;
        if (isnan(ta_value_avg) || ta_value_avg<-5 || ta_value_avg>60)
    {
        publish_mqtt("/DHT22/temperatura/evento","Lectura
erronea");
    }else{
        t_amb=ta_value_avg;
    }
    char tamb[7];
    sprintf(tamb, "%.2f", t_amb);
    publish_mqtt("/DHT22/temperatura",tamb);
}
}

void get_amb_hum(unsigned long d) {
    float ha_value_avg=0.0,ha_value_total=0.0;
    ha_readings[curs]= dht.readHumidity();
    if(d>=sampling_stop){
        for(byte i =0;i<num_read;i++){
            ha_value_total = ha_value_total + ha_readings[i];
        }
        ha_value_avg=ha_value_total/num_read;
        if (isnan(ha_value_avg) || ha_value_avg<0 || ha_value_avg>100)
    {
        publish_mqtt("/DHT22/humedad/evento","Lectura erronea");
    }else{
        h_amb=ha_value_avg;
    }
    char hamb[7];
    sprintf(hamb, "%.2f", h_amb);
    publish_mqtt("/DHT22/humedad",hamb);
    curs=0;
}
}

```

```

void get_sol_pH (unsigned long d){
    int16_t pH_analog_value=0;
    float pH_volts=0.0,pH_value_avg=0.0,pH_value_total=0.0;
    pH_analog_value = ads.readADC_SingleEnded(1);
    pH_volts = ads.computeVolts(pH_analog_value);
    pH_readings[curs]=-5.88 * pH_volts + 22;
    if(d>=sampling_stop){
        for(byte i =0;i<num_read;i++){
            pH_value_total = pH_value_total + pH_readings[i];
        }
        pH_value_avg=pH_value_total/num_read;
        if (isnan(pH_value_avg) || pH_value_avg>14 || pH_value_avg<0) {
            publish_mqtt("/PH4502C/evento","Lectura erronea");
        }else{
            pH=pH_value_avg;
        }
        char pHval[7];
        sprintf(pHval, "%.2f", pH);
        publish_mqtt("/PH4502C",pHval);
    }
}

void get_sol_temp(unsigned long d) {
    float ts_value_avg=0.0;
    sensor_temp.requestTemperatures();
    ts_value_total = ts_value_total - ts_readings[curs];
    ts_readings[curs]= sensor_temp.getTempCByIndex(0);
    ts_value_total = ts_value_total + ts_readings[curs];
    if(d>=sampling_stop){
        ts_value_avg=ts_value_total/num_read;
        if (isnan(ts_value_avg) || ts_value_avg<-5 || ts_value_avg>60)
    {
            publish_mqtt("/DS18B20/evento","Lectura erronea");
            ts_value_total=0;
            ts_readings[curs]=0;
        }else{
            t_sol=ts_value_avg;
        }
        char tsol[7];
        sprintf(tsol, "%.2f", t_sol);
        publish_mqtt("/DS18B20",tsol);
    }
}

void get_sol_ec (unsigned long d){
    float
ec_analog_value_avg=0.0,ec_volts=0.0,ec_temp_coef=0.0,ec_volt_coef=0.0,ec_v
alue=0.0;
    ec_analog_value_total = ec_analog_value_total - ec_readings[curs];
    ec_readings[curs] = ads.readADC_SingleEnded(2);
    ec_analog_value_total = ec_analog_value_total + ec_readings[curs];
    if(d>=sampling_stop){
        ec_analog_value_avg = ec_analog_value_total / num_read;
        ec_volts = ads.computeVolts(ec_analog_value_avg)*1000;
        ec_temp_coef=1.0+0.0185*(t_sol-25.0);
        ec_volt_coef=(float)ec_volts/ec_temp_coef;
        ec_value=(6.98*ec_volt_coef-109.41)/1000.0;
        if (isnan(ec_value) || ec_value>4000 || ec_value<0) {

```

```

        publish_mqtt("/DFR0300/evento","Lectura erronea");
        ec_analog_value_total=0;
        ec_readings[curs]=0;
    }else{
        ec=ec_value;
    }
    char ecval[7];
    sprintf(ecval, "%.2f", ec);
    publish_mqtt("/DFR0300",ecval);
    curs=0;
}
}

byte get_key(byte args[]) {
    byte b=0;
    for(byte i=0; i<num_but; i++){
        if(digitalRead(args[i]) == LOW){
            delay(100);
            if(digitalRead(args[i]) == LOW){
                b=i+1;
            }
        }
    }
    return b;
}

void get_pos_and_status(byte k){
    if(k == 1){
        statuss = 0;
        pos--;
        if(pos < 0 ){
            pos = row_num_menu - 1;
        }
    }
    if(k == 2){
        statuss=1;
    }
    if(k == 3){
        statuss = 0;
        pos++;
        if( pos > row_num_menu - 1){
            pos = 0;
        }
    }
}

void print_menu_lcd(unsigned long d){
    if(prev_pos!=pos || prev_status!=statuss || d>=sampling_stop){
        lcd.clear();//
        if(pos==0){
            lcd.setCursor(0,0);
            lcd.print("Ta:");
            lcd.print(t_amb,0);
            lcd.print((char)223);
            lcd.print("C ");
            lcd.print("Ha:");
            lcd.print(h_amb,0);
            lcd.print((char)37);
        }
    }
}

```

```

        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("L:");
        lcd.print(l,0);
        lcd.print("lx ");
        lcd.print("P:");
        lcd.print(p,0);
        lcd.print("W ");
    }else if(pos==1){
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("pH:");
        lcd.print(pH,1);
        lcd.print(" ");
        lcd.print("Ts:");
        lcd.print(t_sol,0);
        lcd.print((char)223);
        lcd.print("C");
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("EC:");
        lcd.print(ec,2);
        lcd.print("uS");
        lcd.print((char)47);
        lcd.print("cm");
    }else if(pos==2){
        lcd.setCursor(1,0);
        lcd.print("Proximo Riego");
        lcd.setCursor(5,1);
        int hour_next_irrigation=(int)next_irrigation;
        int min_next_irrigation=(int)((next_irrigation-
(int)next_irrigation)*60);
        lcd.print(hour_next_irrigation);
        lcd.print((char)58); // :
        lcd.print(min_next_irrigation);
        lcd.print("hs");
    }else if(pos==3){
        if(status==1){
            if (digitalRead(relay[3])==LOW) {
                digitalWrite(relay[3],HIGH);
                publish_mqtt("/PUMP","OFF");
                pump_time_ms=millis();
            }else if (water_level()!=0 && water_level()!=3){
                digitalWrite(relay[3],LOW);
                publish_mqtt("/PUMP","ON");
                pump_time_ms=millis();
            }else{
                publish_mqtt("/Nivel/evento","Bajo");
            }
        }
        lcd.setCursor(4,0);
        lcd.print("BOMBA");
        if (digitalRead(relay[3])==LOW) {
            lcd.setCursor(11,0);
            lcd.print("ON");
        }else {
            lcd.setCursor(11,0);
            lcd.print("OFF");
        }
    }else if(pos==4){
        if(status==1){

```

```

    if (digitalRead(relay[2])==LOW) {
      digitalWrite(relay[2],HIGH);
      publish_mqtt("/EV","OFF");
      ev_time_ms=millis();
    }else if(digitalRead(relay[3])==HIGH &&
water_level()<2){
      digitalWrite(relay[2],LOW);
      publish_mqtt("/EV","ON");
      ev_time_ms=millis();
    }else if(water_level()>=2){
      publish_mqtt("/Nivel/evento","Alto");
    }
  }
  lcd.setCursor(4,0);
  lcd.print("AGUA");
  if (digitalRead(relay[2])==LOW){
    lcd.setCursor(10,0);
    lcd.print("ON");
  }else {
    lcd.setCursor(10,0);
    lcd.print("OFF");
  }
}
}else if(pos==5){
  if(status==1){
    if (digitalRead(relay[0])==LOW) {
      digitalWrite(relay[0],HIGH);
      digitalWrite(relay[1],HIGH);
      publish_mqtt("/LED","OFF");
      led_time_ms=millis();
    }else{
      digitalWrite(relay[0],LOW);
      digitalWrite(relay[1],LOW);
      publish_mqtt("/LED","ON");
      led_time_ms=millis();
    }
  }
  lcd.setCursor(4,0);
  lcd.print("LEDs");
  if (digitalRead(relay[0])==LOW){
    lcd.setCursor(10,0);
    lcd.print("ON");
  }else {
    lcd.setCursor(10,0);
    lcd.print("OFF");
  }
}
}else if(pos==6){
  if(status==1){
    if (digitalRead(relay[4])==HIGH){
      digitalWrite(relay[4],LOW);
      publish_mqtt("/FAN","OFF");
    }else{
      digitalWrite(relay[4],HIGH);
      publish_mqtt("/FAN","ON");
    }
  }
  lcd.setCursor(4,0);
  lcd.print("FAN");
  if (digitalRead(relay[4])==HIGH){

```

```

        lcd.setCursor(10,0);
        lcd.print("ON");
    }else {
        lcd.setCursor(10,0);
        lcd.print("OFF");
    }
}
prev_pos=pos;
prev_status=statuss;
statuss=0;
}
}

```

12.2. ANEXO II: COSECHAS

Se cultivaron 18 lechugas de las cuales 17 fueron cultivadas con un tamaño acorde al tipo de planta y la restante desechada por su falta de desarrollo y posterior marchitez (Fig. 80).



Figura 80: Lechuga cosechada

Las 3 acelgas cultivadas fueron retiradas de la huerta luego de que estas alcanzaran un tamaño acorde al esperado para este tipo de plantas (Fig. 81).



Figura 81: Acelga cosechada

En el caso de las albahacas cultivadas 3 de 4 fueron cosechada con éxito mientras que la restante fue descartada por su falta de crecimiento (Fig. 82).



Figura 82: Albahaca cosechada

Al cabo de 47 días promedio por perejil, se cultivaron con éxito las 3 plantas cultivadas en la huerta (Fig. 83).



Figura 83: Perejil cosechado

Por último, ante la falta de tiempo se retiraron las 3 espinacas cultivadas en un estado temprano de desarrollo, obteniendo verduras con un volumen inferior al que se comercializa comúnmente (Fig. 84).



Figura 84: Espinaca cosechada

12.3. ANEXO III: ENCUESTA

Se realizaron un total de 243 encuestas a personas residentes en AMBA. De ellos, 112 fueron hombres y 128 mujeres (Fig. 85).

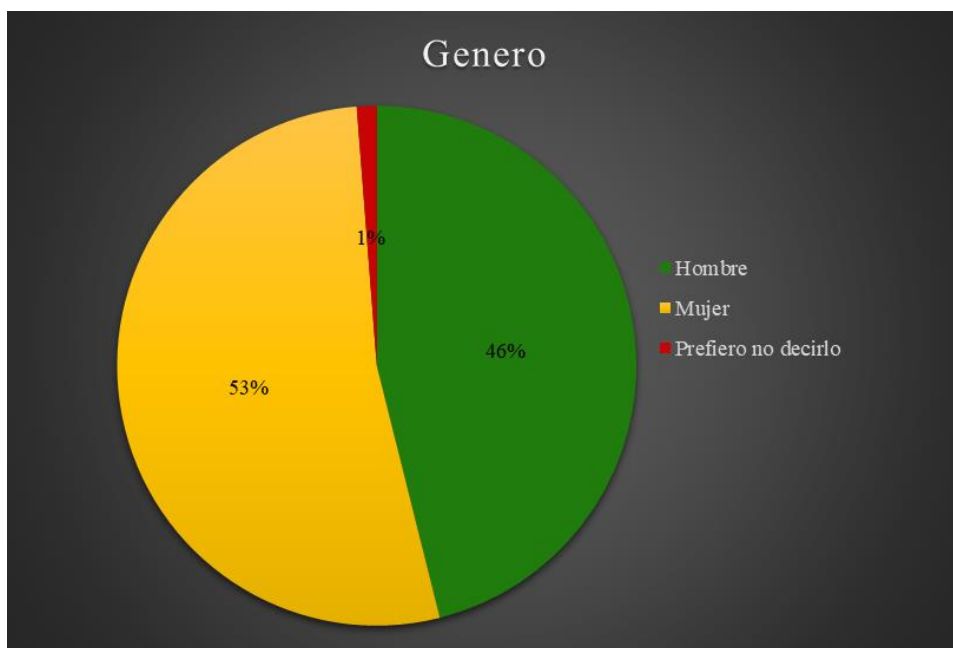


Figura 85: Proporción de género.

El 81,5%, es decir 198 encuestas, corresponden a menores de 40 años (Fig. 86).

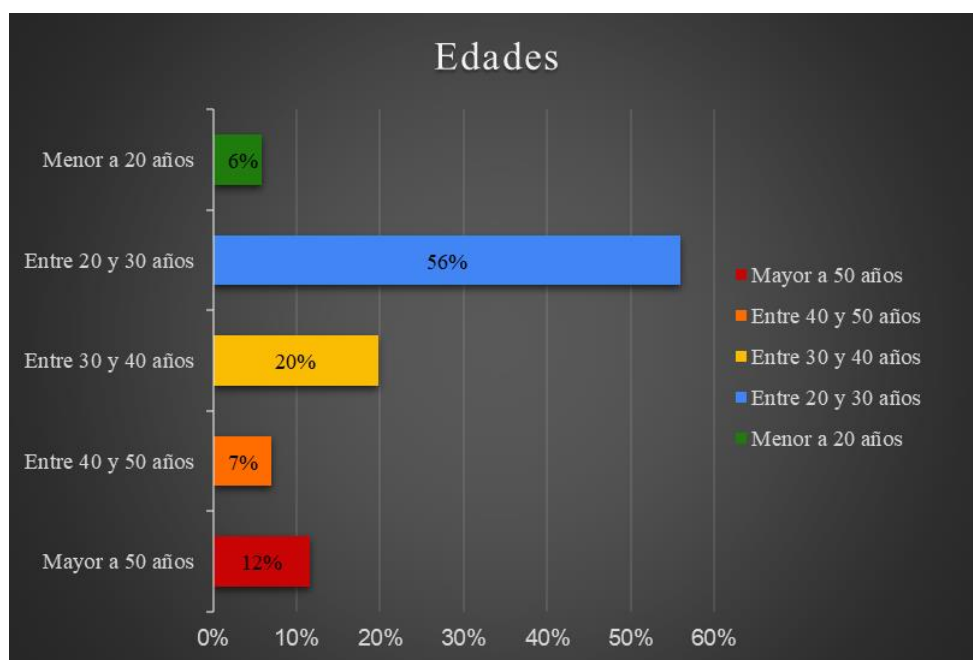


Figura 86: Rangos etarios.

De los 243 encuestados, 79 contestaron que el uso de agroquímicos no influye en nada a la hora de decidir comprar y consumir verduras de hojas o aromáticas.



Figura 87: Influencia del uso de agroquímicos para el consumidor al momento de comprar o consumir verduras de hojas o aromáticas

El punto de venta no juega un papel importante para 14 de ellos (Fig. 88).

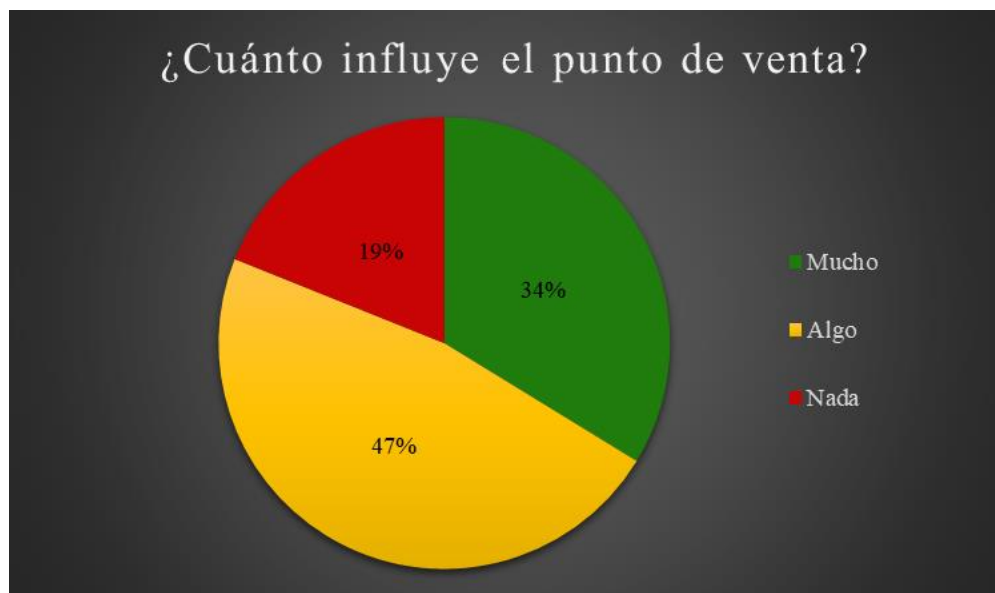


Figura 88: Influencia de punto de venta al momento de comprar o consumir verduras de hojas o aromáticas.

La apariencia es muy significativa en 201 respuestas (Fig. 89).

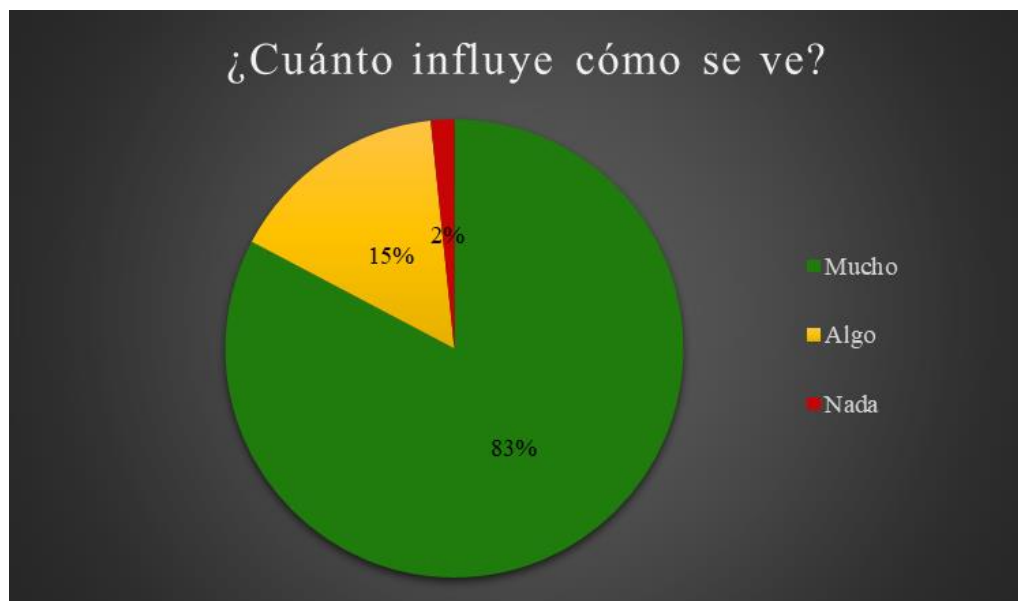


Figura 89: Influencia de la apariencia de la planta a la hora de decidir comprarla y consumirla.

Para 26 personas el aroma no cumple ningún rol en la compra y consumo de estas plantas (Fig. 90).

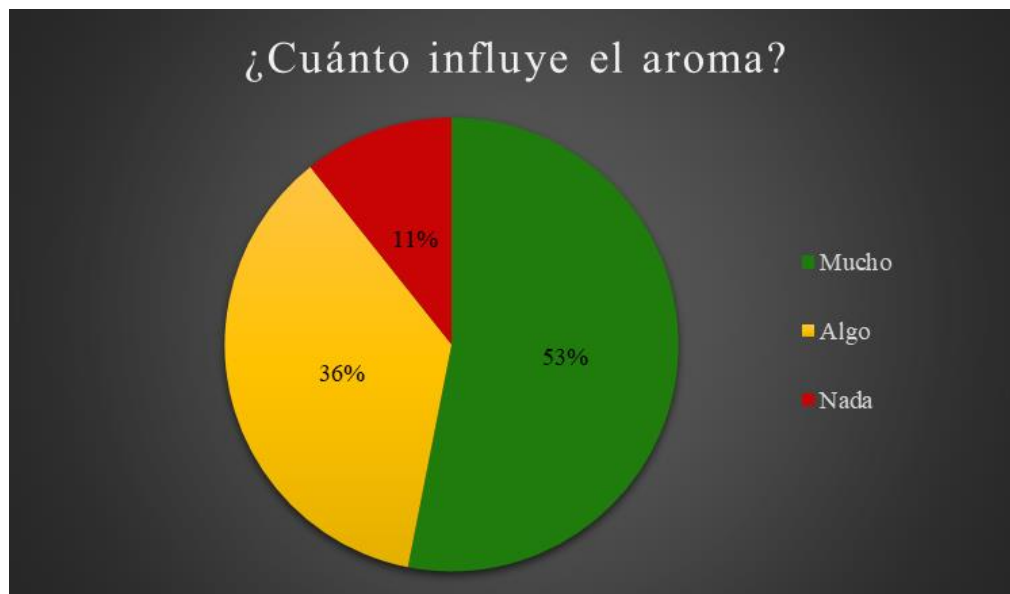


Figura 90: Influencia del aroma a la hora de decidir comprar y consumir verduras de hojas o aromáticas.

De los encuestados, 134 (55%) estaría dispuesto a pagar más del 15% por un producto libre de agroquímicos (Fig. 91).

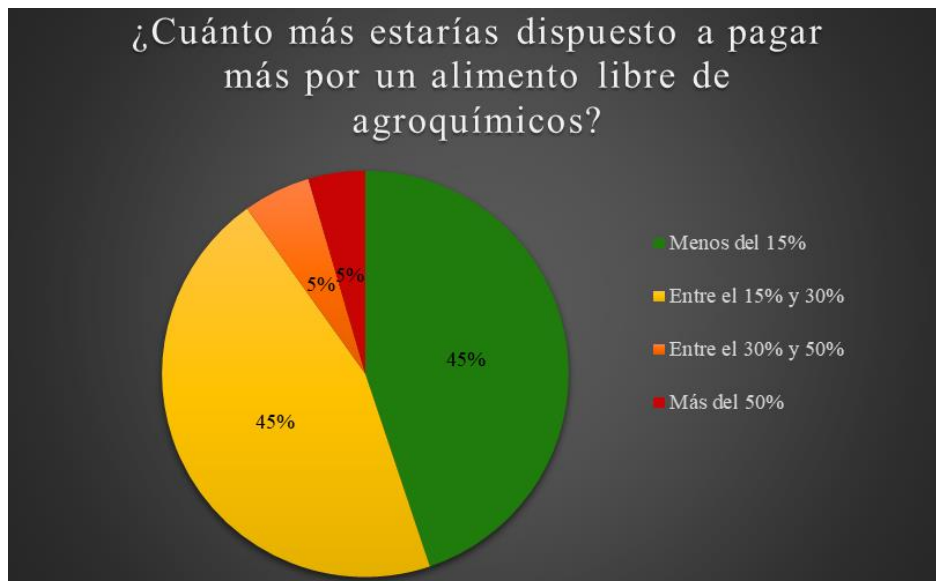


Figura 91: ¿Cuánto más estarías dispuesto a pagar más por un alimento libre de agroquímicos?

De las personas consultadas, 16 creen que los métodos tradicionales de cultivos son amigables con el medio ambiente (Fig. 92).



Figura 92: ¿Crees que los métodos de producción actuales son amigables con el medio ambiente?

Ante la consulta sobre si cuentan o no con una huerta en su hogar, 59 de ellos contestaron afirmativamente. (Fig. 93)

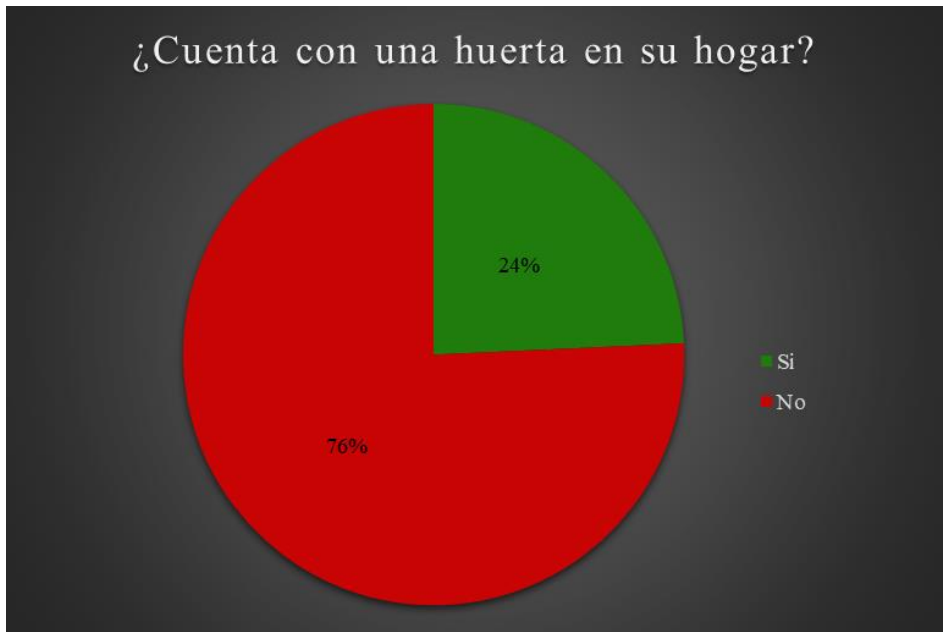


Figura 93: Cantidad de usuarios con huertas en sus hogares.

De los que cuentan con una huerta, solo 2 tienen una hidropónica (Fig. 94).



Figura 94: Usuarios con una huerta hidropónica.

De las 59 huertas, 57 son exteriores y 2 interiores (Fig. 95).

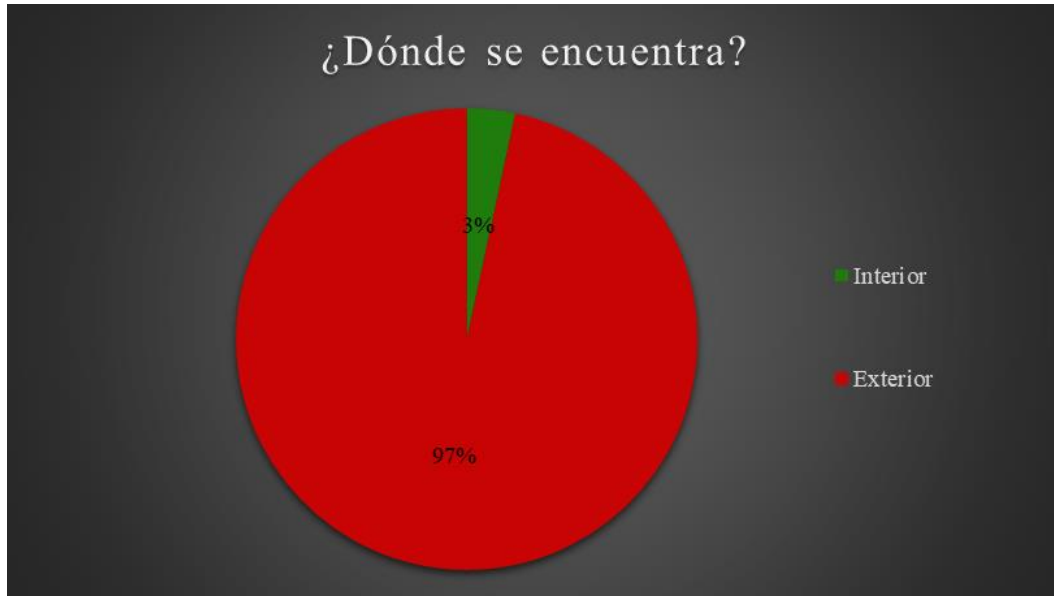


Figura 95: Ubicación de la huerta.

Más del 84% es decir 50, cuentan con menos de 20 plantas (Fig. 96).



Figura 96: Cantidad de plantas por huerta.

Entre 1 y 7 horas es lo que invierten 47 encuestados por semana en mantener sus cultivos (Fig. 97).

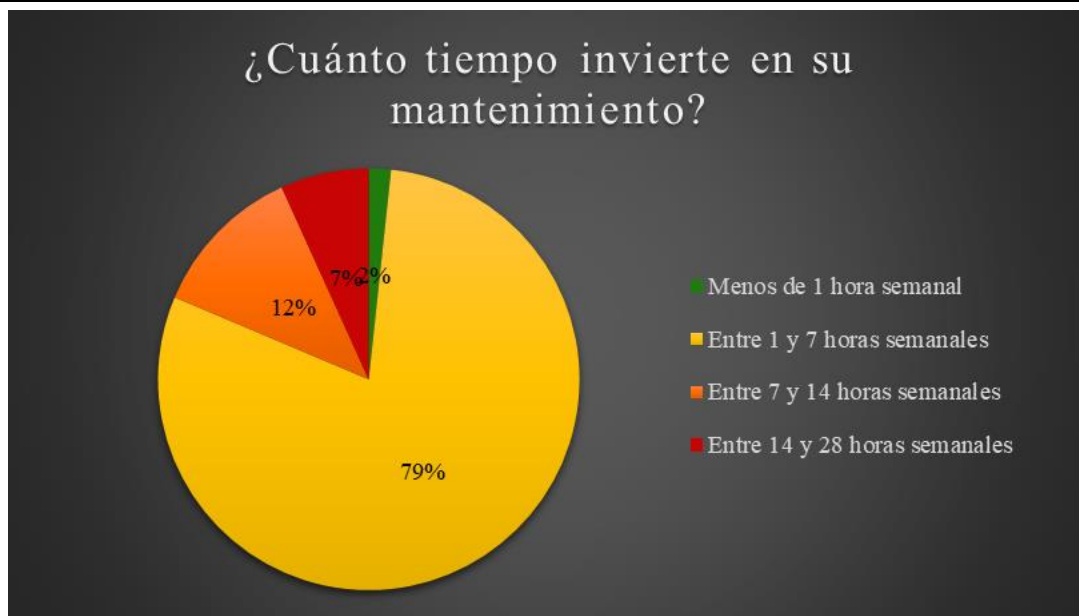


Figura 97: Tiempo invertido semanalmente en el mantenimiento de la huerta

Los motivos más mencionados, por los cuales 184 de los encuestados que no cuentan con una huerta son: escasez de espacio (con 105 respuestas), la falta de conocimiento (con 84) y la falta de tiempo (con 74). Además, 26 de ellos, indicaron que carecen de interés en tener una (Fig. 98).

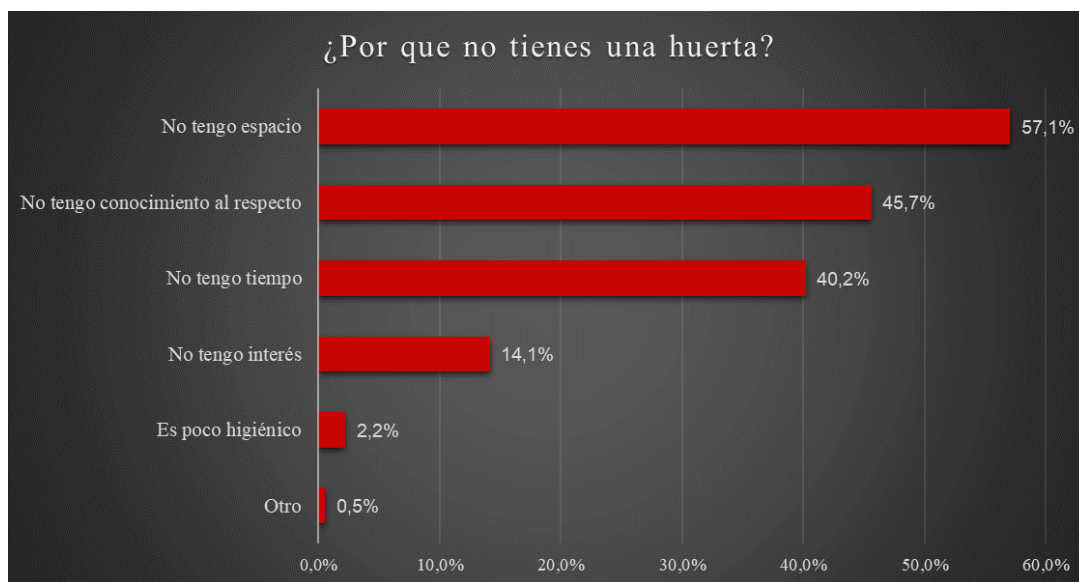


Figura 98: Motivos por los cuales no cuentan con una huerta en su hogar.

Del total de encuestados, 105 respondieron han oído acerca de técnicas de cultivo hidropónicas (Fig. 99).

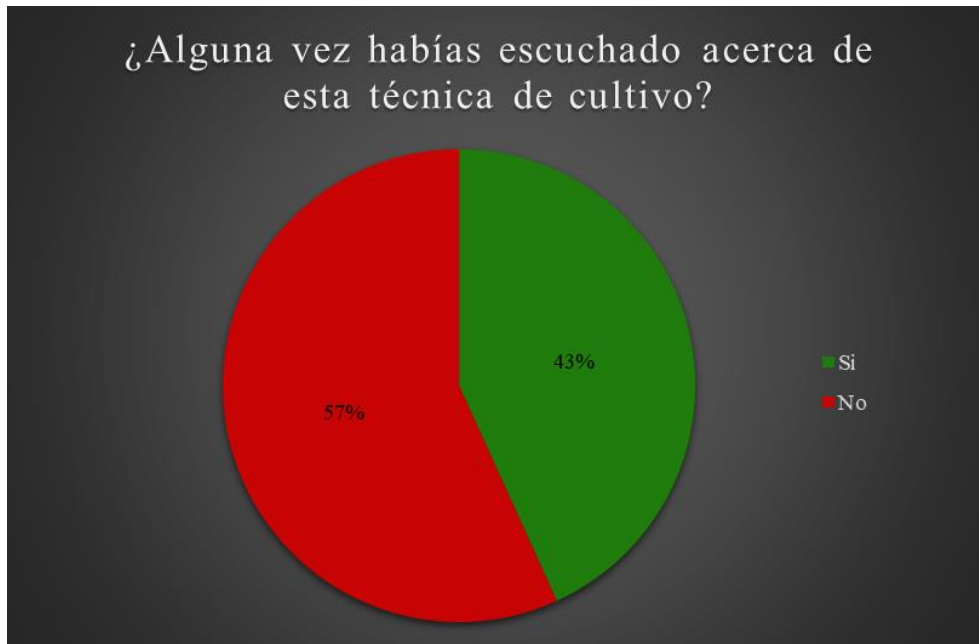


Figura 99: Conocimiento sobre técnicas de cultivos hidropónicas.

El 86,8% de los consultados (211 personas) estarían dispuestos a contar con una huerta hidropónica (Fig. 100).

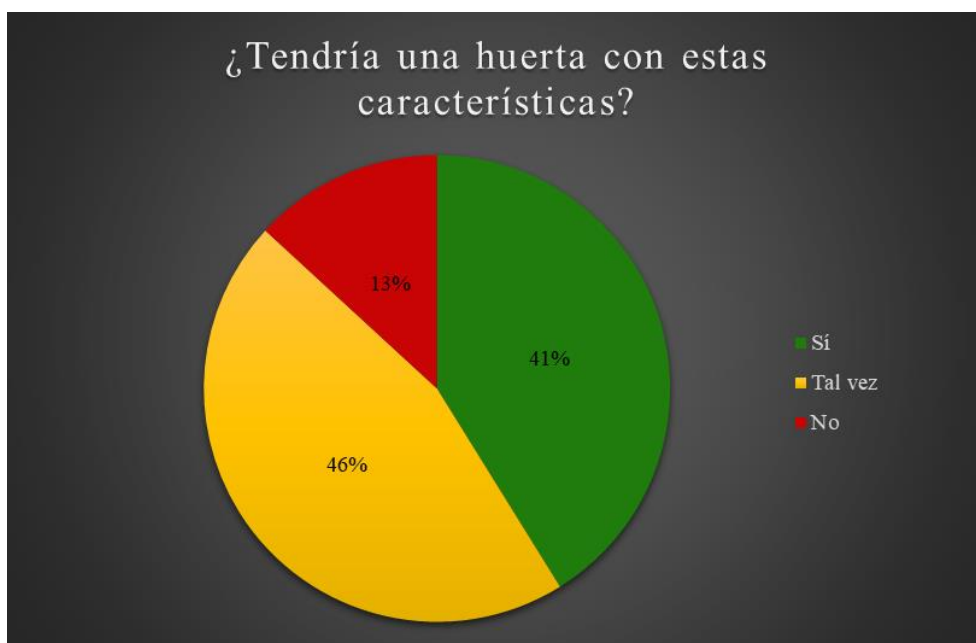


Figura 100: ¿Tendría una huerta hidropónica?

A los individuos que contestaron afirmativamente la respuesta anterior, se les brindo un listado con distintas huertas hidropónicas y se les solicito que elijan una. Dentro de ellas se encontraba el sistema desarrollado junto a 3 opciones similares presentes en el mercado argentino (Fig. 101).



Figura 101: Opciones de huertas a elegir.

De todas las alternativas, la solución propuesta fue la segunda más elegida con 51 votos (Fig. 102).

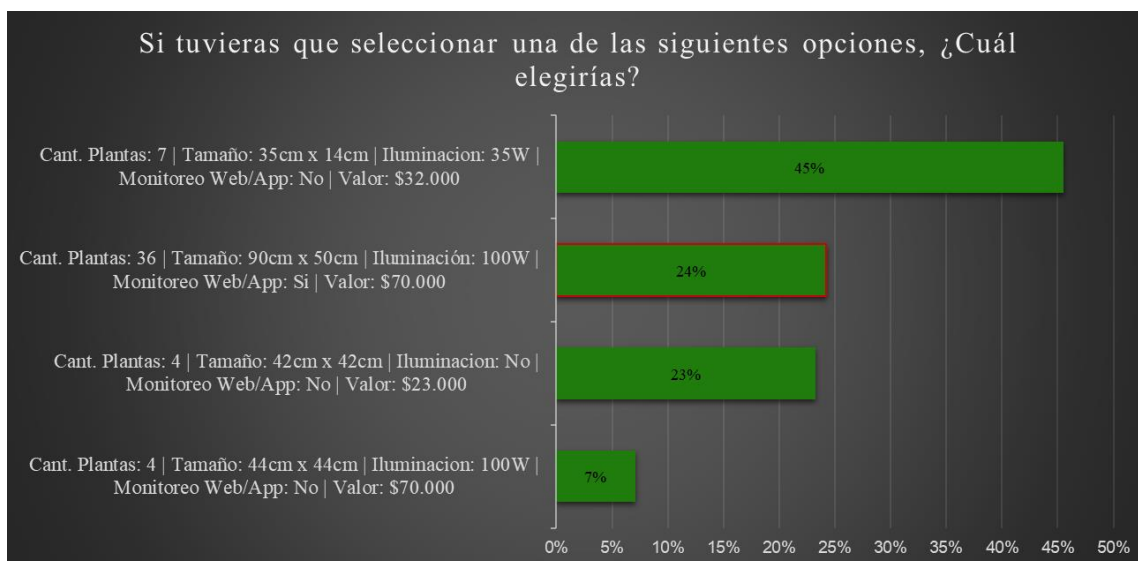


Figura 102: Huertas elegidas.

Luego se les consulto, sobre la importancia que tenían las distintas características de estas. De las 211 respuestas, 66 afirman que la web no influye en nada a la hora de elegir una opción u otra (Fig. 103).

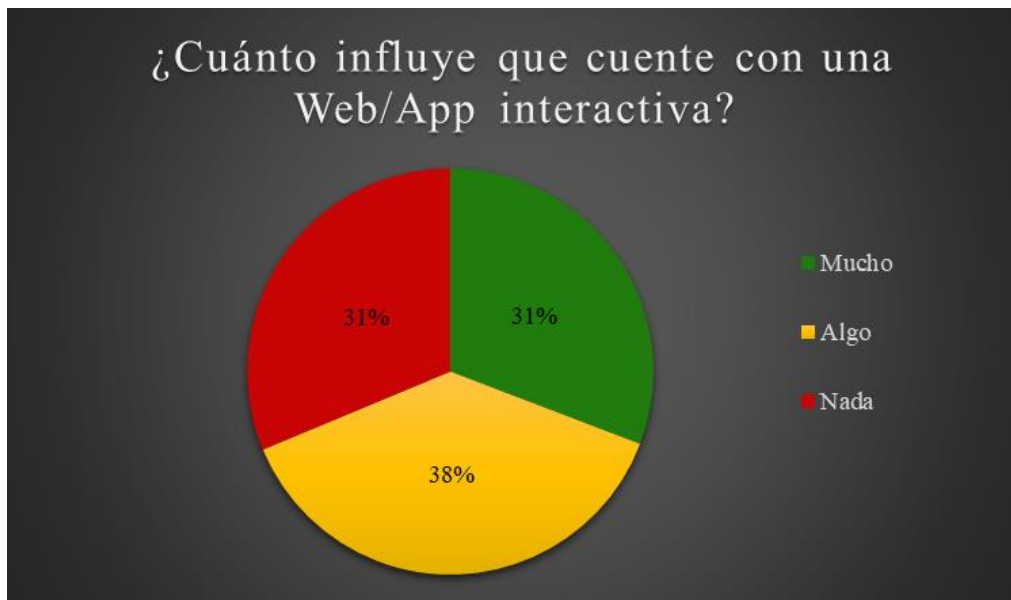


Figura 103: Influencia de la web interactiva.

La estética no influye para nada según 36 respuestas (Fig. 103).

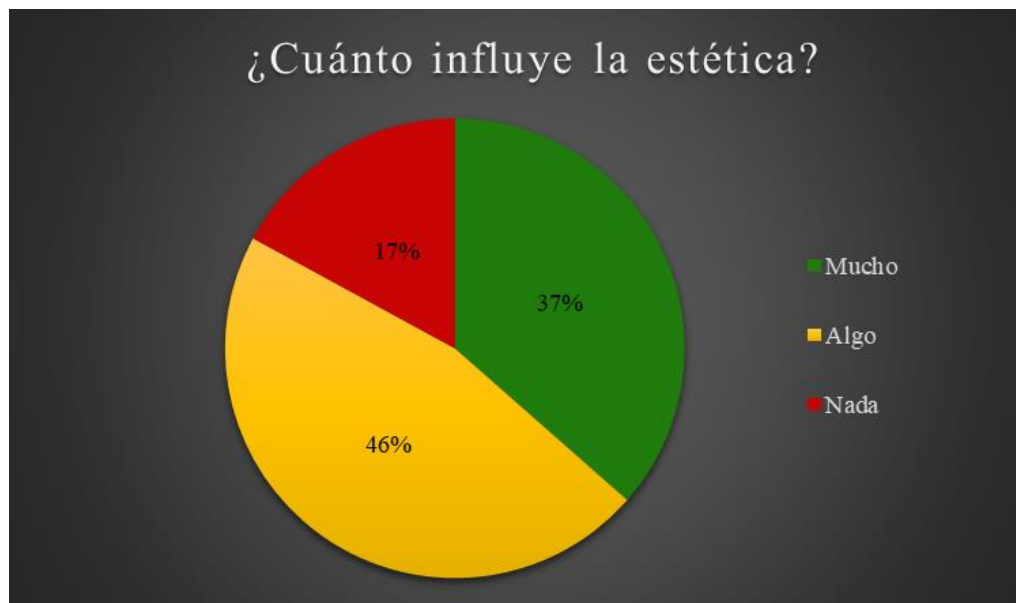


Figura 104: Influencia de la estética de la huerta.

El tamaño es algo o muy importante para 198 encuestados (Fig. 104).

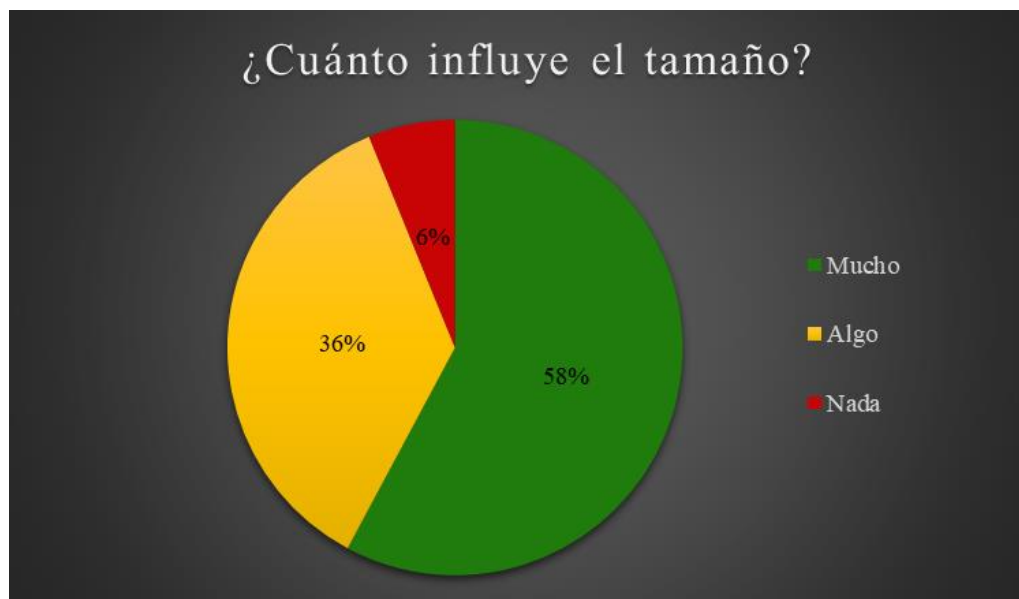


Figura 105: Influencia de sus dimensiones

El precio de venta influye mucho para 133 personas y algo para 70 (Fig. 105).

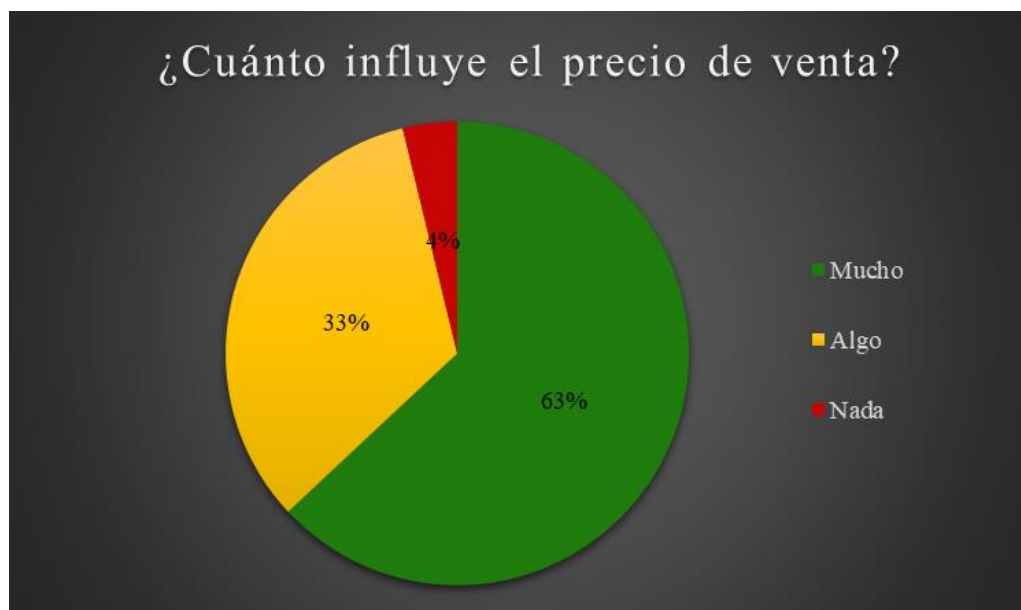


Figura 106: Influencia de su precio

Finalmente, el 91% de los que tendrían una huerta hidropónica, indicaron que la cantidad de plantas influye mucho o algo al momento de elegir la opción (Fig. 106).

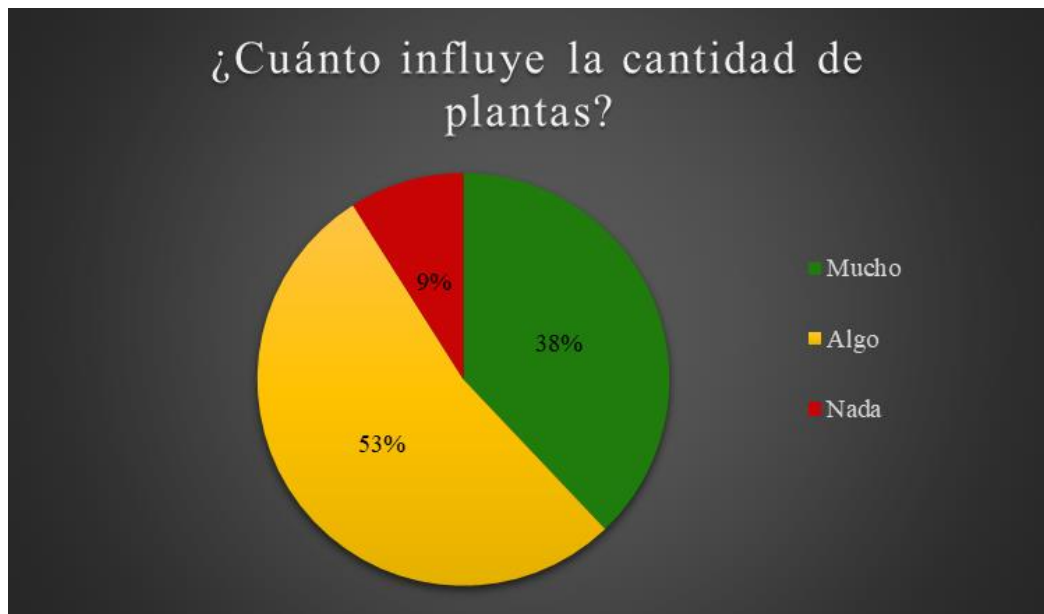


Figura 107: Influencia de su capacidad de albergar plantas