



Universidad del  
Rosario

Escuela de Ingeniería,  
Ciencia y Tecnología



MACC  
Matemáticas Aplicadas y  
Ciencias de la Computación

---

# CONCURSO LATINOAMERICANO DE PROYECTOS ESTUDIANTILES EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y EMPRENDIMIENTO

## PROYECTO MULTIMEDIA – INFOMATRIX LATINOAMÉRICA MATICAS

---

**NÚMERO DE PROYECTO:** 23661

**INTEGRANTES:** DAVID SANTIAGO FLÓREZ ALSINA

**ASESOR:** MARIO FERNANDO JIMÉNEZ HERNÁNDEZ

**ESCUELA:** ESCUELA DE INGENIERÍA CIENCIA Y TECNOLOGÍA,  
UNIVERSIDAD DEL ROSARIO

**NIVEL EDUCATIVO:** UNIVERSITARIO

**CATEGORÍA:** HARDWARE CONTROL

**SEDE:** COLOMBIA

**FECHA:**  
ABRIL 2022

# Índice

<b>1. Sumario</b>	<b>2</b>
<b>2. Introducción</b>	<b>4</b>
<b>3. Justificación</b>	<b>5</b>
<b>4. Problema</b>	<b>7</b>
4.1. Hipótesis . . . . .	8
<b>5. Objetivos</b>	<b>9</b>
5.1. Objetivo General . . . . .	9
5.2. Objetivos Específicos . . . . .	9
<b>6. Revisión bibliográfica / Referencial teórico</b>	<b>10</b>
<b>7. Metodología y Materiales</b>	<b>12</b>
7.1. Metodología . . . . .	12
7.2. Materiales empleados en hardware . . . . .	15
7.3. Materiales empleados en software . . . . .	16
7.4. Materiales empleados en prototipado . . . . .	16
<b>8. Resultados</b>	<b>17</b>
8.1. Resultados en hardware . . . . .	17
8.2. Resultados en software . . . . .	21
8.3. Resultados Prototipado . . . . .	25
<b>9. Discusión</b>	<b>29</b>
<b>10. Conclusiones</b>	<b>31</b>
10.1. Posibilidades a futuro . . . . .	32
10.2. Anexo (Foto de líder del proyecto y profesor asesor) . . . . .	32
<b>11. Referencias</b>	<b>33</b>

## Sumario

Maticas es un proyecto que busca contribuir al desarrollo de la agricultura de precisión y a la seguridad alimentaria en el mundo desde Bogotá D.C, a través del acceso abierto a la información necesaria para crear sistemas de cultivo automatizados e inteligentes (código, esquemáticos, recomendaciones, etc.), usando recursos como el análisis de datos y el internet de las cosas.

Esta propuesta busca reducir costos de producción, facilitar los procesos de agricultura urbana y mejorar la calidad del producto, utilizando un proceso de hidroponía automatizado. De esta forma, el sistema podrá ser monitoreado y manipulado en tiempo real. Adicionalmente, este prototipo cumple con las especificaciones necesarias para recolectar, almacenar, transmitir datos y así construir una base de información donde se alojen algoritmos de control y predicción de variables relacionadas con tiempos para la calidad del cultivo y del ambiente, entre otros.

El desarrollo de este proyecto está basado en unas etapas definidas en las que prima el diseño ingenieril, partiendo desde una revisión del estado del arte donde se buscaron fuentes que aportarán los datos y el conocimiento necesario para la ejecución de las siguientes etapas, donde se realizaron los diseños, la construcción del prototipo, la construcción de la plataforma web de adquisición y supervisión de datos. Las etapas finales están basadas en el seguimiento del crecimiento de los diferentes vegetales que allí estarán plantados, con

ello el tiempo de recolección de datos es relativo frente a otras donde se puede tener alguna estimación cercana de acuerdo al cronograma de desarrollo, se espera que a través del software podamos predecir los tiempos de cosecha de los diferentes alimentos.

En este momento el proyecto se encuentra en la etapa de finalización de la construcción del prototipo del sistema de pruebas para así continuar con la etapa de toma de datos y el respectivo análisis de los mismos. Sin embargo, con los resultados de la construcción del prototipo se tiene el control de las variables como temperatura ambiente, temperatura del agua, ph, humedad y electroconductividad. Con esto se plantearon diferentes tipos algoritmos de control automático que se esperan que cumplan con los objetivos y se logre estar acorde con la hipótesis planteada

## Introducción

En la actualidad se ha evidenciado que un 8,9 % de la población mundial padece hambre por ello surge la necesidad de producir alimentos de manera eficiente y así asegurar que los sistemas de producción puedan satisfacer tal demanda en aumento [1, 2] [3]. Al hacer más ubicua la agricultura de precisión, podemos aumentar la producción, que hará mucho más asequible los alimentos de la canasta diaria apoyando con ello la seguridad alimentaria.

Para cumplir con nuestro propósito, creamos un sistema de cultivo hidropónico vertical automatizado, que mide temperatura ambiental, temperatura del agua, pH, cantidad de nutrientes en agua, cantidad de luz, humedad relativa y presión atmosférica. Basado en estas medidas y en una configuración ingresada por el usuario nuestro sistema de cultivo es capaz de encargarse del cuidado de las plantas en lo que respecta a control de acidez del agua, nivel de nutriente, regado de las plantas e iluminación necesaria.

En el desarrollo de esta propuesta se ha evidenciado que la implementación de los sistemas ingenieriles en el entorno agrícola aportan herramientas para el apropiamiento de la producción de alimentos en un entorno pensado en la familia, sin embargo se espera que con los resultados obtenidos a partir de la implementación de diferentes estrategias de control se pueda concluir si el sistema “Maticas” cumple con la necesidad de producción agrícola y que su costo final sea accesible para el ciudadano promedio.

# 3

SECTION

## Justificación

Se estima que la población urbana en América Latina y el Caribe supera el 80 % del número de personas que pertenecen a dicha región [4]. De este porcentaje, el 50 % viven en estado de pobreza y el 25 % viven por debajo del límite de pobreza [5]. Según la FAO, los productos alimenticios tenían precios muy altos y esta tendencia seguiría durante los años siguientes [6]. Por otro lado, en el año 2010, la Encuesta Nacional de la Situación Nutricional (ENSIN) demostró que el 40,8 % de los hogares colombianos sufrían de inseguridad alimentaria, y que el promedio de consumo de hortalizas y frutas per cápita era de 30 g diarios, mientras que la Organización Mundial de la Salud (OMS) sugiere que el consumo diario debe ser de 400g. Adicionalmente, el estudio demostró que una persona que vive en las ciudades gasta un 30 % más de alimentos que los habitantes rurales y que en las principales ciudades como Bogotá, el 60 % de los ingresos de las personas son destinados a alimentos [7].

Con el aumento de la pobreza en los países y la migración de la población rural a las grandes ciudades, es necesario buscar diferentes mecanismos que permitan a estas personas adaptarse a un nuevo estilo de vida propio de las ciudades. Lo ideal sería que este tipo de población ejerciera oficios que ya conocen, dando lugar a la agricultura urbana, que aunque no nació como consecuencia de la situación migratoria hacia las ciudades, si puede ser una herramienta que puede contribuir en esta situación. La agricultura urbana no solo permite generar alimentos suficientes para abastecer un hogar, sino que también, se estima que la población urbana en América Latina y el Caribe supera el 80 % del número de personas que pertenecen a dicha región [4]. De este porcentaje, el 50 % viven en estado de

pobreza y el 25% viven por debajo del límite de pobreza [5]. Según la FAO, los productos alimenticios tenían precios muy altos y esta tendencia seguiría durante los años siguientes [6]. Por otro lado, en el año 2010, la Encuesta Nacional de la Situación Nutricional (ENSIN) demostró que el 40,8% de los hogares colombianos sufrían de inseguridad alimentaria, y que el promedio de consumo de hortalizas y frutas per cápita era de 30 g diarios, mientras que la Organización Mundial de la Salud (OMS) sugiere que el consumo diario debe ser de 400g. Adicionalmente, el estudio demostró que una persona que vive en las ciudades gasta un 30% en alimentos que los habitantes rurales y que en las principales ciudades como Bogotá, el 60% de los ingresos de las personas son destinados a alimentos [7].

Dentro de las técnicas que forman parte de la agricultura urbana, se destaca la hidroponía, en donde el cultivo no se realiza en suelo o tierra, como sucede en los cultivos convencionales. En lugar de esto, se utiliza una sustancia rica en nutrientes, necesarios para que la planta crezca. Dicha sustancia entra en contacto directo con las raíces, ocasionando que la planta no gaste energía en generar raíces largas para buscar nutrientes. Por el contrario, la energía se gasta en generar hojas más grandes [8]. Por otro lado, al no usar el suelo, se abre la posibilidad de generar estructuras en vertical para los cultivos, tener cultivos más limpios, y la sustancia rica en nutrientes puede ser reutilizada [8].

De esta forma, la creación de mecanismos que permitan el desarrollo de la agricultura urbana de manera sencilla se hace necesaria. Por esta razón, en este proyecto se plantea el desarrollo de un prototipo de huerta doméstica, aplicando la técnica de hidroponía para la producción de hortalizas en casa, es decir, que pueda funcionar en espacios cerrados. Adicionalmente, se implementó un sistema de sensores para las variables ambientales principales y un control automático para el sistema de riego para convertirse en una fuente de ingreso [7].

## Problema

Según el Banco Mundial, en el 2010 habían 6922 mil millones de personas, para el 2020 ese número aumentó a 7762 mil millones, un aumento del 12% [1], a la fecha las Naciones Unidas estiman una población actual superior a los 7920 mil millones y para el 2025 se pronostica seremos 8184 mil millones de habitantes [2]. Si bien, no parece un cambio significativo, supone un aumento de 998 mil millones de humanos que deben suplir su necesidad de alimentarse. Lo anterior conlleva a un descomunal aumento en la demanda mundial de alimentos frente a la cual se deben tomar medidas concretas.

Una forma de cultivo que ha demostrado muy buenos resultados (crecimiento de plantas más rápido y mejor uso de recursos) es la hidroponía en conjunto con la agricultura de precisión. E, este tipo de agricultura consiste en un conjunto de tecnologías que buscan optimizar la producción agrícola a través del manejo de la variabilidad de los factores de producción del cultivo [9]. Hoy en día Holanda es el segundo exportador de productos agrarios en el mundo solo por detrás de USA [10]. S, sin embargo, este país tiene solo la mitad de la superficie (41.543 km<sup>2</sup>) que el departamento de Caquetá Colombia. Su secreto está en el uso de agricultura de precisión, invernaderos e hidroponía [9].

No obstante, hoy por hoy el 30% de los alimentos que consumimos los colombianos es importado [11], lo que implica que debe pasar largas cadenas de transporte las cuales a su vez son contaminantes y encarecen los precios de los productos sin agregarles valor. También

se ha visto un aumento en el importe de productos como Café, té, cacao, especias y sus derivados [12], productos que podrían producirse directamente en Colombia.

Adicionalmente el 8.9 % de la población mundial padece hambre [3], para ayudar a mejorar este panorama global y local, nos hemos propuesto analizar la viabilidad de crear un sistema de cultivos hidropónicos automatizados, de código y acceso abierto, que contribuya a generar una revolución agroindustrial en Colombia y en distintas zonas del mundo.

#### **4.1. Hipótesis**

Los sistemas automatizados basados en la agricultura de precisión permiten complementar las necesidades alimenticias de los diferentes tipos de hogares, a raíz de que este tiene la capacidad de producir una cosecha en un tiempo determinado y en una menor área.

# Objetivos

## 5.1. Objetivo General

Comprobar experimentalmente la efectividad de los cultivos hidropónicos con el fin de reducir el hambre a nivel mundial. Por medio de la creación de un prototipo centrado en el usuario donde resalte su facilidad de uso.

## 5.2. Objetivos Específicos

1. Implementar un sistema de riego que opere de acuerdo a las mediciones ambientales de la temperatura, presión atmosférica, nivel de ph, electroconductividad y nivel de luz por medio del uso de sensores.
2. Desarrollar una aplicación web cuya funcionalidad permita al usuario controlar las tareas de la huerta, así como la visualización de estadísticas sobre las condiciones de los datos obtenidos a partir de los sensores.
3. Elaborar un sistema basado en el análisis de los requerimientos, teniendo en cuenta las necesidades del usuario y de los cultivos.

# 6

SECTION

## Revisión bibliográfica / Referencial teórico

La agricultura urbana es el proceso por el cual, se genera una producción de alimentos esenciales para el ser humano desde el casco urbano y sus alrededores. Como consecuencia de esta práctica, es más sencillo abastecer a las personas con productos de mayor calidad y menor precio, ya que estos no deben ser transportados por largos caminos para poder llegar al consumidor [4].

Los cultivos dentro de las ciudades utilizan técnicas de cultivo no convencionales, debido a que no cuentan con el suelo como fuente de nutrientes. Dentro de estas técnicas, se encuentra la hidroponía, la cual es un tipo de cultivo en donde las plantas crecen sin la necesidad de estar sembradas en suelo. La fuente de nutrientes es reemplazada por una sustancia rica en nutrientes [8].

Diferentes desarrollos se han realizado alrededor de la hidroponía. Por ejemplo, en [13] se desarrolló un cultivo de hidropónico de espinaca, en donde se instrumentó variables como: el pH del agua, la temperatura ambiente y la humedad. Dichos sensores solo eran utilizados de manera informativa para saber el estado de las variables. La información de los sensores no se utilizó para el desarrollo de estrategias que permitieran el control de dichas variables. [14] desarrolló un sistema automatizado de cultivo hidropónico en donde se monitorea y controla el nivel de pH y la temperatura ambiente del cultivo. En este trabajo destacan que el cultivo se debe aislar del ambiente para poder tener un mejor control de la temperatura.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que la temperatura ambiente se puede aprovechar de acuerdo al cultivo que se quiera tener. En [15] se desarrolló un cultivo hidropónico con monitoreo de humedad, calidad del agua, temperatura ambiente, temperatura del agua y nivel de luz. Adicionalmente, el control de las variables del cultivo se realizaba por medio de un teléfono celular. En este proyecto se introdujo el fotoperiodo utilizando luz artificial.

En el contexto Colombiano, Carlos J. Toro y Edwin Valenzuela [16], desarrollaron un cultivo hidropónico vertical, en donde se monitorea y controla el nivel y nutrientes del agua de manera automática. Esto permitía tener un proceso que no requiere de un constante cuidado en cuanto a la calidad de los nutrientes que se aplicaban a las plantas. Sin embargo, no se tienen en cuenta otras variables medioambientales que pueden afectar el normal desarrollo del cultivo. Adicionalmente, al tener un cultivo vertical, se puede llegar a tener una mayor cantidad de plantas en un menor espacio. En [17], se desarrolló un sistema de monitoreo y control de un modelo de cultivo hidropónico para la producción de hortalizas en ambientes controlados. A partir del control y monitoreo de la humedad y la temperatura, y un sistema de recirculación del agua, se logra tener un sistema que permite el cultivo de hortalizas en ambientes interiores.

Al incluir estrategias de monitoreo y control de las variables medioambientales dentro de un cultivo hidropónico, se pueden llegar a tener mejores resultados en la producción de diferentes cultivos en cuanto al espacio requerido [17, 18, 19]. En este sentido, es necesario adaptar e involucrar diferentes técnicas de cultivo cuando se trata de utilizar espacios no convencionales. De esta forma, se puede contribuir de manera positiva en la seguridad alimentaria, especialmente, en familias que requieran un auto abastecimiento de su sustento alimenticio, una fuente de economía, o porque simplemente, requieren un alimento fresco y saludable.

# 7

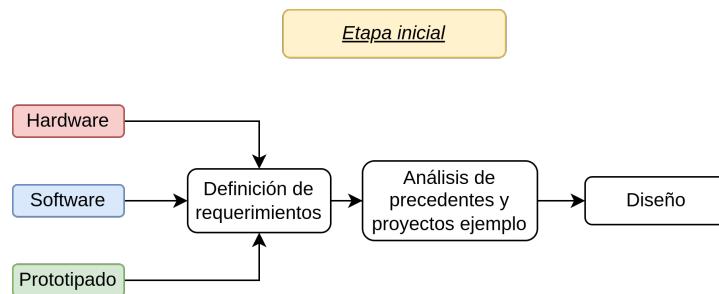
SECTION

## Metodología y Materiales

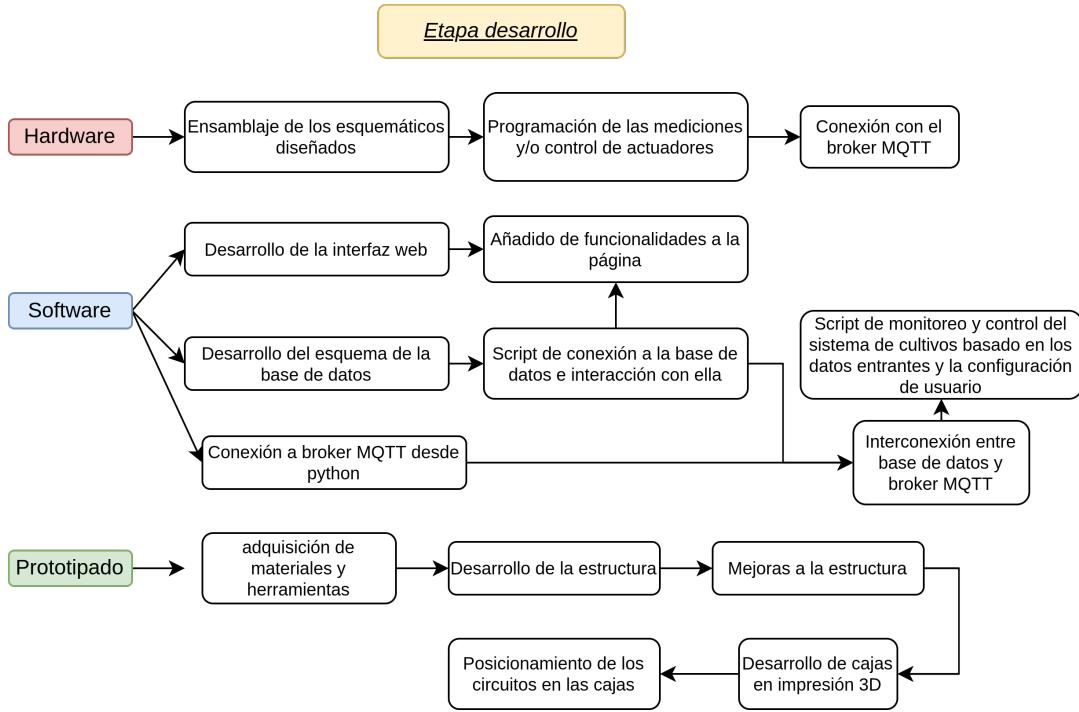
### 7.1. Metodología

Nuestro trabajo fue principalmente de investigación experimental. Iniciamos en febrero 1 del 2022 y concluiremos en mayo 1 del mismo año. La investigación la desarrollamos en los laboratorios de la escuela de ingeniería, ciencia y tecnología de la universidad del rosario, los cuales son unos espacios apropiados para el tipo de trabajo que se hacía manejando la estructura, tubos de pvc y herramientas de corte y calor. Para lograr lo propuesto decidimos distribuir el trabajo en 3 ramas clave: Desarrollo en hardware, software y estructura del prototipo. En nuestra organización y desarrollo del proyecto usamos herramientas como Trello y se realizaron reuniones semanales entre cada una de las ramas para monitorear el progreso del proyecto, los puntos de retraso y qué hacer frente a ellos.

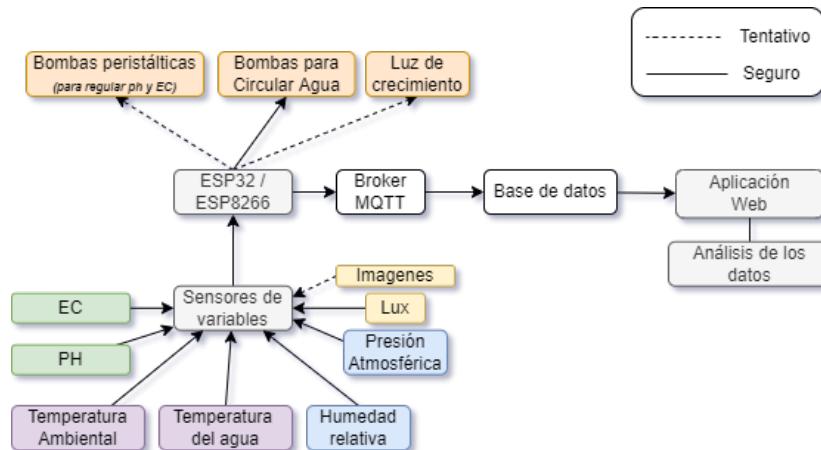
El orden que seguimos para hacer el proyecto fue el siguiente:



De manera más detallada, en el proceso de desarrollo de lo planeado se siguió este flujo de tareas principales:



Para la sección hardware-software un diagrama que ilustra las conexiones entre los elementos y el flujo de la información es el siguiente:



Como se pudo verificar en los esquemáticos, desarrollamos diseños iniciales de cómo deberían verse los elementos desarrollados para tener una meta y una organización clara a continuación están los esquemáticos de la estructura final y el mockup que creamos para la página web.

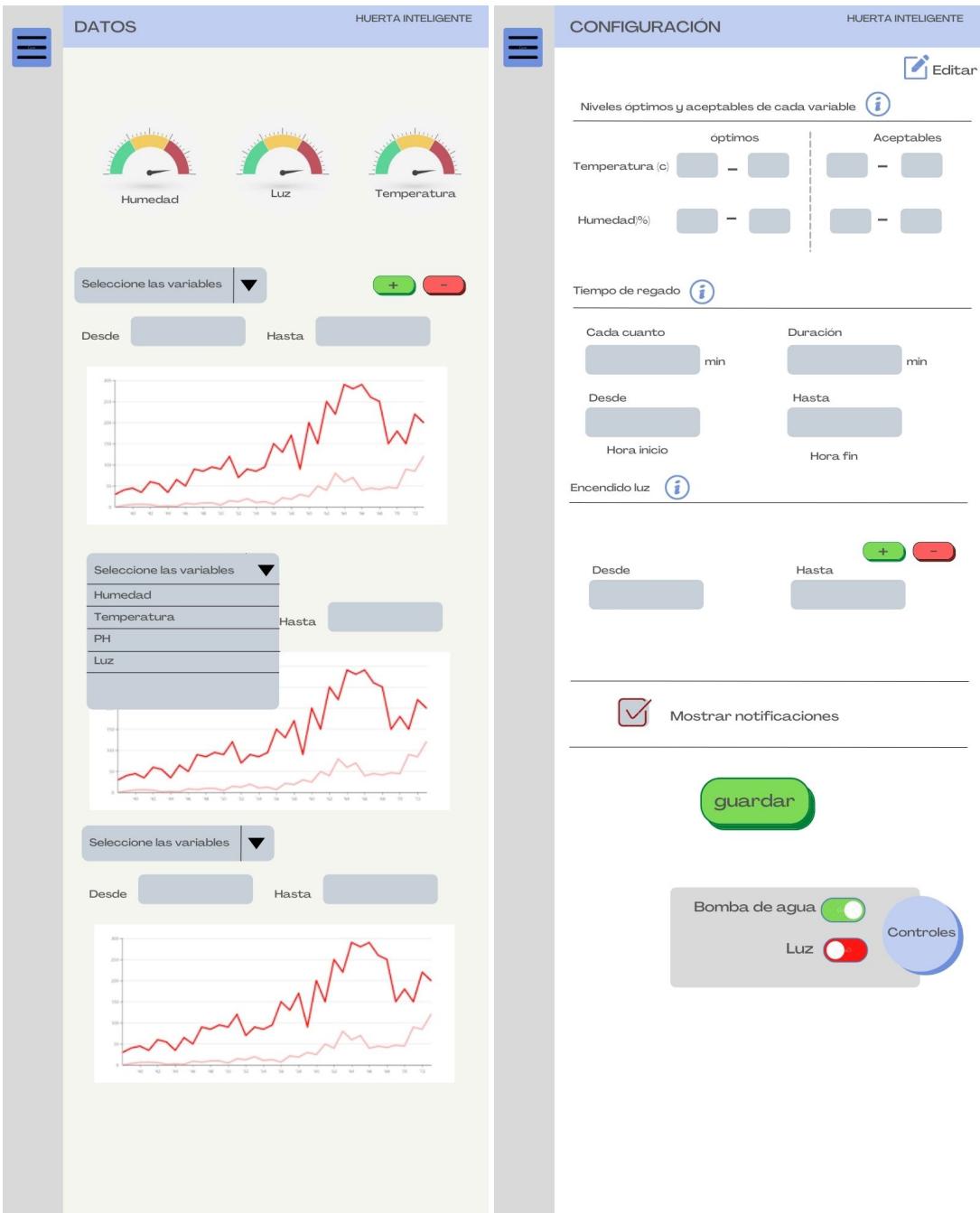


Figura 1: Mockup de las páginas principales implementadas en el proyecto. El proceso de desarrollo de la interfaz de usuario se basó fuertemente en este esquema planteado. En la izquierda vemos las gráficas de los datos en función del tiempo. Junto con unos medidores en la parte superior que indican si el nivel actual de dicha variable es óptimo, está en condiciones aceptables o si está fuera de condiciones deseables. A la derecha se ve la página de configuración, en donde se pueden indicar cuales son los niveles deseables y óptimos para cada una de las condiciones ambientales medidas. Adicionalmente hay campos para especificar el tiempo de regado de agua, durante cuánto tiempo se va a regar, con qué frecuencia y desde qué hora inicia y a qué hora termina el ciclo de regados. También podemos encontrar un campo para indicar desde qué hora hasta qué hora la luz debería mantenerse activa. Y finalmente tenemos unos botones accionables para encender y apagar los actuadores del cultivo.

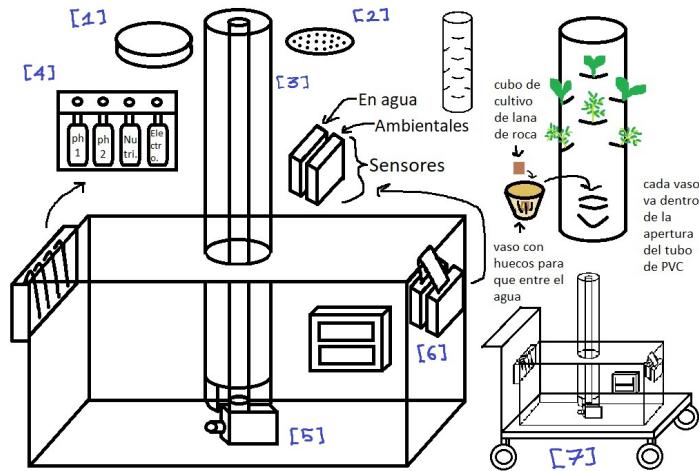


Figura 2: En el siguiente esquema podemos distinguir algunas numeraciones que acompañan al bosquejo, el elemento [1] es la tapa del tubo. [2] Es una tapa de sifón que se puede encontrar por ejemplo en duchas, [3] es el tubo de pvc externo y su tubo de pvc interno, el primero brinda soporte a las plantas y el segundo se encarga de llevar el agua hasta arriba. [4] Es una caja que contiene las botellas con solución de ph ácida, básica, y solución nutritiva A y solución nutritiva B. [5] es la bomba de agua. [6] Es una caja de sensores. Finalmente [7] es una base con ruedas para poder desplazar cómodamente el sistema.

## 7.2. Materiales empleados en hardware

Los recursos empleados por rama fueron:

- 5 módulos ESP8266.
- 5 baquetas.
- 1 sensor BH1750.
- 1 sensor BME280.
- 1 sensor de pH.
- 1 cable de grabadora con conector hembra.
- 1 resistencia de 10K Ohms.
- 6 relés.
- 2 luces de crecimiento de plantas de 20 W.

- 2 disipadores de calor.
- 2 ventiladores pequeños de 5V 0.25 A.

### **7.3. Materiales empleados en software**

- Broker MQTT en HiveMQ.
- Base de datos PostgreSQL remota en Azure.
- Servidor remoto para ejecutar scripts de conexión entre el broker MQTT y la base de datos.

### **7.4. Materiales empleados en prototipado**

- 3 metros de tubo de pvc de 3 pulgadas de diámetro.
- 1 unión de 3 pulgadas.
- 1 tapa de tubo de 3 pulgadas.
- 6 metros de tubo de pvc de  $\frac{1}{2}$  pulgada de diámetro.
- 8 codos de  $\frac{1}{2}$  pulgada.
- 4 tees de  $\frac{1}{2}$  pulgada.
- 9 uniones de  $\frac{1}{2}$  pulgada.
- Balde de agua de 10 lts de capacidad con tapa.
- Base de madera de 60 cm x 60 cm.
- 4 rodachines con capacidad de carga de 30 kg.

# 8

SECTION

## Resultados

### 8.1. Resultados en hardware

En hardware pudimos aprender muchas cosas respecto a cómo funcionan los módulos y sensores, así como otras mejoras que podríamos añadir a nuestra forma de trabajar las conexiones y los relés que usamos, en particular nos dimos cuenta que es mucho mejor desarrollar las conexiones en una PCB ya que acelera los tiempos de soldado, disminuye los errores que se puedan cometer, aumenta la replicabilidad del proyecto y en relación a los costos acaba siendo mejor invertir un poco más en estas PCBs que invertir menos dinero en baquelas pero más tiempo en buscar errores y soldar pequeñas piezas.

Así mismo nos dimos cuenta que se debe hacer un mejor manejo de cables en el proyecto, esto lo podemos lograr acompañando distintos módulos que podrían estar juntos en una misma caja, o con el ya mencionado método de las PCBs. Otro de los resultados que obtuvimos es que a largo plazo a pesar de que los relés mecánicos son más baratos resulta más conveniente comprar y trabajar con relés de estado sólido, esto principalmente porque las partes mecánicas de estos primeros pueden fallar, obligando a tratar de arreglar el mecanismo artesanalmente o completamente hacer un reemplazo de la pieza. Los resultados finales que obtuvimos en hardware se pueden apreciar acá:



Figura 3: Bombas de agua que se encargan de regular los niveles de nutriente y pH. En la caja gris que se aprecia en la imagen de la izquierda se encuentra el conjunto de relés y el microcontrolador que manejan las bombas de agua.

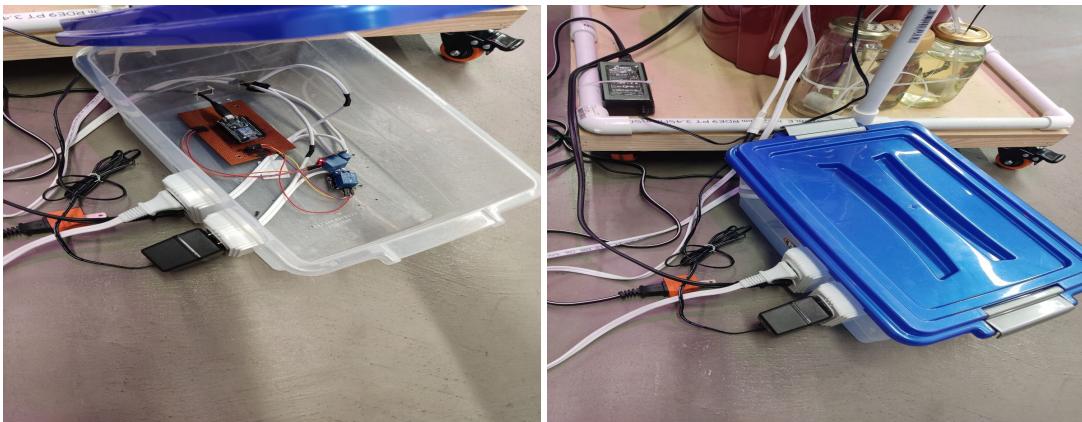


Figura 4: Este es otro módulo controlador de actuadores, en particular maneja las luces y la bomba de agua y su funcionamiento se podría resumir como un toma inteligente de google que habilita o desabilita el paso de corriente en el toma según lo ordene el usuario o el sistema.

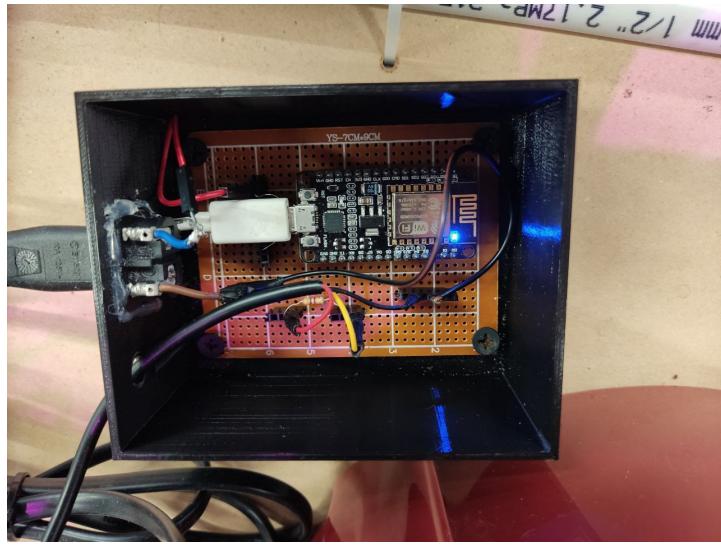


Figura 5: Sensor de electroconductividad (un indicador del nivel de nutriente) en su caja 3D soldado sobre una baquela.

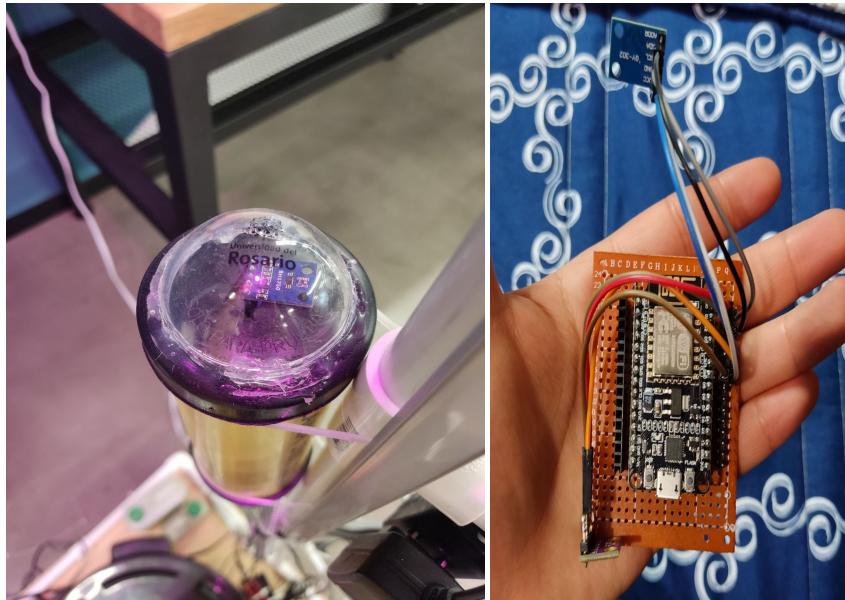


Figura 6: Módulo de mediciones ambientales compuesto por los sensores BME280 y BH1750 (a la derecha), módulo de mediciones ambientales encapsulado (a la izquierda).

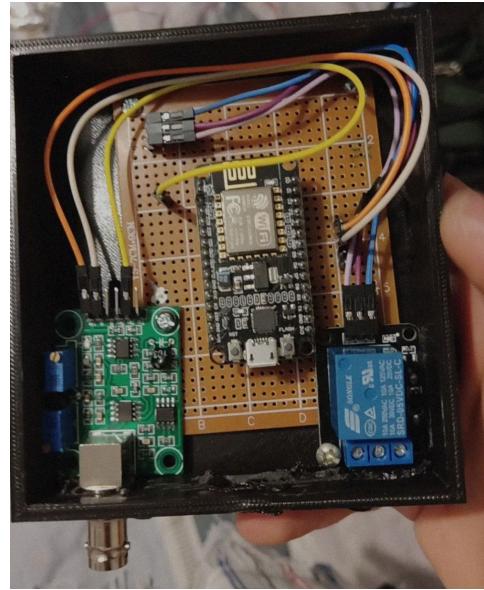


Figura 7: Módulo sensor de pH, note que tiene también un relé junto a él. Esto debido a que una de las ideas iniciales que tuvimos fue manejar ambos desde esta misma caja, sin embargo por comodidad y limpieza del desarrollo optamos por separar la sección de actuadores de la de medición completamente.



Figura 8: Bomba de agua usada para el elevar el agua con nutrientes desde el tanque hasta la cima del sistema de cultivo.

## 8.2. Resultados en software

Con respecto a la sección de desarrollo web, obtuvimos muy buenos resultados. Se realizó un sondeo a distintas personas que tuvieron la posibilidad de interactuar con la interfaz, su respuesta fue positiva, apreciando la manera intuitiva de usar una vez les fue explicada la página, aunque en numerosos casos nos recomendaron añadir más texto explicando el significado de cada uno de los campos. Como se podrá notar nuestro diseño final no es una réplica exacta del mockup que construimos, esto debido a que en el framework que usamos (flask en python) no encontramos algunos de los botones y adicionalmente el manejo de widgets no era muy intuitivo. Los resultados de nuestro desarrollo web fueron los siguientes:

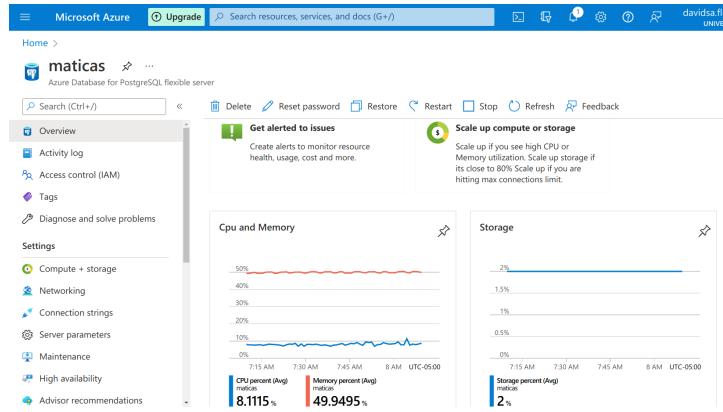


Figura 9: Base de datos PostgreSQL funcional en Azure

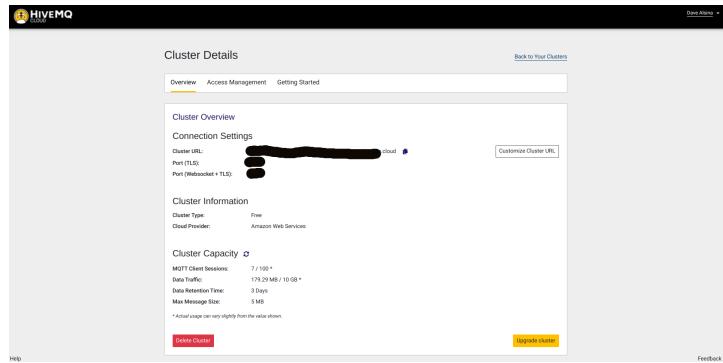


Figura 10: Broker MQTT funcional en HiveMQ

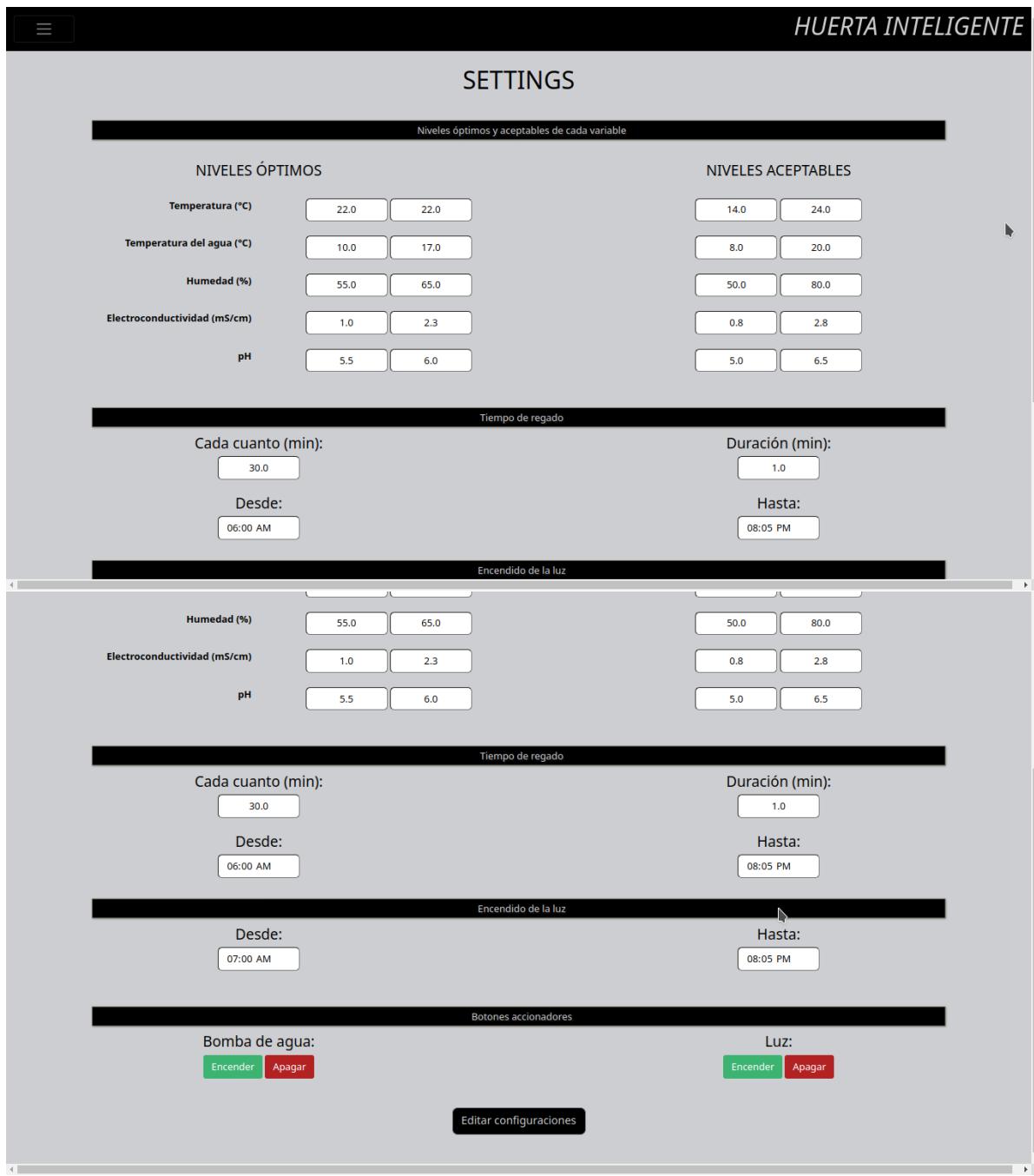


Figura 11: Vista de la página de configuración de niveles óptimos de cada variable, y definición de parámetros de funcionamiento para las luces del sistema de cultivo y la bomba de agua. Así como botones accionadores para controlar a voluntad estos dispositivos.

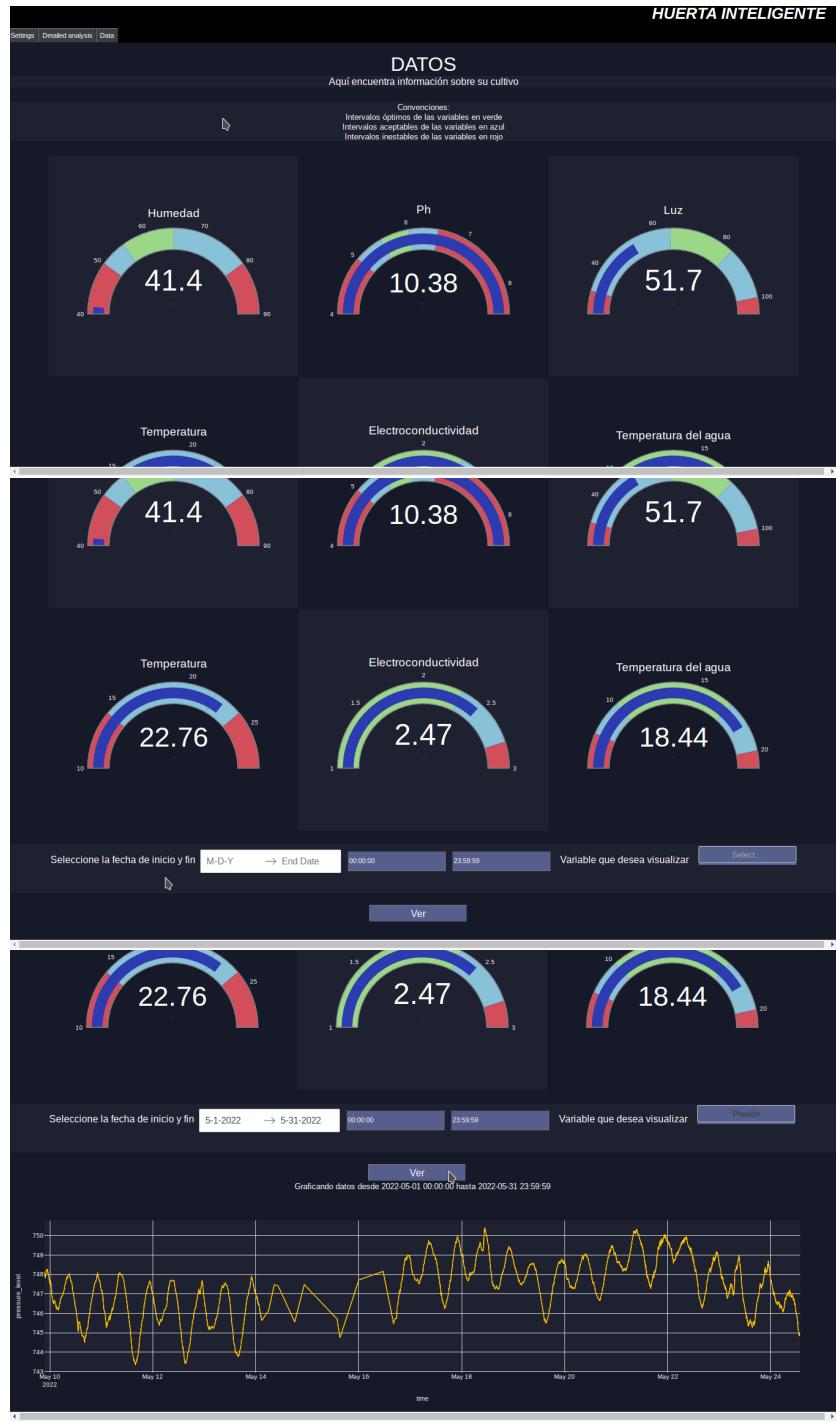


Figura 12: Vista de la página de datos, donde podemos ver las últimas mediciones que han llegado y cómo se ubican con respecto a los intervalos especificados por la configuración de usuario, en azul vemos el nivel actual, las franjas rojas son los niveles no deseables, la franja azul clara son los niveles aceptables y la región verde es el punto óptimo para el pH. En la parte de abajo vemos la gráfica de la temperatura en función del tiempo.



### 8.3. Resultados Prototipado

En prototipado se obtuvo un gran conocimiento sobre el manejo de materiales y su proceso de modificación. Para iniciar, los tubos de PVC necesitan de una fuente de calor con alta potencial, pero sin llegar a quemar el material. Esto permitió fácilmente la adecuación de la forma cilíndrica del tubo a una similar a un vaso. Para una mayor facilidad se recomienda el apoyo de un tubo de menor diámetro, como el objeto que hará contacto directo con la parte caliente del PVC, esto se asegurará de una forma mucho más pulida y hábil para su proceso de producción.

Por otra parte, en el manejo de artículos impresos en 3D, se obtuvieron piezas contundentes para acoplarse a los sensores. Sin embargo, un grosor menor hubiera resultado en un menor tiempo de impresión, y por ende en una ganancia para el proyecto. Para finalizar, se logró una estructura similar a una base de apoyo, esto a partir de: la base de madera, los rodachines y tubos de PVC de menor diámetro. Esta permitió mejorar exponencialmente la facilidad para el transporte del producto, derivando en una forma más fácil de transportar el producto, a la vez que se genera mayor estabilidad. Los resultados se pueden observar a continuación:



Figura 15: Cajas diseñadas en 3D para proteger los sensores de pH, electroconductividad y temperatura del agua.

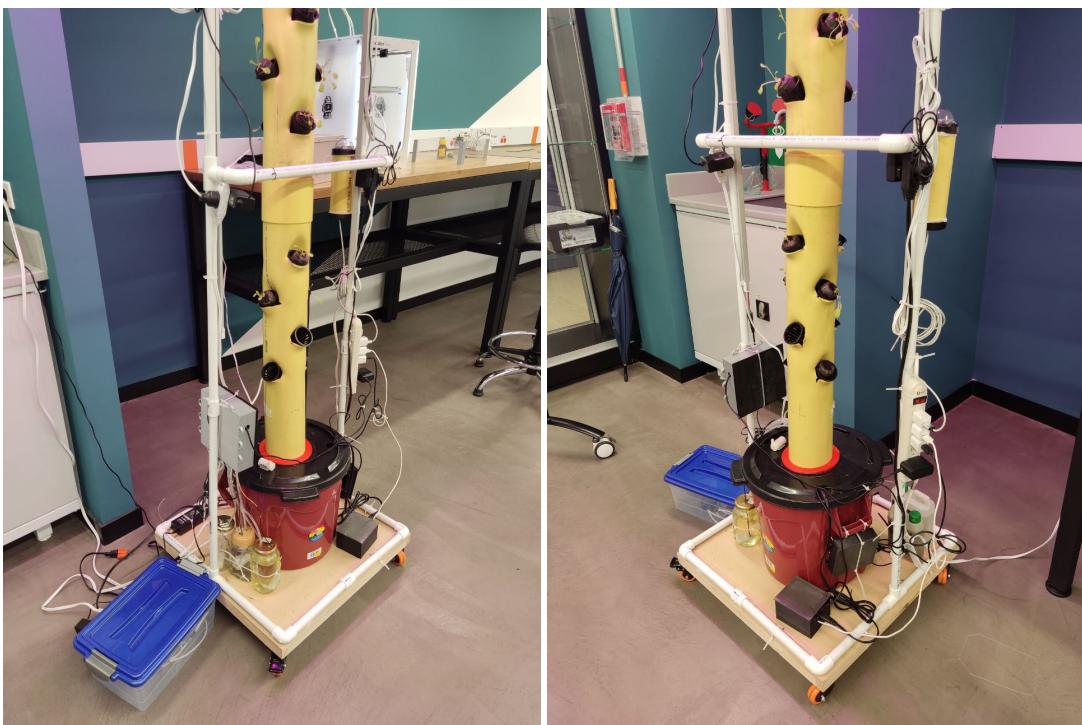


Figura 16: *Tubos de 1/2" de diámetro (blancos delgados) para soportar y apoyar el tubo de pvc de 3" de ancho central (amarillo).*



Figura 17: *En el proceso de desarrollo nos dimos cuenta que podíamos aprovechar esos apoyos verticales que hicimos y posicionar luces led apoyándose o colgando de estas bases.*



Figura 18: Compramos esta base de madera de 57cm x 57cm y le añadimos 4 rodachines para hacer más fácil el desplazamiento del sistema de cultivo.



Figura 19: Vista al tubo interior que se conecta a la bomba de agua y la eleva hasta al cima. También se puede distinguir la pequeña matera que le da soporte a las plantas en los agujeros del sistema.



Figura 20: Soluciones nutritivas usadas para la alimentación de las plantas que se ven en la parte de arriba.

# 9

SECTION

## Discusión

Completado el desarrollo del sistema hidropónico, este mide las variables establecidas y las guarda en la base de datos remota en Azure. Adicionalmente se controlan variables como la iluminación, el pH y el nivel de nutrientes. El sistema se encuentra listo para contener plantas, de hecho las pequeñas plántulas que hemos sembrado se encuentran incorporadas al cultivo y nos encontramos analizando su rendimiento y comportamiento a espera de fallos y mejoras que surjan.

Muchas de las recomendaciones recibidas están en torno al manejo de cables y el nivel de desacoplamiento al que llevamos los sensores en el proyecto. La razón por la que optamos por tener los sensores separados en cajas distintas y con alimentación independientes fue porque este sistema de cultivo es un prototipo urbano para analizar el funcionamiento del concepto a largo y medio plazo, para llevarlo después a un contexto más agroindustrial en los campos. Tal modularidad hará más cómoda la transición a un ambiente rural, sin embargo es cierto que el tener módulos agrupados en uno solo da muchas ventajas y próximamente vamos a probar esta aproximación que seguramente es más cómoda para el contexto urbano.

Para solucionar el asunto de manejo de cables, pensamos en crear PCBs que incluyan comodidades para la distribución de energía en el sistema, es decir que por ejemplo en lugar de usar 2 cables distintos para la alimentación de distintos elementos del mismo módulo, podemos crear un circuito que se encargue de entregar la capacidad de energía requerida a todos los elementos en el mismo módulo, reduciendo así la cantidad necesaria de cable.

Lo anterior es para el caso en que haya disponible corriente eléctrica para la alimentación. Sin embargo para el caso rural muchas veces las redes cableadas extensas son muy dispendiosas por lo que pensamos añadir además de la reducción de cables mencionada, tener paneles solares con baterías de litio, dando autonomía necesaria a cada uno de los micro-controladores.

Otra de las observaciones que recolectamos en el proceso de desarrollo fue la alta demanda de tiempo que se requiere para crear las conexiones del hardware. Las hicimos usando una baquelita y haciendo las conexiones necesarias con cable. Esto último se podría mejorar de manera considerable construyendo los circuitos en PCBs, dando además un plus a la replicabilidad de nuestra solución ya que esto facilita a terceros la implementación del sistema de cultivo.

# 10

SECTION

## Conclusiones

A partir del desarrollo de nuestro proyecto se verificó que la creación de un sistema de cultivos hidropónicos casero es completamente viable y que en efecto esta tecnología es adaptable al contexto agrícola en el campo.

La implementación de los distintos módulos junto con el desarrollo de una aplicación web permitió al usuario mantener un control adecuado de los cultivos, garantizando el estado de las plantas y facilitando el monitoreo de las distintas variables de control. Resultando en una reducción en el tiempo requerido para mantener estos cultivos caseros.

Pudimos aprender mucho sobre el manejo de sensores, servicios en la nube, materiales como el pvc y el plástico así como diseño

y modelado de piezas en 3D. Y nos quedan varias mejoras por hacer, algunas de ellas las enumeraremos en la siguiente subsección. *Link al video completo en su última versión y a más detalle. Link a video completo del proyecto en su versión infomatrix.*

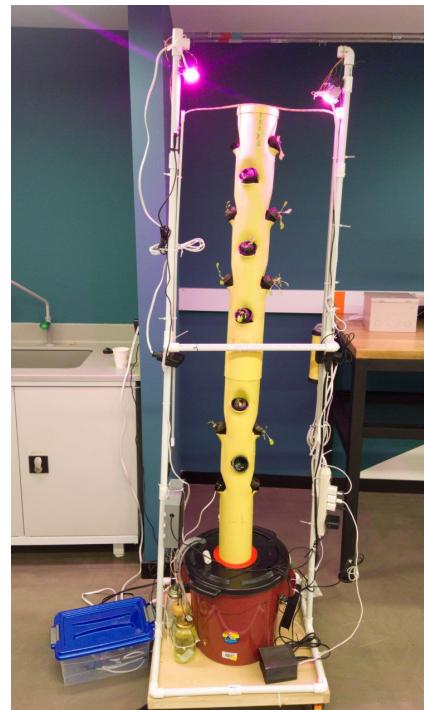


Figura 21: Vista general del proyecto acabado.  
*Link a video completo del proyecto.*

## **10.1. Posibilidades a futuro**

1. Diseñar PCBs y reorganizar las agrupaciones de módulos.
2. Diseñar tableros eléctricos para ubicar actuadores allí y tener mejor manejo de cables.
3. Añadir baterías de litio y páneles solares para cargar cada uno de los módulos de sensores y que puedan funcionar sin cables en un contexto rural.
4. Mejorar el algoritmo de control.
5. Cambiar el uso de relés mecánicos por relés de estado sólido.
6. Cambiar las bombas de agua por bombas peristálticas.
7. Incorporar módulo de cámaras e implementar algoritmos al rededor del procesamiento de estas imágenes.

## **10.2. Anexo (Foto de líder del proyecto y profesor asesor)**



## Referencias

- [1] B. Mundial, “Población total,” 2020. [Online]. Available: <https://datos.bancomundial.org/indicator/SP.POP.TOTL?end=2020&start=2007>
- [2] Worldometer, “Población mundial actual,” 2022. [Online]. Available: <https://www.worldometers.info/es/poblacion-mundial>
- [3] N. Unidas, “Objetivo 2: Poner fin al hambre,” 2022. [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/hunger/>
- [4] J. G. Laetitia Montero, “Panorama multidimensional del desarrollo urbano en américa latina y el caribe,” 2017. [Online]. Available: [NacionesUnidas,Cepal.](#)
- [5] B. Degenhart, “La agricultura urbana: un fenómeno global | nueva sociedad.” [Online]. Available: <https://nuso.org/articulo/la-agricultura-urbana-un-fenomeno-global/>
- [6] FAO, “El estado mundial de la agricultura y la alimentación. cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria,” 2016. [Online]. Available: <https://www.fao.org/3/i6030s/i6030s.pdf>
- [7] G. R. J. Nicolás, “Agricultura urbana en américa latina y colombia: perspectivas y elementos agronómicos diferenciadores.” 2014-11-11. [Online]. Available: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/2749>
- [8] D. O. G. José Beltrano, “Cultivo en hidroponía,” 2015.

- [9] U. de Antioquia, “Agricultura de precisión.” [Online]. Available: [https://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/extencion/portafolio-tecnologico/articulos/Agricultura\\_de\\_precision](https://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/extencion/portafolio-tecnologico/articulos/Agricultura_de_precision)
- [10] DW, “Los países bajos revolucionan la agricultura.” [Online]. Available: <https://www.dw.com/es/los-paises-bajos-revolucionan-la-agricultura/a-47181227#:~:text=En%20la%20regi%C3%B3n%20agr%C3%ADcola%20holandesa,seg%C3%BAn%20la%20industria%20agr%C3%ADcola%20holandesa>
- [11] E. espectador, “Colombia importa el 30% de los alimentos que consume,” 2021. [Online]. Available: <https://www.elespectador.com/ambiente/colombia-importa-el-30-de-los-alimentos-que-consume-article/>
- [12] N. R. Munar, “Colombia importa el 30% de los alimentos que consume,” 2021. [Online]. Available: <https://www.analdex.org/2021/08/25/informe-de-importaciones-enero-junio-de-2021/#:~:text=En%20el%20primer%20semestre%20de%202021%2C%20las%20importaciones%20del%20sector,aumento%20de%202016%2C5%25>
- [13] D. Chiara, L. Herrera, and P. Vargas, “Cultivo hidropónico de espinaca mediante técnica nft e invernadero para el control de variables ambientales,” *Perfiles de Ingeniería*, vol. 12, no. 12, p. 49–60, ago. 2017. [Online]. Available: [https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Perfiles\\_Ingenieria/article/view/810](https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Perfiles_Ingenieria/article/view/810)
- [14] V. R. S. M. A . R. Y. P. Kulkarni, S., “Automation of hydroponic system,” *IJSTE*, vol. 3, no. 09, mar. 2017. [Online]. Available: <https://www.ijste.org/articles/IJSTEV3I9151.pdf>
- [15] V. Palande, A. Zaheer, and K. George, “Fully automated hydroponic system for indoor plant growth,” *Procedia Computer Science*, vol. 129, pp. 482–488, 2018, 2017 INTERNATIONAL CONFERENCE ON IDENTIFICATION, INFORMATION AND KNOWLEDGE IN THE INTERNET OF THINGS. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050918302473>
- [16] E. Toro Castro, C y Valenzuela Bravo, “Diseño y construcción de un cultivo vertical hidropónico automatizado “cvh-a” en una vivienda del barrio granada,” *Ciencias Básicas y Tecnologías - Tecnología en Instrumentación Electrónica*, vol. 3, 2014. [Online]. Available: <https://bdigital.uniquindio.edu.co/handle/001/5532>
- [17] E. A. Aguirre Buenaventura, O. A. González Sanchez, D. A. Vega Castro, and J. J. Monje Carvajal, “Sistema de monitoreo y control de un modelo hidropónico del tipo nutrient film technic nft, para la producción de hortalizas en ambientes controlados,” *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, vol. 6, no. 1, p. 41–51, may

2019. [Online]. Available: <https://revistas.sena.edu.co/index.php/recia/article/view/1830>

- [18] R. C. Omar, V. L. J. Zulaydi, and V. L. Y. Adalbert, “Diseño e implementación de un sistema automatizado para invernadero hidropónico.” 2017-02-13. [Online]. Available: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/13093>
- [19] O. I. Rodriguez Gutierrez, “Diseño e implementación de un microsistema de cultivo acuapónico automatizado,” 2016. [Online]. Available: <https://repositorio.unillanos.edu.co/handle/001/1188>