

Ingeniería Mecánica con Orientación a la Mecatrónica

Proyecto de Ingeniería Mecatrónica

Sistema Hidropónico automatizado con IA

Integrantes:

Bogado, Jonatan Emanuel

Roges, Kevin

Docentes:

Blanca, Teofilo Ezequiel

Lukaszewicz, Cristian Leandro

Szombach, Juan Ignacio

Primer Cuatrimestre

2025

Índice

1. Resumen	6
2. Introducción	7
3. ¿Qué es la Hidroponía?	7
4. Proyecto	9
4.1. Diagrama de Flujo	10
5. Componentes del sistema	11
5.1. Microcontrolador ESP 32	11
5.1.1. Pines usados del ESP32	12
5.2. Sensores de monitoreo en tiempo real	15
5.2.1. Sensor de PH	16
5.2.1.1. ¿Por qué usar un sensor de pH en hidroponía?	16
5.2.1.2. Ventajas del uso de un sensor de pH	16
5.2.1.3. Desventajas del uso de un sensor de pH	17
5.2.1.4. Especificaciones del sensor de PH utilizado	17
5.2.1.5. Vinculación del sensor de PH con el ESP	18
5.2.1.6. Ciclo de uso típico en un sistema inteligente:	18
5.2.1.7. Mantenimiento del sensor	19
5.2.2. Sensor de conductividad Eléctrica	19
5.2.2.1. ¿Por qué usar un sensor de conductividad eléctrica en hidroponía?	19
5.2.2.2. Ventajas del uso de un sensor de EC	20
5.2.2.3. Desventajas del uso de un sensor de EC	20
5.2.2.4. Especificaciones del sensor de EC utilizado	20
5.2.2.5. Vinculación del sensor de EC con el ESP	21
5.2.2.6. Rango ideal para hidroponía (lechuga)	22
5.2.2.7. Mantenimiento	22
5.2.3. Sensor de Temperatura sumergible	23
5.2.3.1. ¿Por qué usar un sensor de temperatura (DS18B20) en hidroponía?	23
5.2.3.2. Ventajas del uso del sensor DS18B20	23

5.2.3.3. Desventajas del uso del sensor DS18B20	24
5.2.3.4. Mantenimiento	24
5.2.3.5. Conexión de Sensor de temperatura (DS18B20)	24
5.2.4. Sensor ultrasónico	25
5.2.4.1. ¿Por qué usar un sensor ultrasónico HC-SR04 en hidroponía?	25
5.2.4.2. Ventajas del uso del HC-SR04	26
5.2.4.3. Desventajas del uso del HC-SR04	26
5.2.4.4. ¿Para qué lo puedes usar en hidroponía?	26
5.2.4.5. Vinculación del sensor con el ESP32	27
5.2.5. Sensor de Temperatura y humedad DHT22	28
5.2.5.1. ¿Por qué usar un sensor DHT22 en hidroponía?	28
5.2.5.2. Ventajas del uso del DHT22	29
5.2.5.3. Desventajas del uso del DHT22	29
5.2.5.4. ¿Qué puedes hacer con este sensor en tu sistema hidropónico?	29
6. Sistema de automatización y control	32
6.1. Esquema del Procesador principal	32
7. Costos del prototipo	34
8. Cronograma de trabajo	35
9. Plataforma de monitoreo y control	38
10. Integración de Inteligencia Artificial	38
11. Energía y seguridad	38
12. Ciclo del cultivo	38
12.1. Germinación	39
12.2. Plántula / Etapa de emergencia	39
12.3. Crecimiento vegetativo / Desarrollo activo	40
12.4. Maduración / Pre-cosecha	40
12.5. Cosecha	41
12.6. Resumen del ciclo de vida de la lechuga hidropónica	41
12.7. Procedimiento de Cultivo	41
13. Conclusión	42

14. Anexos	42
Anexo I – Código de Arduino Sensores	43
15. Bibliografía	55
16. Links	56



Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Lomas de Zamora



1. Resumen

Un sistema de hidroponía automatizado permite controlar las variables del sistema de una manera sencilla. Vamos a definir, como variables del sistema, a las características que debe tener la solución nutritiva.

Con la implementación de un microcontrolador y sus respectivos sensores, que van a ir midiendo distintos parámetros de este, se puede lograr un sistema completamente autónomo, que además le va a notificar al usuario las distintas tareas que realiza en las etapas.

Algo novedoso en este sistema, es el uso de inteligencia artificial para la detección de enfermedades en las plantas. Esto se logra mediante fotos, que luego van a ser analizadas por dicha IA.

Como se menciona más adelante en este informe, existen varias etapas de crecimiento y un valor de variables muy distintas para la solución nutritiva.

2. Introducción

Debido al incremento de la popularidad de prácticas de huertas caseras, siendo la hidroponía la de mayor interés, el proyecto seleccionado es un sistema automatizado de hidroponía con uso de IA para la detección de enfermedades y deficiencias.

La propuesta de nuestro grupo es armar un sistema, denominado raíz sumergida, en el cual, esta, se encuentra sumergida en una solución nutritiva. Se utilizará una bomba recirculadora, para airear esta solución y mediante el uso de electroválvulas se dosificará los nutrientes necesarios, para mantener los niveles correctos de conductividad eléctrica en las distintas etapas de crecimiento, y ajustar los niveles de pH también, según los niveles correctos en cada etapa de crecimiento.

Se incorpora un mecanismo de servomotor para sumergir el sensor de pH cuando realiza la medición, ya que no es recomendable dejar este sensor sumergido por tiempos prolongados en soluciones, que no sean las recomendadas por el fabricante.

También se incorporará una cámara que, mediante IA, analizará el estado de la planta. Esto se realizará mediante fotografías cada 6 hs.

Este proyecto se realizará en su totalidad, a una escala reducida, y se utilizará un contenedor previamente fabricado, apto para esta aplicación.

3. ¿Qué es la Hidroponía?

La hidroponía representa un método de cultivo innovador que se distingue por la ausencia de suelo como medio de crecimiento. En su lugar, las raíces de las plantas se sumergen en una solución acuosa enriquecida con los nutrientes esenciales para su desarrollo. Esta técnica ofrece una serie de ventajas significativas en comparación con la agricultura tradicional:

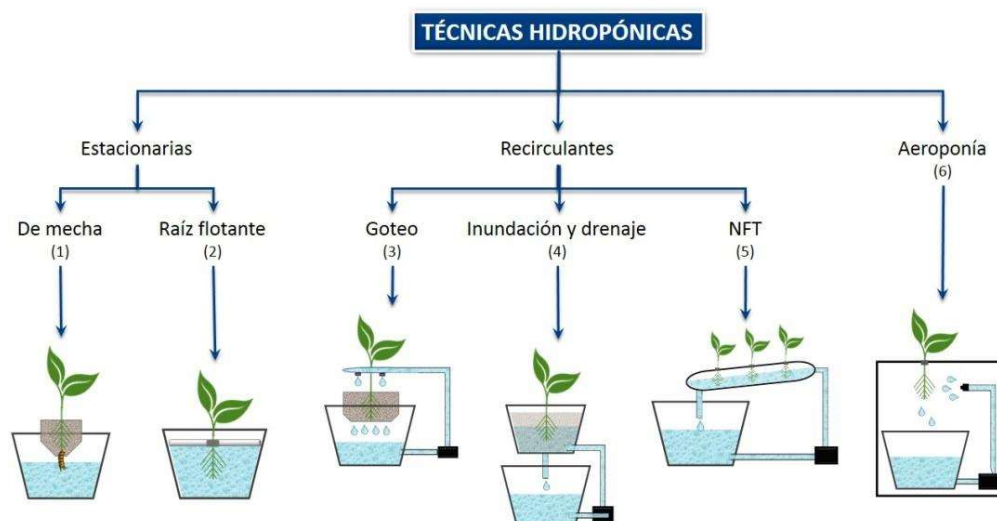
- **Uso eficiente del agua:** Los sistemas hidropónicos pueden reducir significativamente el consumo de agua, ya que la solución nutritiva se recircula y se minimiza la pérdida por evaporación o drenaje en comparación con el riego en suelo.
- **Optimización de nutrientes:** Al suministrar los nutrientes directamente a las raíces en las concentraciones óptimas, se favorece un crecimiento más rápido y eficiente, evitando el desperdicio y la lixiviación de nutrientes en el suelo.
- **Mayor rendimiento y calidad:** En condiciones controladas, las plantas cultivadas hidropónicamente a menudo exhiben un crecimiento más vigoroso, ciclos de cultivo más cortos y una calidad uniforme en los productos.
- **Reducción de plagas y enfermedades transmitidas por el suelo:** Al eliminar el suelo, se disminuye considerablemente el riesgo de enfermedades y plagas que habitan en él, lo que puede reducir la necesidad de pesticidas.
- **Cultivo en espacios limitados:** La hidroponía permite cultivar en áreas donde el suelo no es adecuado o disponible, como en entornos urbanos o interiores, optimizando el uso del espacio vertical.

La implementación de un sistema hidropónico como base para esta máquina de cultivo indoor busca capitalizar estas ventajas, creando un ambiente controlado que maximice el potencial de crecimiento de las plantas.

4. Proyecto

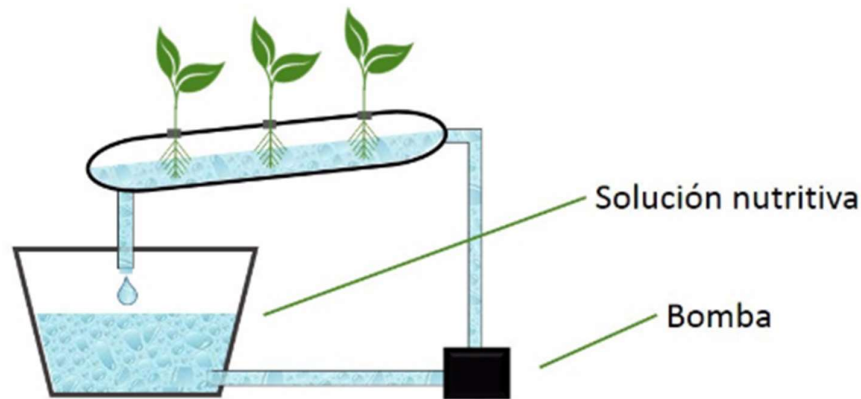
4.1. Principio de funcionamiento

En la actualidad existen varios tipos de sistemas de hidroponía. Se podrían clasificar en estacionarias, recirculares y aeroponía. Siendo los estacionarios y recirculantes los más utilizados, debido a su fácil implementación.



En los recirculantes el NFT es el mas utilizado. Consta de uno o mas tubos de PVC, donde las plantas son colocadas separadas una distancia determinada. Dentro de este tubo, circula la solución nutritiva. Las raíces están en contacto con esta solución.

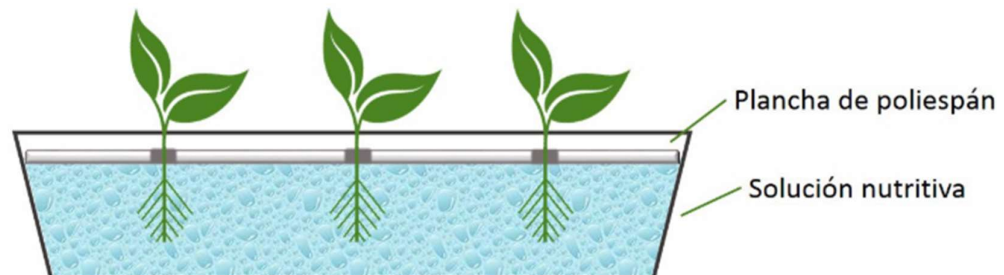
Esta solución retorna a una batea y vuelve a ser impulsada dentro del tubo mediante una bomba hidráulica.



Dentro de los sistemas estacionarios el mas utilizado es el tipo raíz sumergida. Este es probablemente la técnica mas simple y barata. Ideal para los que se inician y tiene un rendimiento muy alto.

Aquí, tenemos un recipiente con solución nutritiva y sobre este una placa de poliéster. En esta ubicaremos las macetas, que contienen la planta, y luego dejamos que las raíces se sumerjan en dicha solución.

En este tipo de sistemas, al no haber agua recirculante, se recomienda la incorporación de burbujeadores o bombas recirculadoras para oxigenar la solución y evitar el deterioro de esta.



Los parámetros principales, para controlar, de la solución nutritiva es el pH y conductividad eléctrica (EC). Este ultimo parámetro determina la cantidad de nutrientes presentes. Medidos en PPM (partes por millón).

El ciclo de cultivo de la lechuga hidropónica desde la siembra (semilla) hasta la cosecha es rápido y eficiente, y dura entre 30 a 45 días, dependiendo de la variedad, las condiciones ambientales y la técnica hidropónica utilizada (como NFT, DWC, etc.).

4.2. Ciclo de cultivo

A continuación, se detalla las etapas del desarrollo de la lechuga en hidroponía, con su duración aproximada y lo que ocurre en cada una:

4.2.1 Germinación

La etapa de germinación se estima entre los primeros 5 días aproximadamente.

En esta etapa pasa lo siguiente:

- La semilla comienza a activarse tras absorber agua (proceso de imbibición).
- Rompe la cubierta y aparece la radícula (raíz primaria).
- Luego, emerge el hipocótilo y los primeros cotiledones (hojas falsas).
- Esta etapa ocurre en un semillero o esponja húmeda, generalmente sin nutrientes.

Requiere:

- Ambiente húmedo (80–95%)
- Temperatura entre 20°C y 25°C
- Poca luz o sombra parcial

4.2.2 Plántula / Etapa de emergencia

La etapa de plántula ocurre entre los días 5 al 14.

Qué pasa:

- Aparecen las primeras hojas verdaderas.

- La raíz comienza a desarrollarse más (raíces secundarias).
- Se realiza el primer trasplante a un sistema hidropónico (como NFT, DWC o tubos PVC).

Requiere:

- Nutrientes muy suaves (EC 0.5–0.8 mS/cm)
- Luz constante (16 h/día)
- Control del pH (6.0–6.5)
- Temperatura 20–24°C

4.2.3 Crecimiento vegetativo / Desarrollo activo

Días: Día 14 a 30

Qué pasa:

- Crecen más hojas verdaderas.
- Aumento rápido del volumen de la planta.
- Alta absorción de agua y nutrientes.
- Se incrementa la EC del agua (1.0–1.8 mS/cm).
- La lechuga forma su "roseta" de hojas.

En esta fase es clave:

- Buena ventilación para evitar hongos.
- pH ideal: 5.8–6.3
- Alta iluminación (mínimo 14 h/día)
- Evitar estrés térmico

4.2.4 Maduración / Pre-cosecha

Días: Día 30 a 45

Qué pasa:

- La planta alcanza su tamaño comercial.
- El crecimiento se desacelera.
- Se acumulan azúcares y nutrientes en las hojas.
- La planta está lista para ser cosechada.

Cuidados:

- Mantener buena oxigenación de raíces.
- Evitar temperaturas altas para prevenir floración prematura ("espigado").
- Verificar firmeza, color y tamaño deseado.

4.2.5 Cosecha

Día 35 a 45 (varía por variedad y clima)

Qué pasa:

- La planta se cosecha cortando la base o arrancándose con raíz.
- Puede cosecharse entera o por hojas externas (tipo "corte continuo").

4.2.6 Resumen del ciclo de vida de la lechuga hidropónica

Etapas	Días desde la siembra	Qué ocurre
Germinación	0–5	Brota la semilla, aparece raíz y tallo
Plántula	5–14	Aparecen hojas verdaderas, se trasplanta
Crecimiento vegetativo	14–30	Desarrollo rápido de hojas y raíces
Maduración	30–45	Toma tamaño final, lista para cosecha
Cosecha	35–45	Se recolecta la lechuga

4.3. Motivación

El presente proyecto surge de la necesidad de obtener un rendimiento mayor en la utilización de sistemas de hidroponía. La automatización de las mediciones y ajustes busca optimizar los tiempos de producción, pudiendo establecer períodos de muestreo y ajuste posterior. De esta manera, se obtiene un control completo sobre la solución nutritiva y el correcto crecimiento de la planta. A su vez, con la ayuda de la inteligencia artificial, se puede detectar enfermedades en las plantas. Pudiendo tomar una correcta acción.

4.4. Descripción de la propuesta

El sistema de hidroponía automatizada basa su funcionamiento en el sistema estacionario de raíz sumergida. El programa, una vez iniciado, realiza el proceso de recirculación, que tiene una duración de 2 hs.

Durante este proceso se realiza primero una medición de conductividad eléctrica y cada doce segundos se inyecta nutrientes durante un segundo. Una vez finalizado este ajuste se activa el sensor de pH, que es introducido mediante un servomotor. Se espera dos minutos de estabilización y se procede a realizar dicho ajuste. Si el pH es bajo se inyecta una solución que aumenta este valor y caso contrario si el pH es alto. Entre ajustes hay una espera de un minuto.

Una segunda medición y ajuste es realizado treinta minutos después de haber finalizado la primera.

Estas recirculaciones ocurren cada doce horas, durante dos horas.

En el interior de la cabina hay una lámpara LED, utilizada para cultivo, que esta activa durante dieciséis horas y luego ocho horas de oscuridad.

La ventilación, de la misma, se encenderá una vez superado el cincuenta por ciento de humedad.

Este proceso finaliza una vez alcanzado los días objetivo.

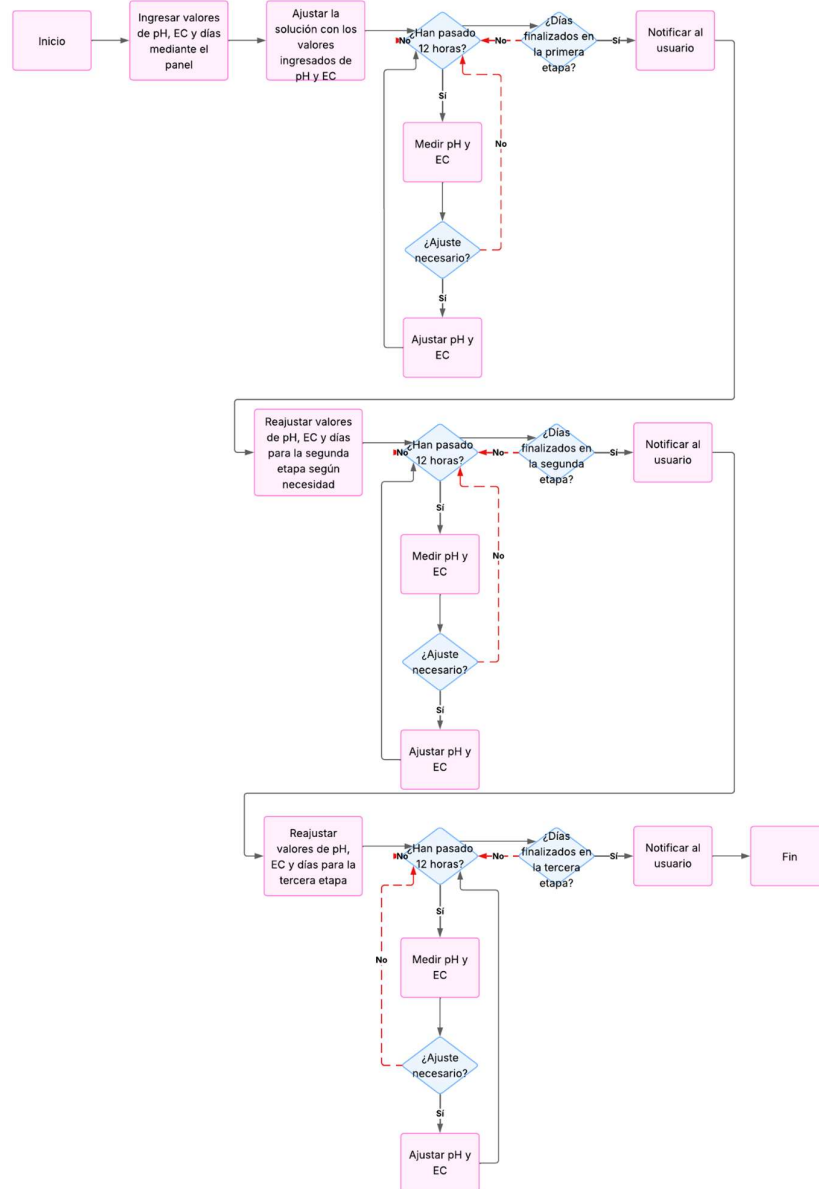


Ilustración 3: Diagrama de Flujo del proceso

4.5. Alcance

Se pretende desarrollar en su totalidad el proyecto descrito anteriormente, cumpliendo con la funcionalidad y resultados aceptables. La imprecisión o el grado de fidelidad de las mediciones quedara sujeto a variables tales como la calidad de los sensores, calibraciones o ajuste por temperatura de la solución nutritiva.

Está orientado y sujeto a un tipo de costo económico, pero sin dejar de lado la funcionalidad y la utilidad del prototipo.

La utilidad del sistema automatizado de hidroponía está orientado a expertos o hobbistas que desean agilizar el proceso de control de crecimiento de plantas o simplemente obtener un sistema fácil de utilizar

4.6. Requerimientos

Los requerimientos funcionales que se le exigen al proyecto requieren, que el sistema, logre controlar el ambiente, para un crecimiento optimo de las plantas.

Toda funcionalidad y agregado estético, o de experiencia de usuario, no será indispensable para el funcionamiento del sistema de hidroponía automatizado, pero siempre es bienvenido en medida que se adecúen a los tiempos estipulados del proyecto.

4.7. Sistema propuesto

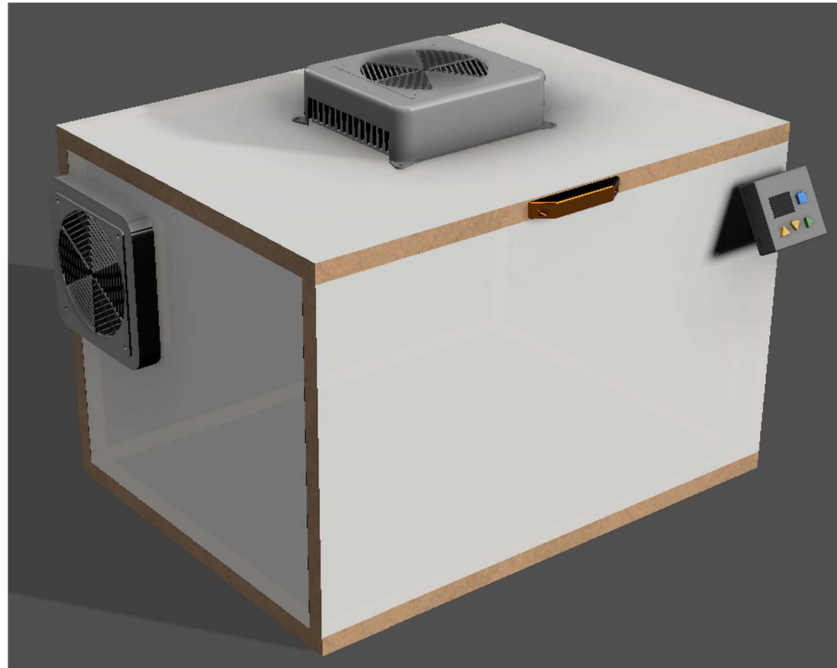


Ilustración 1: Vista Isométrica de la cabina de cultivo

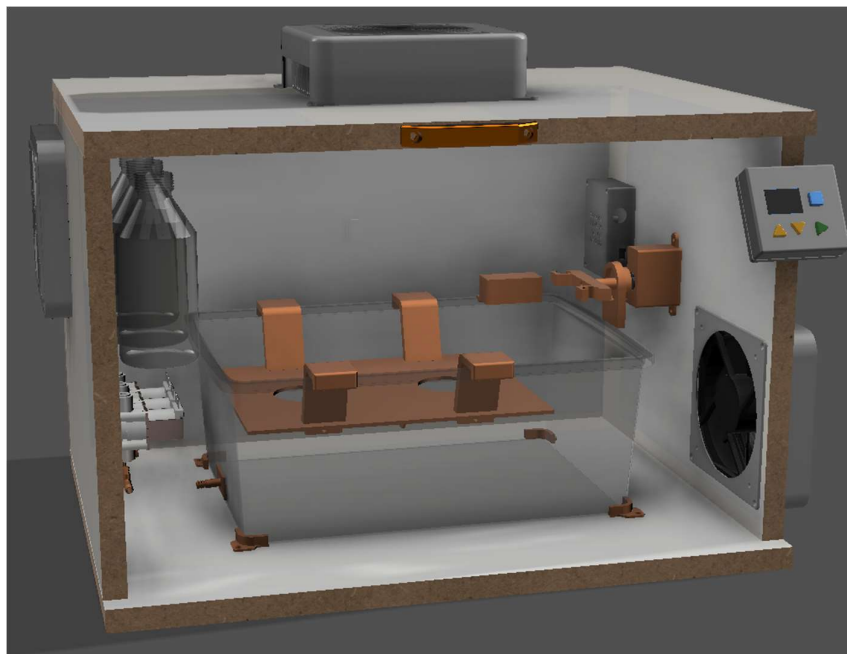
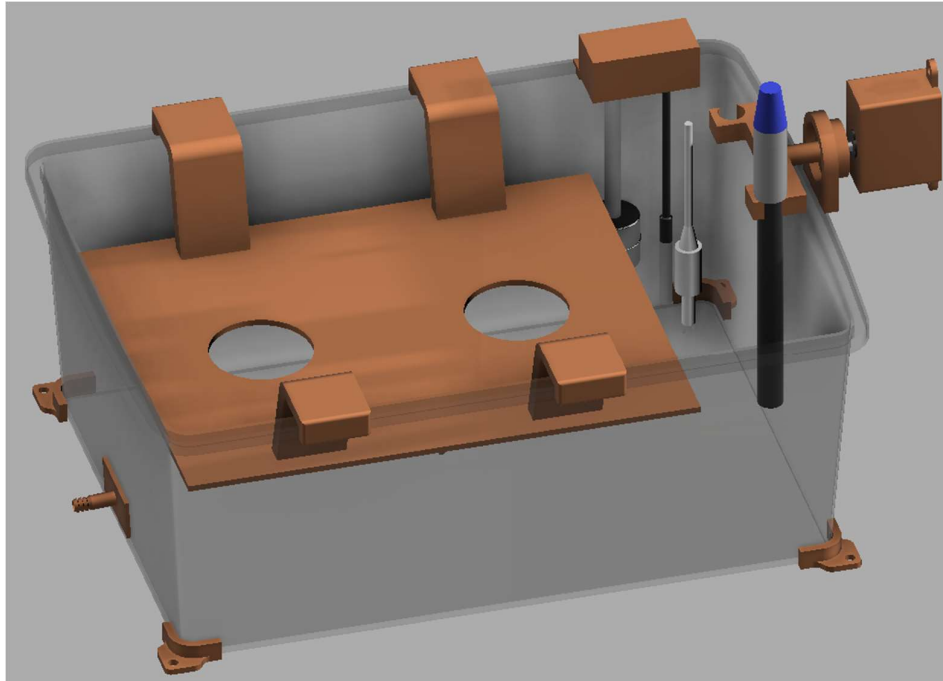
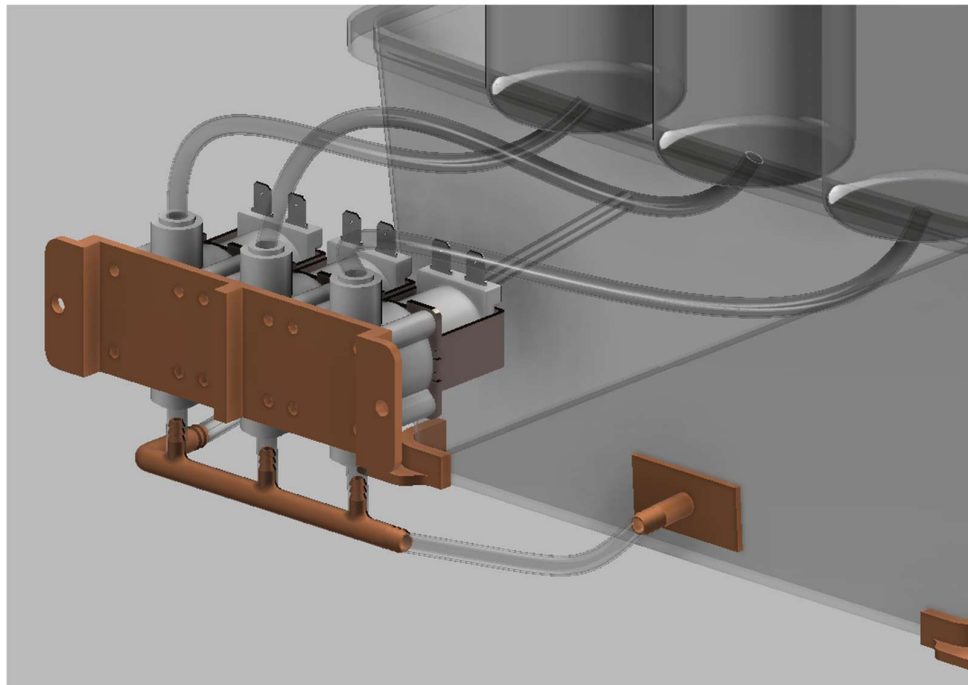
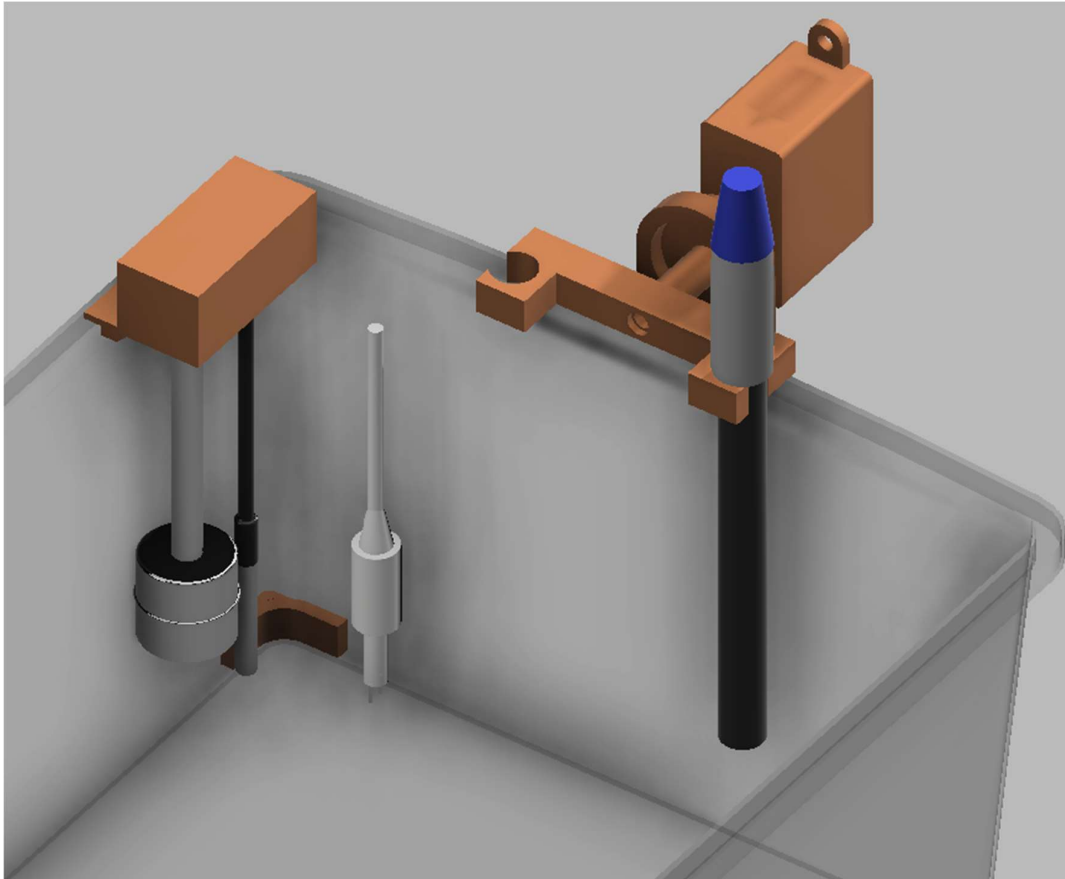


Ilustración 2: Vista interna. Batea con solución nutritiva



La batea es donde se va a alojar la solución nutritiva. Las plantas se colocan sobre el soporte, permitiendo que las raíces entren en contacto con dicha solución. En la parte inferior a la izquierda de la batea se encuentra la salida, que luego se conecta al colector mediante una manguera cristal.

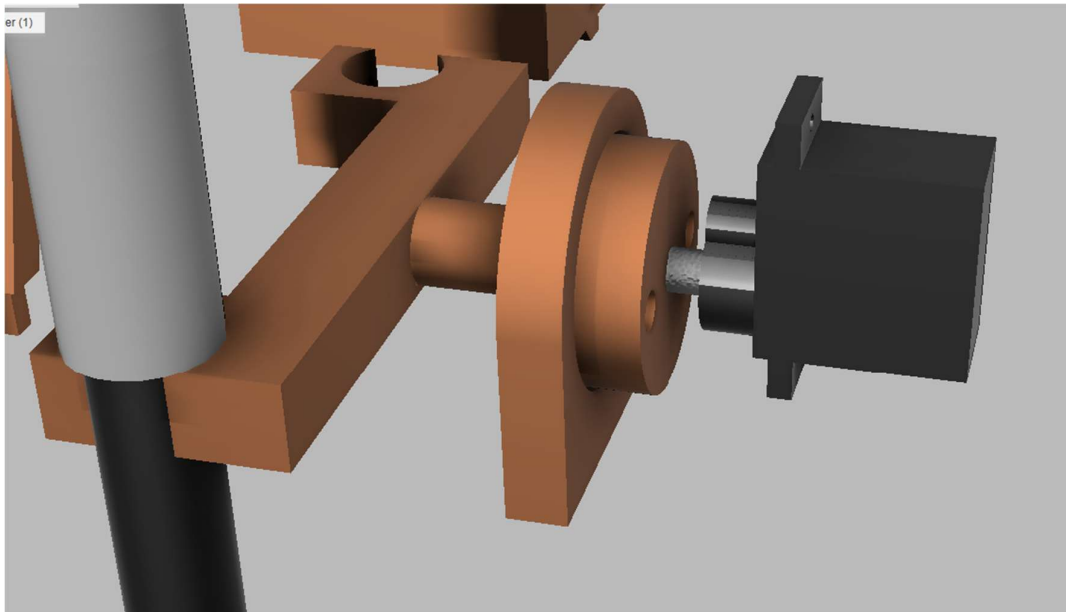


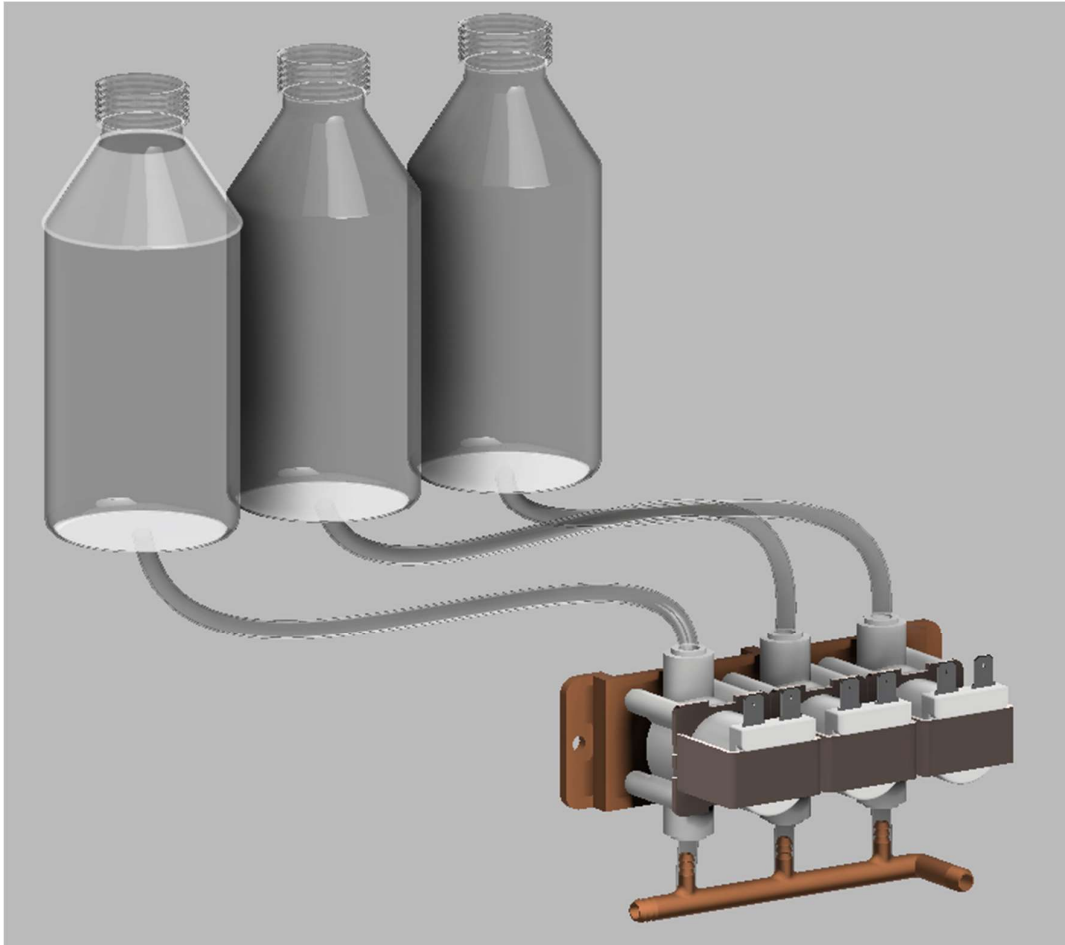


Los sensores utilizados para controlar la solución son, de izquierda a derecha:

- Flotante: utilizado como sensor de nivel. Notifica cuando el volumen se encuentra en mínimo, para reabastecer.
- Sensor de temperatura DS18B20: Censa la temperatura del líquido
- Conductímetro: Mide la conductividad eléctrica en PPM (partes por millón)
- Electrodo pH: Mide la acidez de la solución

Este último se encuentra controlado por un servomotor. Esto es para que solamente mida cuando está sumergido, ya que no es recomendable dejar el electrodo continuamente sumergido en un medio que no sea la solución salina. Mas que nada para preservar al mismo.

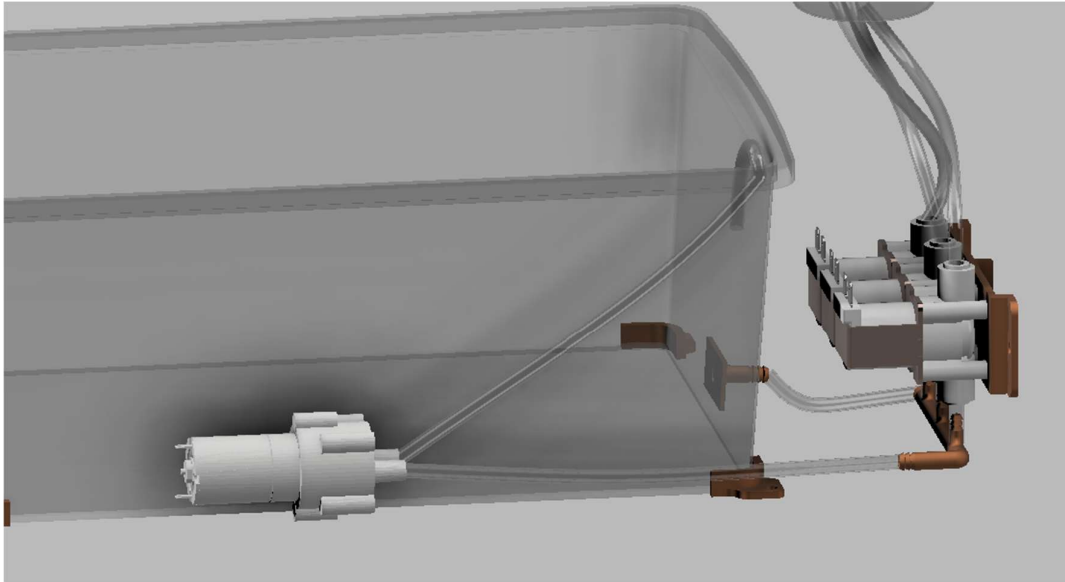




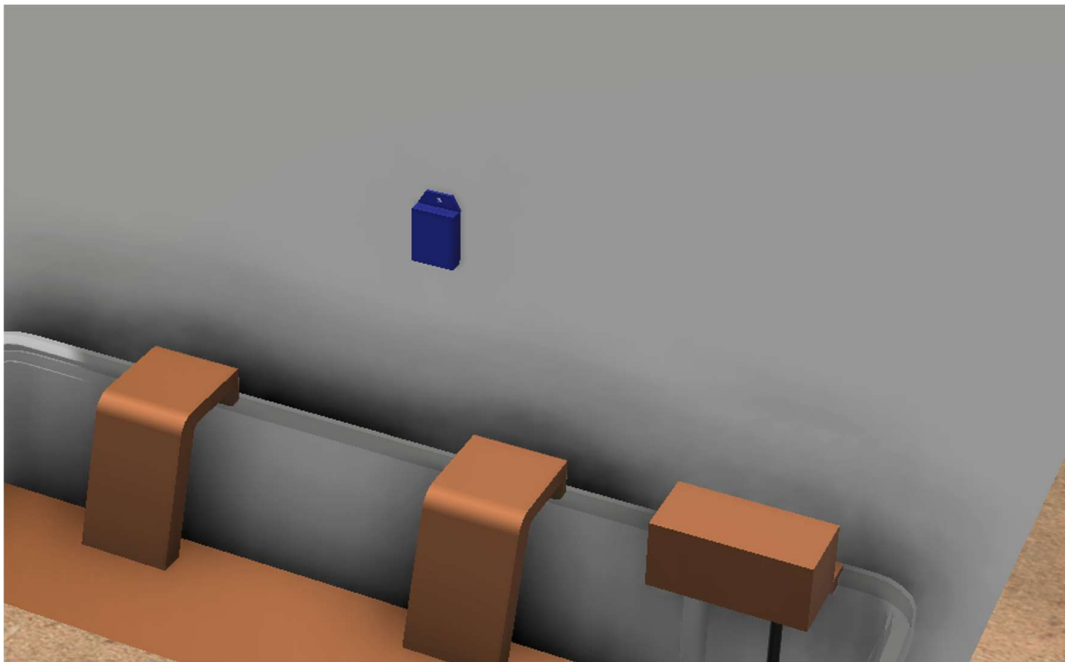
Los recipientes contienen las sustancias utilizadas para el proceso de ajuste de la solución. De izquierda a derecha, el primero contendrá la mezcla de nutrientes Micro y Macro diluida, el segundo reductor de pH y el último para aumentar pH.

Cada electroválvula es comandada por software y se activa una sola por vez. Todas a la vez no, ya que las mediciones de conductividad eléctrica y pH se realizan por separado.

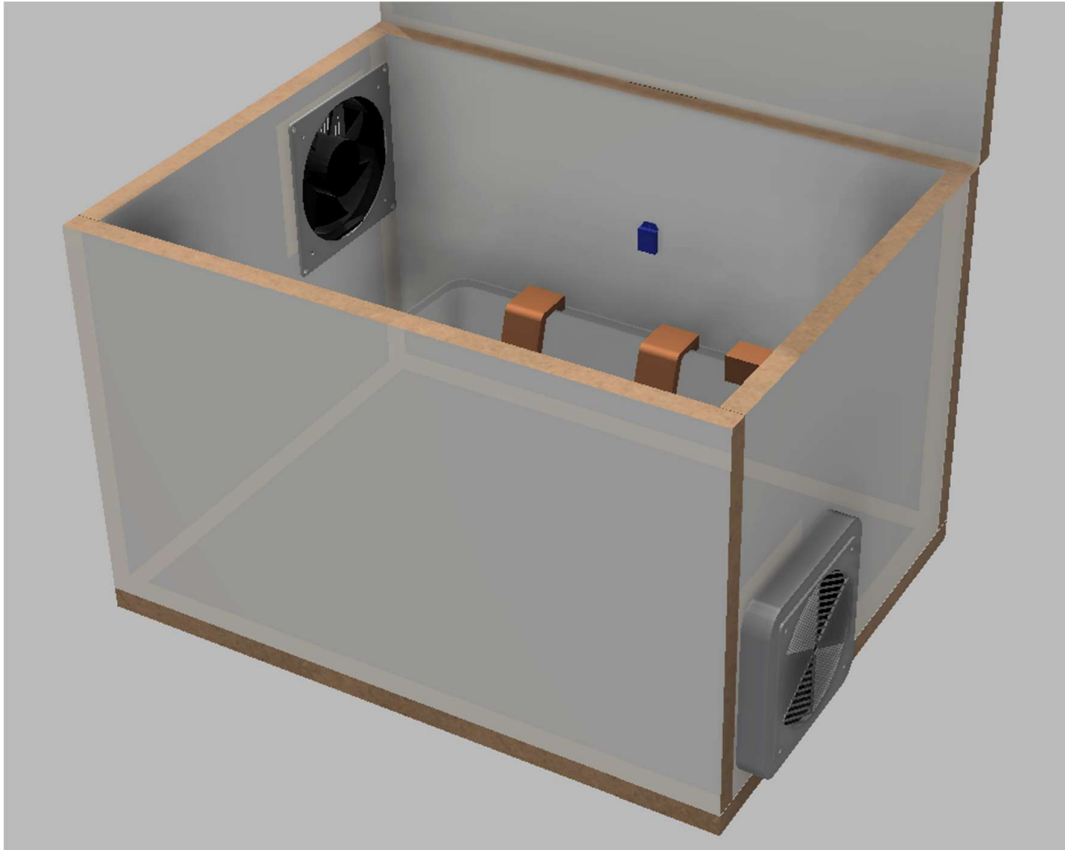
En la parte inferior tenemos el colector, que conecta la salida de la batea y las electroválvulas. Para luego introducirse en la bomba recirculadora.



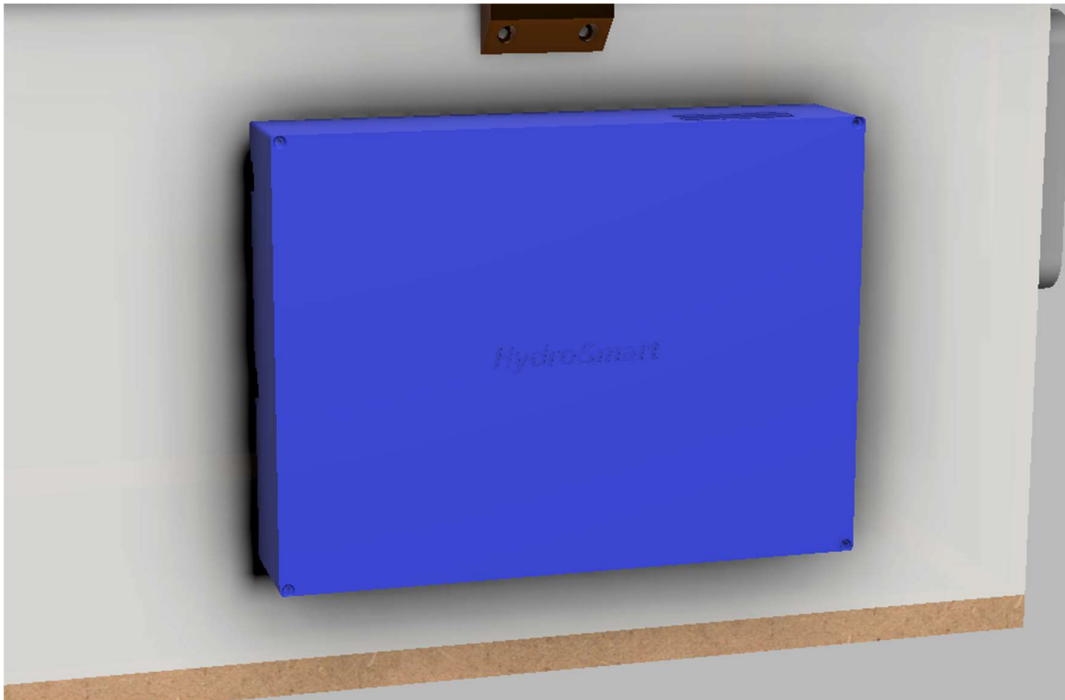
La bomba recirculadora es de diafragma. Además de dosificar cada sustancia permite oxigenar la solución nutritiva.



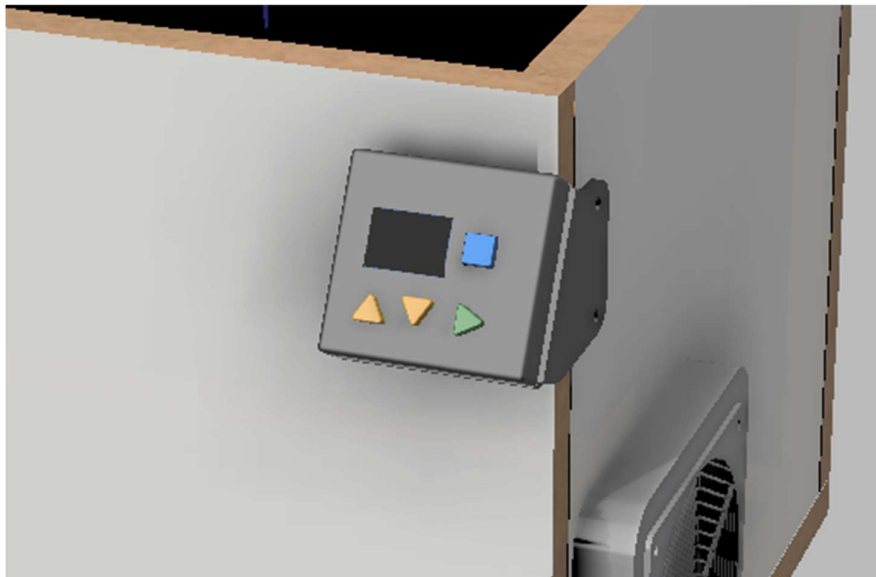
En el interior de la cabina encontramos también, el sensor DHT22. Utilizado para medir la humedad y la temperatura. De esta manera podemos tener control de estos parámetros.



Los ventiladores ubicados en la parte inferior derecha y superior izquierda cumplen la función de renovación de aire, como así también reducir la temperatura y controlar la humedad. Estos se activarán cuando la humedad supere el %50.



En la parte posterior se ubica el tablero, donde se aloja. El ESP32, modulo relays, transformadores y la placa de sensores.



En el frente, encontramos el panel de control con su respectiva pantalla y pulsadores, para ir navegando entre las distintas pantallas, visualizar datos y configurar los parámetros.

5. Componentes del sistema

Para obtener un óptimo seguimiento de las plantas implementamos el uso de sensores para monitorear los nutrientes y evaluar el crecimiento de este.

5.1. Microcontrolador ESP 32

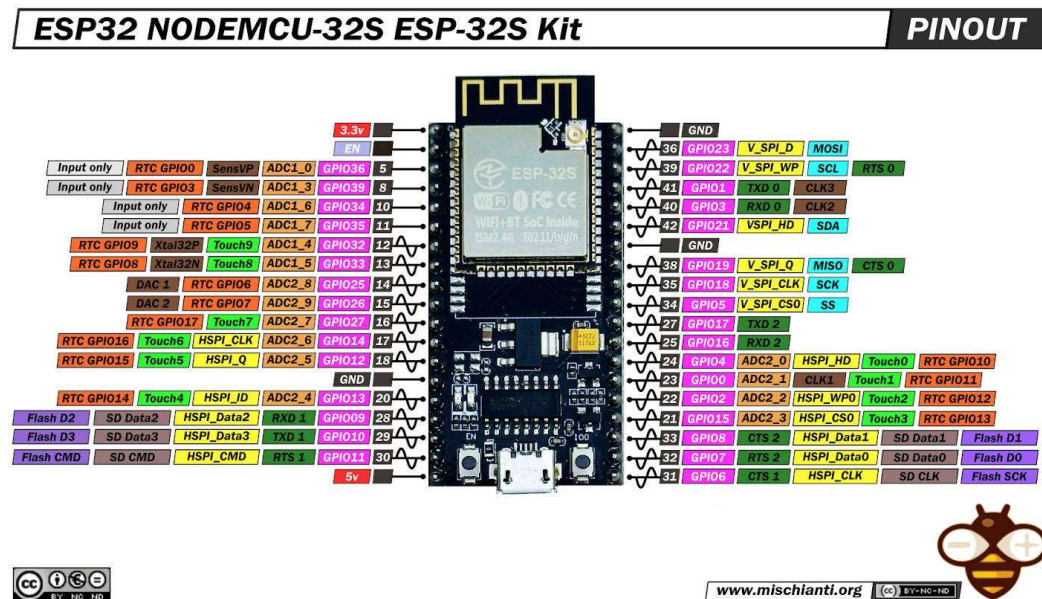
El ESP32-WROOM es un microcontrolador potente y versátil que constituye el cerebro de este sistema de cultivo indoor. Se eligió por sus numerosas características que lo hacen ideal para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT) y control en tiempo real:

- **Procesador Dual-Core:** Su arquitectura de doble núcleo permite ejecutar múltiples tareas de manera eficiente, como la lectura de sensores, el control de actuadores, la gestión de la interfaz de usuario (display OLED y botones) y la posible conectividad inalámbrica (Wi-Fi y Bluetooth).
- **Conectividad Wi-Fi y Bluetooth:** La capacidad de conectarse a redes Wi-Fi facilita la monitorización remota del sistema, la recopilación de datos y la posible integración con plataformas en la nube para análisis o control avanzado. El Bluetooth puede ser útil para la configuración inicial o la comunicación local con otros dispositivos.
- **Gran Cantidad de Pines GPIO:** El ESP32 ofrece una amplia variedad de pines de entrada/salida de propósito general (GPIO), que son esenciales para interactuar con los diversos sensores, relés, el display OLED y los botones utilizados en el sistema.
- **Interfaces de Comunicación:** Incorpora múltiples interfaces de comunicación como I2C, SPI y UART, que son necesarias para la comunicación con los sensores (DHT22, DS18B20, pH, TDS) y el display OLED. La interfaz I2C, en particular, es crucial para la conexión del display y potencialmente algunos sensores.

- **Bajo Consumo de Energía:** A pesar de su potencia, el ESP32 está diseñado para ser eficiente en el consumo de energía, lo cual es importante para aplicaciones que podrían considerar la alimentación por batería en el futuro o simplemente para minimizar el consumo energético general del sistema.

En este sistema de cultivo indoor, el ESP32-WROOM actuará como el centro de control, adquiriendo datos de los sensores, procesándolos según la lógica de control implementada y activando los actuadores (relés para lámparas y bombas, servomotor) para mantener las condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas.

5.1.1. Pines usados del ESP32



Número de Pin	Nombre de Pin	Otro nombre	Uso
1	GND		Conectado a fuentes como común
2	3.3V		Alimenta botones panel control
3	EN		
4	GPIO36	ADC1_0	
5	GPIO39	ADC1_3	
6	GPIO34	ADC1_6	Pin DATOS de Sensor de conductividad
7	GPIO35	ADC1_7	Pin DATOS Sensor de PH
8	GPIO32	ADC1_4	
9	GPIO33	ADC1_5	
10	GPIO25	ADC2_8	PWM Servomotor
11	GPIO26	ADC2_9	Pulsador menu_config
12	GPIO27	ADC2_7	Pulsador menú_up
13	GPIO14	ADC2_6	Pulsador menú_down
14	GPIO12	ADC2_5	Pulsador menú_ok
15	GND		
16	GPIO13	ADC2_4	
17	GPIO9	UI_RXD	
18	GPIO10	UI_TXD	
19	GPIO11	UI_RTS	
20	GPIO6	UI_CTS	

21	GPIO7	U2_RTS	
22	GPIO8	U2_CTS	
23	GPIO15	ADC2_3	Pin DATOS del sensor DHT22
24	GPIO2	ADC2_2	Relay ventilación
25	GPIO0	ADC2_1	Relay iluminación
26	GPIO4	ADC2_0	Relay bomba recirculadora
27	GPIO16	U2_RXD	Relay electroválvula 1
28	GPIO17	U2_TXD	Relay electroválvula 2
29	GPIO5	VSP_SC	Relay electroválvula 3
30	GPIO18	VSPI_CLK	Sensor de nivel agua batea
31	GPIO19	VSPI_MISO	
32	NC		
33	GPIO21	SDA	Pantalla OLED
34	GPIO3	U0-RXD	
35	GPIO1	U0-TXD	
36	GPIO22	SCL	Pantalla OLED
37	GPIO23	VSPI_MOSI	Pin DATOS del Sensor de Temperatura DS18B20
38	GND		

5.2. Sensores de monitoreo en tiempo real

Los sensores que están implementados son los siguientes:

- Sensor de PH (PH-4502C). La medición del ph del agua asegura la absorción de los nutrientes.
- Sensor de conductividad eléctrica TDS. Para medir la concentración de los nutrientes.
- Sensor de temperatura (DS18B20). Temperatura del agua para evitar el estrés de las raíces.
- Sensor tipo flotante de inoxidable, para la medición del nivel del agua.
- Temperatura y humedad ambiental (DHT22).

5.2.1. Sensor de PH

Usar un sensor de pH en un sistema inteligente de cultivo por hidroponía es esencial para garantizar el crecimiento óptimo de las plantas

5.2.1.1. ¿Por qué usar un sensor de pH en hidroponía?

En hidroponía, las plantas obtienen todos sus nutrientes del agua, no del suelo. El pH del agua afecta directamente la disponibilidad de nutrientes. Por lo tanto:

- Si el pH es demasiado ácido o alcalino, ciertos nutrientes no se absorben bien, aunque estén presentes.
- Un rango ideal de pH para la mayoría de los cultivos hidropónicos (como la lechuga) está entre 5.5 y 6.5.

Por eso, monitorear y ajustar el pH es clave para evitar deficiencias nutricionales, mantener plantas saludables y mejorar la productividad.

5.2.1.2. Ventajas del uso de un sensor de pH

- **Automatización del monitoreo:** Permite medir el pH en tiempo real y con frecuencia constante, sin intervención humana.
- **Prevención de problemas nutricionales:** Ayuda a evitar carencias o excesos de nutrientes causados por pH desequilibrado.
- **Mayor productividad:** Un pH bien controlado favorece el crecimiento rápido y saludable de las plantas.
- **Ahorro de insumos:** Detectar desequilibrios a tiempo evita el uso excesivo de fertilizantes o soluciones correctoras.
- **Integración en sistemas inteligentes:** Puede conectarse a un ESP32 y combinarse con actuadores para corregir automáticamente el pH.

5.2.1.3. Desventajas del uso de un sensor de pH

- **Requiere calibración regular:** Los sensores de pH deben calibrarse con soluciones buffer (generalmente pH 4 y 7) para mantener la precisión.
- **Desgaste y vida útil limitada:** El electrodo se desgasta con el tiempo y el sensor puede deteriorarse, especialmente en entornos con muchos nutrientes.
- **Sensibilidad a la temperatura y al entorno:** Las lecturas pueden variar si no se compensa la temperatura o si el sensor no está bien mantenido.
- **Costo:** Un buen sensor de pH puede ser más costoso que otros sensores simples. Además, se deben considerar los costos de mantenimiento.
- **Interferencia eléctrica:** En sistemas con múltiples sensores o bombas, puede haber ruidos eléctricos que afecten la lectura si no se aíslan correctamente.

5.2.1.4. Especificaciones del sensor de PH utilizado

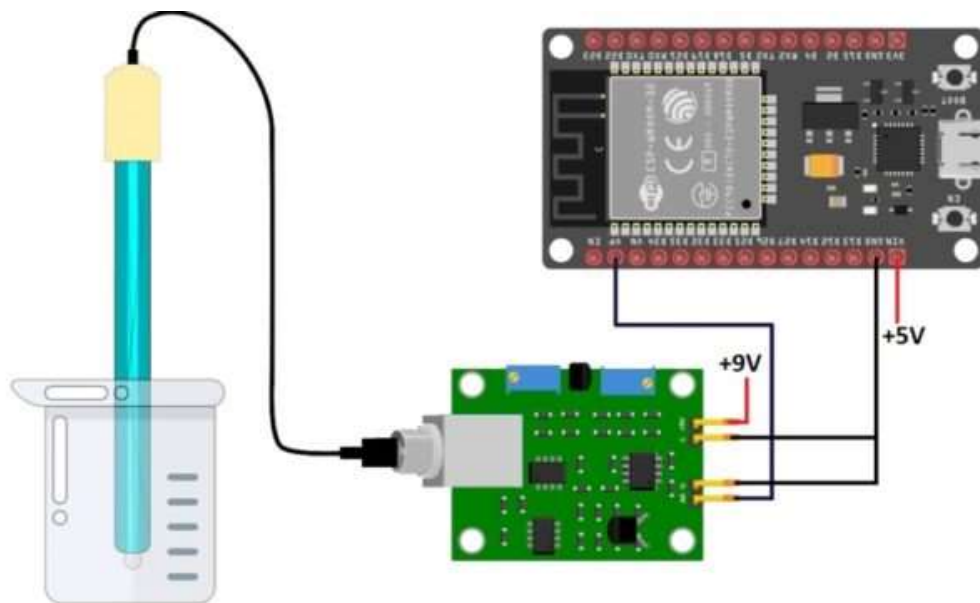
- Potencia del módulo: DC 9.00V 1A
- Rango de medición: 0-14PH
- Precisión: $\pm 0.1\text{pH}$ (24)
- Tiempo de respuesta: 1min
- Electrodo de pH de la industria con conector BNC
- Indicador de Potencia LED
- Salida: Valores analógicos en el rango de (0.5V a 3V)
- Error de Alkali: 0.2PH
- Resistencia Interna: 250MO

Por primera vez se realiza la calibración del sensor y para ello, cortocircuitando el pin central del BNC con la parte externa del conector. Con un multímetro medimos la tensión entre GND y Datos. Ajustamos el potenciómetro hasta obtener un valor de 1.65 VCC. Esto es la mitad de 3.3 VCC. Este dato es importante, ya que las entradas analógicas del ESP32 manejan tensiones de 3.3V



5.2.1.5. Vinculación del sensor de PH con el ESP

Número de Pin	Nombre de Pin	Parte	Conexión
1	+3.3V	Sensor de PH	+3.3 V
2	GND	Sensor de PH	GND
3	GND	Sensor de PH	GND
4	Datos	Sensor de PH	GPIO34



5.2.1.6. Ciclo de uso típico en un sistema inteligente:

- Leer valor analógico del sensor.
- Convertir a pH con fórmula calibrada.
- Verificar si el pH está fuera del rango ideal (ej. <5.5 o >6.5).

- Activar bombas para agregar ácido/base si es necesario.
- Repetir antes y después de la etapa de iluminación.

5.2.1.7. Mantenimiento del sensor

- Siempre mantén el electrodo húmedo con solución de almacenamiento.
- Nunca lo limpies con agua destilada pura (puede dañarlo).
- Evita exponerlo al aire por mucho tiempo.
- Limpia suavemente si hay acumulación de algas o sales.

5.2.2. Sensor de conductividad Eléctrica

Usar un sensor de conductividad eléctrica (EC) en un sistema hidropónico inteligente es tan importante como usar uno de pH. La conductividad eléctrica mide la concentración de sales disueltas (nutrientes) en el agua, lo que directamente afecta el crecimiento de las plantas.

5.2.2.1. ¿Por qué usar un sensor de conductividad eléctrica en hidroponía?

En hidroponía, las plantas absorben nutrientes minerales disueltos en agua, como nitratos, fosfatos, potasio, calcio, etc.

La conductividad eléctrica (EC) es una forma indirecta pero efectiva de medir la concentración total de estos nutrientes.

- Si la EC es muy baja, hay falta de nutrientes.
- Si la EC es muy alta, hay riesgo de toxicidad por exceso de sales.

Por eso, medir EC es fundamental para mantener el equilibrio nutritivo del sistema.

5.2.2.2. Ventajas del uso de un sensor de EC

- **Monitoreo continuo de nutrientes:** Te permite saber si la solución nutritiva está en el rango correcto.
- **Ajuste automático:** Puedes automatizar el agregado de nutrientes según los valores detectados.
- **Prevención de problemas de crecimiento:** Detectar deficiencias o excesos a tiempo mejora la salud de las plantas.
- **Optimización del cultivo:** Al mantener una EC estable, se obtiene mejor rendimiento y calidad de cosecha.
- **Ahorro de fertilizantes:** Solo agregas lo necesario según los valores, evitando desperdicio.

5.2.2.3. Desventajas del uso de un sensor de EC

- **Lectura influenciada por temperatura:** La conductividad aumenta con la temperatura. Algunos sensores no compensan esto automáticamente.
- **Calibración necesaria:** Se debe calibrar con soluciones de referencia, igual que con el pH.
- **Requiere limpieza periódica:** Se pueden acumular residuos que alteran la lectura.
- **Vida útil limitada:** Los electrodos pueden degradarse con el tiempo.
- **No mide nutrientes específicos:** Solo muestra la concentración total, no cuánto hay de cada nutriente (nitrógeno, potasio, etc.).

5.2.2.4. Especificaciones del sensor de EC utilizado

- Voltaje de entrada: DC 3.3 ~ 5.5V
- Voltaje de salida: 0 ~ 2.3V
- Corriente de trabajo: 3 ~ 6mA
- Rango de medición de TDS: 0 ~ 1000ppm
- Precisión de medición de TDS: $\pm 10\%$ F.S. (25 °C)
- Interfaz del módulo: XH2.54-3P

- Interfaz de Electrodo: XH2.54-2P

Sonda EC - TDS:

- Número de Aguja: 2
- Longitud Total: 60cm
- Interfaz de conexión: XH2.54-2P
- Color: Blanco
- Sonda Impermeable

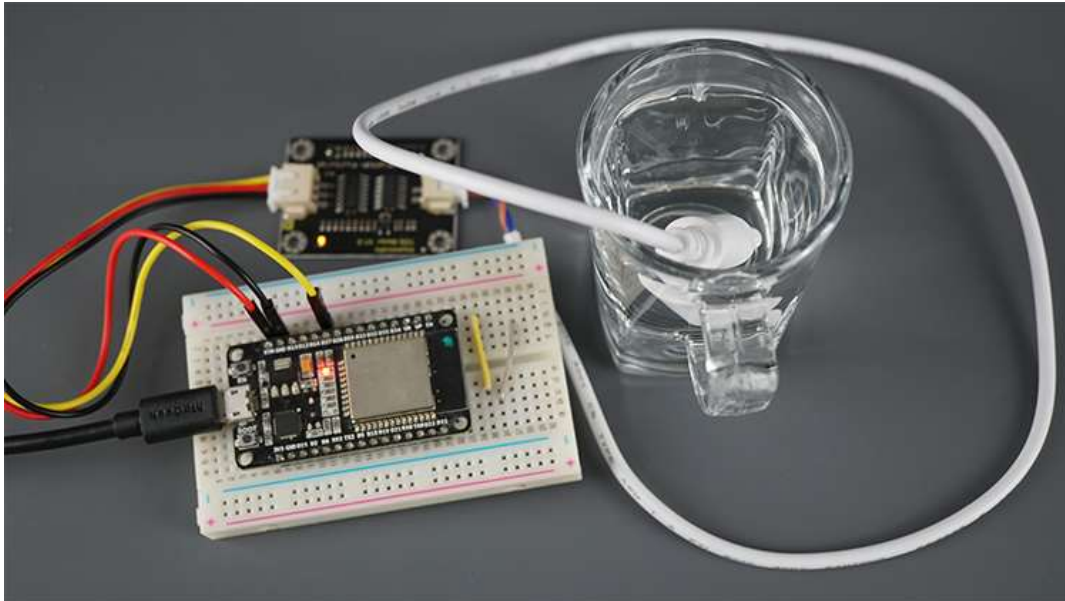
5.2.2.5. Vinculación del sensor de EC con el ESP

El medidor TDS emite una señal analógica que se puede medir utilizando un pin ADC en el ESP32

Conecte el sensor como en la siguiente tabla:

Sensor EC-TDS	Pin del ESP32
GND	GND
VCC	3.3V
Datos	GPIO34

Es muy importante, que este sensor, arroje un valor de 0 ppm al estar en contacto con aire. Caso contrario, puede que este defectuoso o algún error en la placa TDS.



5.2.2.6. Rango ideal para hidroponía (lechuga)

- EC ideal: 1.0 a 2.4 mS/cm o 1000 a 2400 μ S/cm
- Si EC < 1.0 → Agregar nutrientes
- Si EC > 2.4 → Diluir con agua

Debemos de tener en cuenta el agua utilizada, ya que el agua filtrada tenía una conductividad eléctrica de 168-9, en cambio el agua de red tenía una conductividad eléctrica de 163-4 ppm. Siendo ppm partes por millón.

5.2.2.7. Mantenimiento

- Limpiar los electrodos regularmente con agua limpia.
- Evitar el contacto con detergentes o productos químicos abrasivos.
- No dejar el sensor seco si es de inmersión continua.

5.2.3. Sensor de Temperatura sumergible

Usar un sensor de temperatura como el DS18B20 en un sistema de cultivo hidropónico inteligente es fundamental para controlar el ambiente del agua donde se desarrollan las raíces. La temperatura del agua influye directamente en la absorción de oxígeno, nutrientes y el crecimiento general de las plantas.

5.2.3.1. ¿Por qué usar un sensor de temperatura (DS18B20) en hidroponía?

En hidroponía, el agua es el medio principal de vida, por lo tanto, su temperatura afecta:

- La solubilidad del oxígeno disuelto (menos oxígeno a mayor temperatura).
- La eficacia de absorción de nutrientes.
- El riesgo de crecimiento de algas o bacterias.
- El estrés térmico en las raíces, que afecta directamente el crecimiento.
- Rango óptimo de temperatura del agua para lechuga: 18°C a 22°C.

5.2.3.2. Ventajas del uso del sensor DS18B20

- **Alta precisión y estabilidad:** $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ de precisión en un amplio rango (-10 a $+85^{\circ}\text{C}$).
- **A prueba de agua (en su versión encapsulada):** Ideal para inmersión directa en el depósito de agua.
- **Comunicación digital (1-Wire):** Solo necesita un pin digital para múltiples sensores.
- **Identificación única:** Puedes conectar varios DS18B20 en el mismo pin y diferenciarlos por su código único.
- **Fácil integración con ESP32 y Arduino:** Bien soportado por bibliotecas como OneWire y DallasTemperature.

5.2.3.3. Desventajas del uso del sensor DS18B20

- **Velocidad de respuesta moderada:** No es instantáneo, puede tardar 750 ms en una conversión.
- **Sensibilidad a interferencias si el cableado es largo:** En distancias largas se necesita buena práctica de cableado (resistencia pull-up adecuada).
- **No mide temperatura del aire:** Solo se recomienda para líquidos (si está encapsulado), no para ambiente si está en una carcasa impermeable.
- **No mide humedad:** Es solo temperatura. Para ambiente se usa DHT22 u otros sensores.

5.2.3.4. Mantenimiento

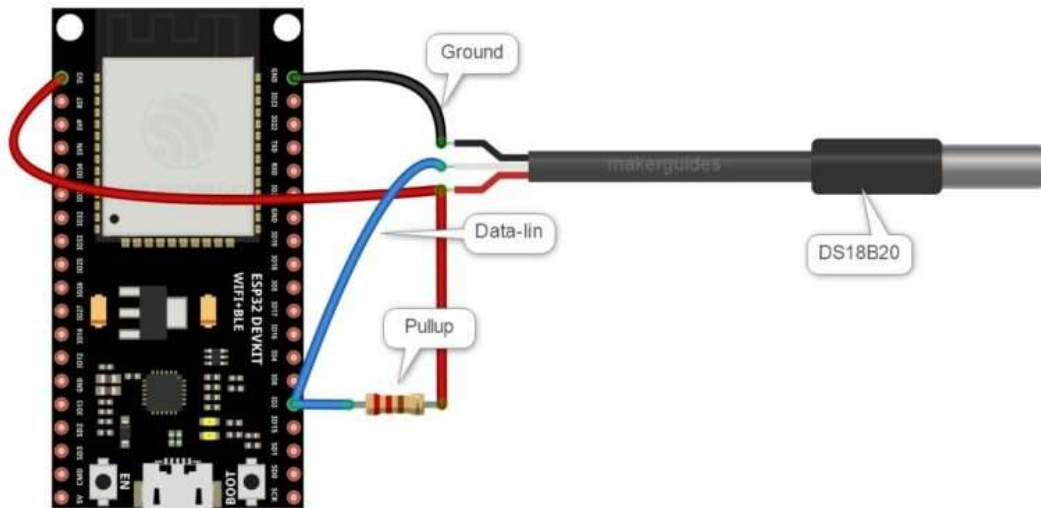
- No necesita mucho mantenimiento si está bien encapsulado.
- Verifica que no haya corrosión o roturas en el cableado.
- Si notas valores incorrectos, revisa la resistencia pull-up y las conexiones.

5.2.3.5. Conexión de Sensor de temperatura (DS18B20)

Conectamos los cables de la siguiente manera:

Número de Pin	Nombre de Pin	Parte	Conexión
1	GND	Sensor de Conductividad	GND
2	VCC	Sensor de Conductividad	3.3 V
3	Datos	Sensor de Conductividad	GPIO23

En su conexión existe una resistencia de 5.5 kOhm del pin GPIO23 a la conexión de VCC previo a la conexión de este.



5.2.4. Sensor de Temperatura y humedad DHT22

Usar un sensor de temperatura y humedad DHT22 en un sistema de cultivo hidropónico inteligente es clave para controlar el microclima alrededor de las plantas. Aunque las raíces están en agua, las hojas y tallos están expuestos al aire, y su desarrollo depende en gran parte de la temperatura y humedad ambiental.

5.2.4.1. ¿Por qué usar un sensor DHT22 en hidroponía?

El DHT22 permite medir:

- Temperatura ambiental (no del agua).
- Humedad relativa del aire.

Esto es útil para:

- Controlar el ambiente del invernadero o caja de cultivo.
- Activar ventiladores, humidificadores o deshumidificadores.
- Evitar condiciones que favorecen hongos o enfermedades.

- Optimizar la transpiración de las plantas (que afecta la absorción de nutrientes).

La Temperatura ambiente ideal para lechuga: 18°C a 24°C con una humedad relativa ideal: 50% a 70%

5.2.4.2. Ventajas del uso del DHT22

- **Mide dos variables a la vez:** Temperatura y humedad relativa.
- **Buena precisión para proyectos caseros:** $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y $\pm 2-5\%$ de humedad.
- **Fácil integración con ESP32 y Arduino:** Bibliotecas disponibles y código muy simple.
- **Económico y bajo consumo energético:** Ideal para sistemas pequeños o alimentados por batería.
- **Lectura digital directa:** No requiere conversión analógica \rightarrow digital.

5.2.4.3. Desventajas del uso del DHT22

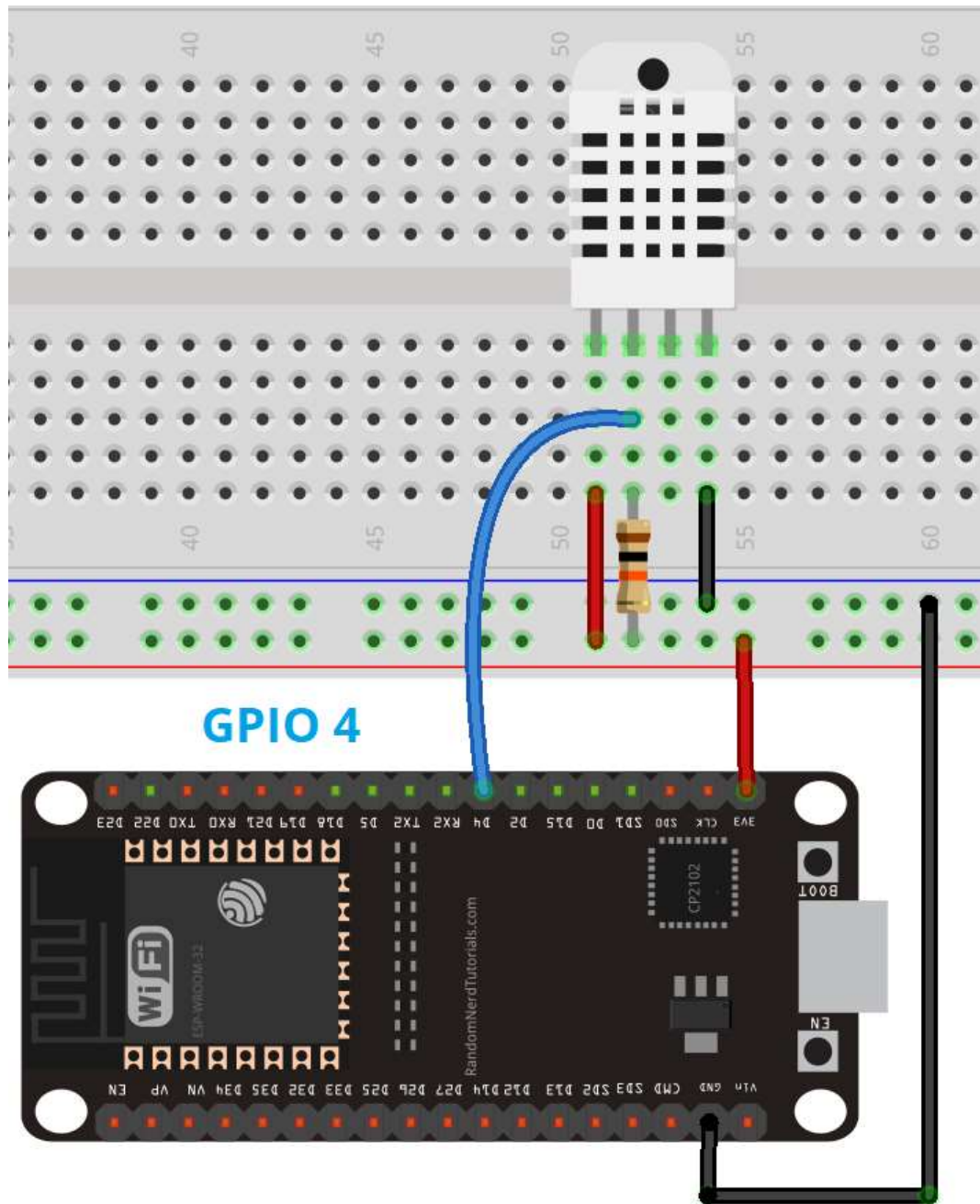
- **Lectura lenta:** Solo permite una lectura cada 2 segundos.
- **No es muy resistente a la humedad extrema o al agua directa:** Se debe colocar en un lugar protegido o usar una carcasa.
- **No es ultra preciso para aplicaciones profesionales:** Para cultivos comerciales se prefiere el sensor SHT31 o BME280.
- **Cableado delicado si es largo:** En distancias largas, se recomienda usar una resistencia pull-up ($10\text{k}\Omega$) y cables blindados.

5.2.4.4. ¿Qué puedes hacer con este sensor en tu sistema hidropónico?

- Activar los ventiladores si hay sobrecalentamiento.
- Encender humidificadores y nebulizadores si hay sequedad.
- Registrar las condiciones ambientales para analizar su efecto en el crecimiento.
- Mostrar los datos en una pantalla (ej. ILI9341).

	DHT22
Rango de temperatura	- 40 a 80 °C \pm 0.5 °C
Rango de humedad	0 A 100% \pm 2%
Resolución	Humedad: 0.1% Temperatura: 0.1 °C
Voltaje de funcionamiento	3 – 6 V DC
Suministro actual	1 – 1.5 mA
Período de muestreo	2 Segundos

pin DHT	Conectarse a
1	5V
2	GPIO15
3	
4	GND



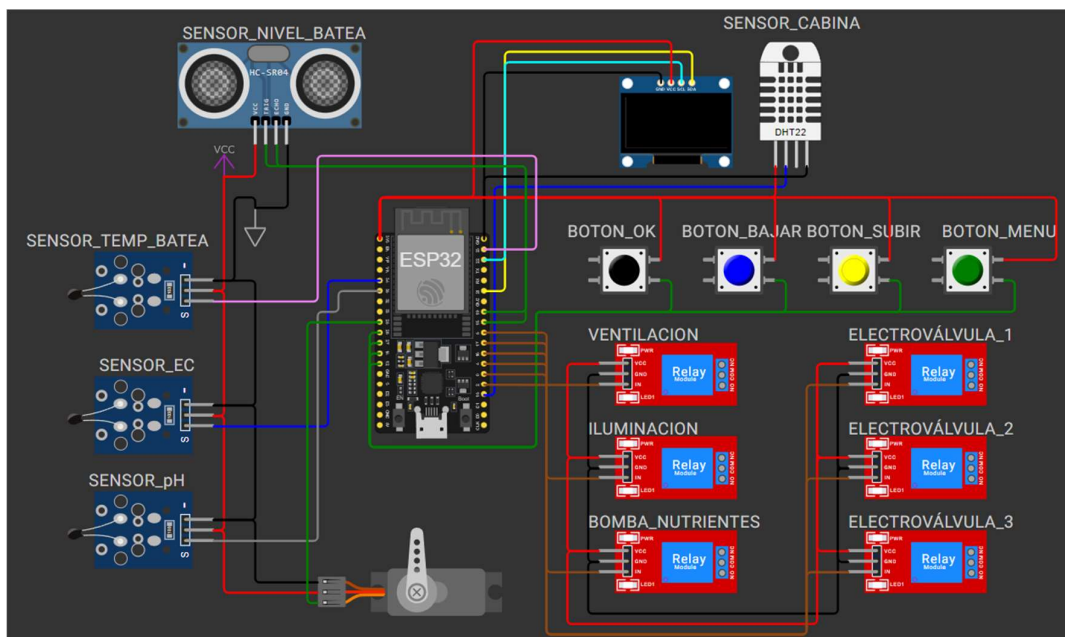
6. Sistema de automatización y control

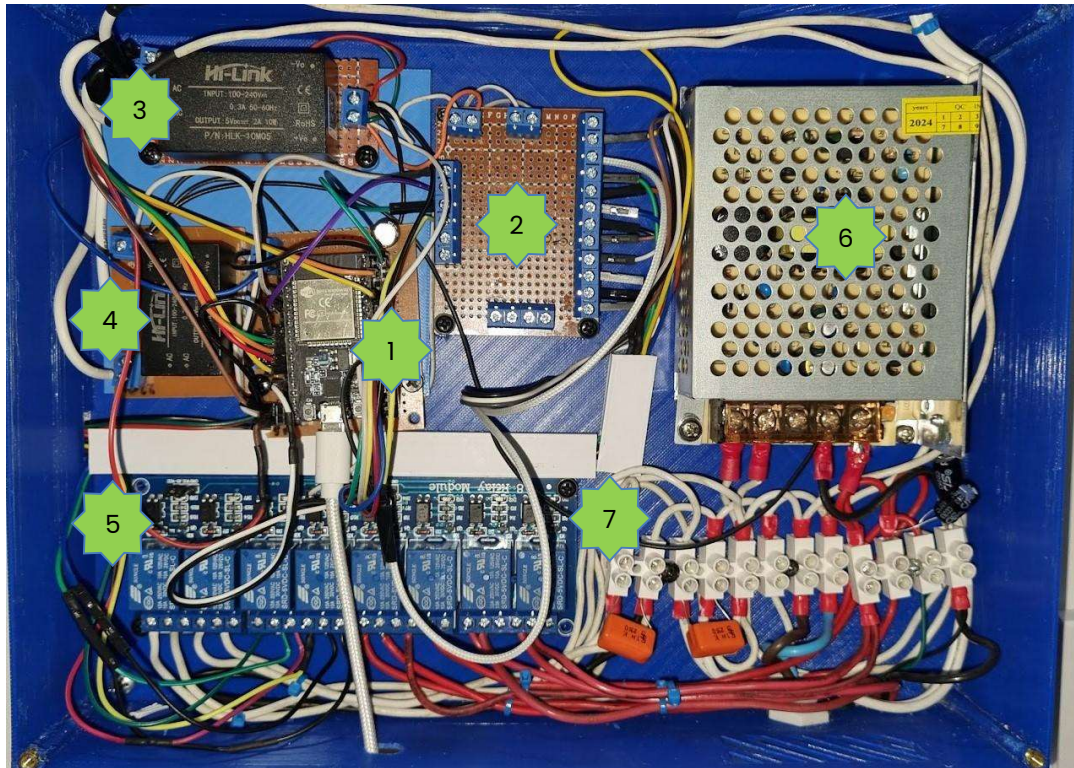
Para nuestro sistema se utiliza el procesador ESP32-NODEMCU para manejar todo el sistema,

- Bomba de agua
- válvulas solenoides para nutrientes y reguladores de pH
- Ventilación e iluminación
- Lectura de sensores
- Panel de control, donde visualizaremos el estado del sistema, ajuste de parámetros y control manual de salidas.

6.1. Esquema del Procesador principal

El sistema maestro de la máquina consta de lo siguientes componentes:

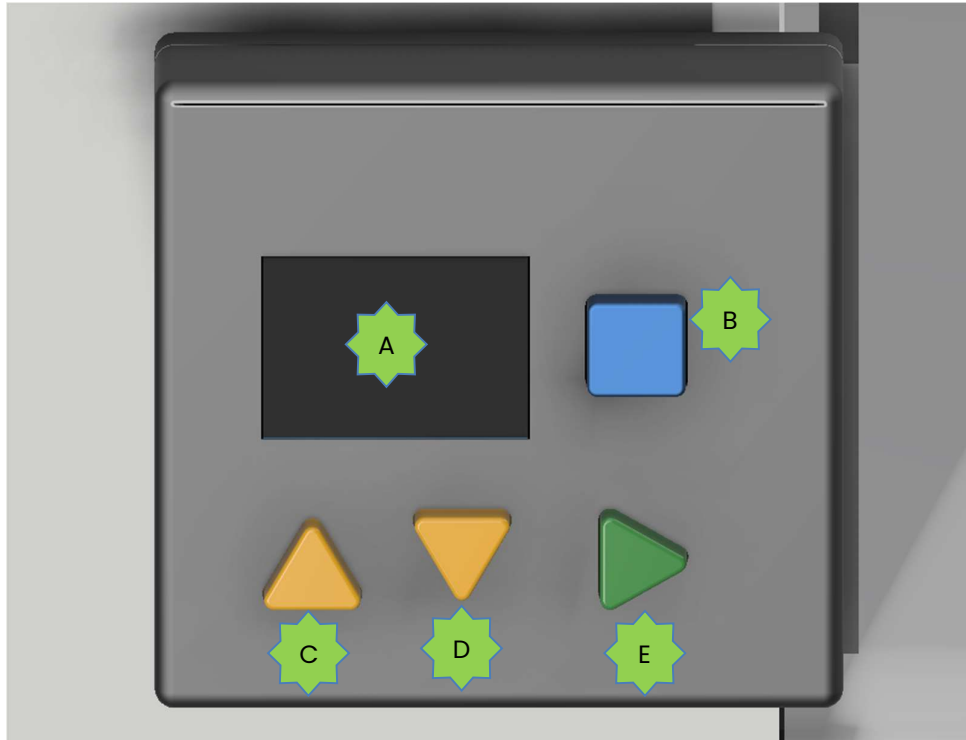




1. Placa ESP32
2. Placa sensores. Lleva alimentación de 5vcc y 3.3vcc para alimentar los distintos sensores. A la izquierda son las señales que van al ESP32 y la derecha las distintas conexiones a sensores.
3. Fuente aislada 220 vca salida 5vcc 2 A. Utilizada para alimentar el modulo relay y la placa sensores
4. Fuente aislada 220 vca salida 5vcc 1 A. Utilizada para alimentar el ESP32.
5. Modulo relay de ocho canales.
6. Fuente switching 220 vca salida regulada 12 vcc 5 A. Alimenta la bomba de diafragma y las tres electroválvulas.
7. Bornera de alimentación.

6.2. Interfaz

La interfaz de usuario se diseñó para ser fácil e intuitiva. El panel de control dispone de una pantalla Oled y cuatro pulsadores, con los cuales podemos navegar entre pantallas y ajustar parámetros.



- A. Pantalla Oled.
- B. Pulsador 'Menú'. Permite desplazar entre pantallas.
- C. Pulsador 'Arriba'. Permite aumentar valores numéricos y desplazamiento en pantalla manual.
- D. Pulsador 'Abajo'. Permite disminuir valores numéricos y desplazamiento en pantalla manual.
- E. Pulsador 'Ok'. Confirma los valores seteados en parámetros, encender y apagar salidas en pantalla manual e iniciar programa.

6.2.1 Pantallas de menú

Como se mencionó con anterioridad, la interfaz posee seis pantallas que se describirán a continuación

Primera pantalla



Los datos que podemos visualizar son la temperatura de la batea o solución nutritiva y el volumen.

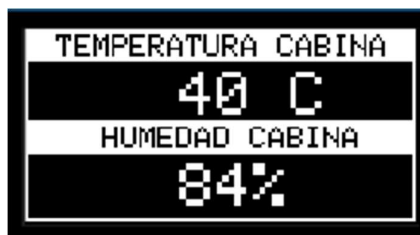
También ajustamos los parámetros del sistema con los que va a estar funcionando. El numero de etapa indica, justamente, en que etapa de crecimiento nos encontramos. Por ejemplo, para una germinación sería la etapa 1.

Los días indican la duración de la etapa.

pHm indica el valor mínimo de pH y pHM el valor máximo.

ECm indica el valor mínimo de conductividad eléctrica y ECM el valor máximo.

Segunda pantalla



Visualización de la temperatura y humedad de la cabina. Este valor es el medido por el sensor DHT22.

Tercera pantalla



Visualización de pH. Presionando el botón 'OK' activa el servomotor, para sumergir el sensor y a su vez desactiva el sensor TDS, para evitar interferencias en la lectura.

Cuarta pantalla



Visualización de conductividad eléctrica. Al presionar el botón 'OK' se desactiva el sensor pH y habilita el sensor TDS.

Quinta pantalla



Esta pantalla sirve para controlar las salidas de manera manual, para testear componentes o hacer algunos ajustes de manera manual. En primera instancia tenemos como 'VENT.' La ventilación de la cabina, 'ILUM.' Iluminación, 'BOMBA' la bomba recirculadora, 'EV1' la electroválvula que dosifica el regulador de pH+, 'EV2' la electroválvula que dosifica el regulador de pH- y 'EV3' la electroválvula que dosifica los nutrientes.

Sexta pantalla



En esta pantalla, presionando el botón 'OK' damos inicio al ciclo. También visualizamos algunos datos importantes sobre este.

Días transcurridos desde el inicio, la frecuencia con la que se realiza la recirculación, cada doce horas y la duración de esta, que es de dos horas.

Las horas de duración de la iluminación, ya establecido en dieciséis horas.

7. Costos del prototipo

Descripción del Producto	Cantidad	Precio Unitario	C.U.uSd	Proveedor
Contenedor Plástico 10 L	1	5990	5,48	Supermercado Carrefour
Lampara Panel Led Indoor Cultivo 50 W Full Spectrum	1	29.132	26,62	Mercado Libre
Display Oled 0.96 Azul Amarillo 128x64 I2c Ssd1306	1	14519	13,25	Mercado Libre
Cable Micro Usb	1	10999	10,08	Supermercado Coto
ESP32S	2	20443,99	37,48	Mercado Libre
Placa Base Mother Screw Shield Nodemcu Esp32 Wroom 38 Pines	1	18567,99	17,02	Mercado Libre

Modulo Sensor De Calidad De Agua				Mercado
Tds Sonda Analogico Arduino	1	28442,99	26,07	Libre
Módulo Y Sensor De Ph-4502c Para				Mercado
Jardín Fermentacion Arduino	1	51157	46,89	Libre
Sensor De Temperatura Sumergible				Mercado
Ds18b20 Arduino Todomicro	1	11799,99	10,82	Libre
Esp32 Cam Ov2640 + Placa Base				Mercado
Programador Esp32-cam-mb	1	31843,99	29,13	Libre
Bomba De Agua Sumergible Sobo Wp				Mercado
3200 60cm 300l/h 5w Fuente	1	18292,99	16,71	Libre
				Mercado
Reductor de Ph Ácido Fosfórico - 60 cc	1	4.251,00	3,88	Libre
Recortes melamina espesor 18 mm	1	24.500	22,36	Easy
Mini Servo Tower Pro Mg90 1.8kg				Mercado
Servomotor Engranaje Arduino	1	5840	5,33	Libre
Impresiones 3D - Canastos, soporte				
Display	1	60000	54,77	Anter 3D
Turbina Cooler Fan Extractor 220v				
Ruleman 4 Pulgadas 120x38m	2	19468	35,53	
				Mercado
Esponja suave 1 u.	1	1990	1,82	Libre
Semilla Lechuga Mantecosa	1	1199	1,1	
Módulo De Potencia 8 Vías Salida A				Mercado
Rele Compatible C/arduino	1	28441,19	25,96	Libre
Bornera Divisible Resistente P/cable				Mercado
2,5mm x 5 unidades	1	18621,99	16,99	Libre

Presupuesto total: [\$] 386878,12

Presupuesto total: [u\$d] 480,30

Los plazos de entrega existentes para compras realizadas en mercado libre de estos puntuales productos tienen un plazo de 1 a 3 días para la entrega. Las entregas se encuentran siendo entregadas dentro del plazo de las primeras 24 hs en los días laborales (excluyendo los días domingos y feriados).

8. Cronograma de trabajo

Diagrama de Gantt

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1WJwwtmo1ZOmqqn9Zxp-8Kr7q29bAdxEQrcd8iaJ9JY4/edit?usp=sharing>

9. Plataforma de monitoreo y control

10. Integración de Inteligencia Artificial

11. Conclusión

15. Bibliografía

asd

16. Links

- Detalles de pines del ESP principal.
<https://wokwi.com/projects/427135613235984385>
- Diagrama de Gantt.
<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1WJwwtmo1ZOmqnn9Zxp-8Kr7q29bAdxEQrcd8iaJ9JY4/edit?usp=sharing>