

# HydroGrow: Sistema de Monitoreo y Control en Procesos de Cultivos Hidropónicos aplicado en especies hortícolas (Lechuga sativa).

Karla Almea<sup>1</sup>, Ericksson Estévez<sup>1</sup>, Elvis Gonzales<sup>1</sup>, Jorge Gualpa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ),  
Quevedo, Ecuador

[kalmeav, ericksson.estevez2016, elvis.gonzales2016,  
jorge.gualpa2015]@uteq.edu.ec

**Resumen.** Este artículo presenta el desarrollo de HydroGrow, un sistema de monitoreo y control en procesos de cultivos hidropónicos aplicado en especies hortícolas, que utiliza la metodología TDDM4IoTS para su implementación en un entorno IoT. El sistema está diseñado para automatizar la supervisión de los parámetros clave del cultivo, como la temperatura del agua, pH, luminosidad y calidad del aire, y alertar al usuario si algún parámetro se encuentra fuera del rango requerido. Los datos recolectados son almacenados y visualizados en tiempo real a través de una aplicación móvil, mientras que los gráficos estadísticos son presentados en una aplicación web. La metodología TDDM4IoTS ha demostrado ser una herramienta eficaz para el desarrollo de sistemas IoT, ya que permite una implementación rápida y efectiva del sistema, lo que puede reducir el tiempo de desarrollo y los costos asociados. En conclusión, HydroGrow es una solución prometedora para las personas que buscan mejorar la eficiencia y sostenibilidad de sus cultivos hidropónicos y reducir los impactos ambientales asociados con los métodos tradicionales.

**Palabras claves:** Hidropónicos, Cultivos, Lechuga, ESP8266, TDDT4IoTS

## 1 Introducción

En la actualidad, es común observar que tanto hogares como edificios adquieren una vista más verde gracias al cultivo de vegetales y flores [1]. El interés por el cultivo casero ha ido en aumento, esto debido a la creciente cantidad de personas que buscan mejorar su salud mediante la demanda de vegetales saludables, entre los cuales se encuentran los hidropónicos debido a los beneficios que se pueden obtener al consumirlos y a su conveniente forma de cultivo [2].

La historia de la hidroponía se remonta a la antigua Babilonia, donde se cree que se utilizó para crear jardines colgantes. La primera evidencia escrita del uso de la hidroponía se puede encontrar en los escritos de los antiguos romanos, quienes utilizaron la técnica para cultivar plantas en áreas con suelos pobres [3]. Sin embargo,

en los últimos tiempos se ha despertado el interés por la hidroponía debido a sus múltiples ventajas, tales como la reducción del consumo de agua, la protección contra enfermedades del suelo y la posibilidad de optimizar el crecimiento de los cultivos en espacios limitados [4].

Entre los sistemas modernos de cultivos hidropónicos se ha encontrado literatura muy interesante y altamente relacionada con el tema de estudio de este artículo [5][6]. Ambos trabajos presentan limitaciones en cuanto a la capacidad de controlar los parámetros del cultivo de manera automatizada. En el trabajo [5], se desarrolla una aplicación que permite al usuario monitorear los datos de los sensores en tiempo real y recibir alertas por mensaje de texto, pero no se menciona que la aplicación permita establecer valores para los parámetros, lo que significa que el que realizar los ajustes manualmente. En el trabajo [6], se presenta un dispositivo de control con una interfaz de usuario en una pantalla LCD para ajustar los parámetros del cultivo, cuya acción es manual y depende de la intervención del usuario.

Por las carencias en los documentos revisados se propone el presente trabajo denominado HydroGrow. Con el fin de mejorar las funcionalidades de estos sistemas, HydroGrow hace uso de información proporcionada de sensores para controlar un sistema de cultivo de forma automatizada. Con HydroGrow se pretende lograr una producción más eficiente de cultivos hidropónicos a través de la creación de un ambiente controlado que se centre en la provisión de nutrientes y en el control del agua necesarios para el desarrollo óptimo de los cultivos. HydroGrow a su vez permitirá optimizar la calidad de los cultivos y reducir los costos e impactos ambientales asociados con los otros métodos de cultivos como el riego por surcos, método de cultivo en macetas, método de cultivos biointensivo, por mencionar algunos [7].

Para abordar esta investigación, se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de trabajos relacionados con el fin de obtener una comprensión sólida y detallada del estado actual de los sistemas de cultivos hidropónicos. Se desarrollará un sistema de cultivos hidropónicos automatizado utilizando tecnologías de IoT (Internet de las cosas) y se aplicará la metodología TDDM4IoTS (Test-Driven Development Metodology for IoT-based Systems) [8]. Esta metodología combina las metodologías de desarrollo de software tradicionales con IoT. La importancia de este trabajo radica en la garantía de una gestión eficiente de los recursos hídricos y nutrientes, así como en su idoneidad para la agricultura urbana y el cultivo en espacios reducidos.

## 1.1 Antecedentes

La agricultura ha sido siempre una actividad esencial en la economía de numerosos países de todo el mundo, tales como: Argentina, Canadá, Brasil, Estados Unidos y México por mencionar algunos [8]. Sin embargo, en la actualidad, las tecnologías IoT están siendo utilizadas para mejorar la eficiencia en los procesos agrícolas.

Además, ha permitido la agricultura inteligente dentro de las ciudades o en espacios reducidos sin la supervisión de un operario [9], esto ha generado un efecto importante en el desarrollo urbano y en el comportamiento de los residentes.

La creciente demanda de alimentos, impulsada por el aumento de la población, ha llevado a la necesidad de encontrar alternativas innovadoras y sostenibles para producir alimentos de alta calidad de manera eficiente. Por esta razón, se propone a HydroGrow como un sistema para apoyar al método de cultivo hidropónico como una alternativa innovadora y sostenible para producir alimentos de alta calidad de manera eficiente [10].

En las últimas décadas, la hidroponía ha ganado popularidad debido a su capacidad para producir cultivos de alta calidad en un ambiente controlado. La tecnología ofrece varias ventajas sobre los métodos agrícolas tradicionales, como el uso eficiente del agua y los nutrientes, los costos de producción reducidos y la capacidad de cultivar plantas en áreas reducidas o donde el suelo es pobre o inutilizable [9] . Sin embargo, la hidroponía todavía enfrenta muchos desafíos, como la calidad del agua y los nutrientes, el control de las condiciones ambientales y la selección de cultivos adecuados. Con el fin de abordar estos problemas, se han llevado a cabo varios estudios para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de la hidroponía [10].

## 1.2 Pregunta de investigación y objetivos

La pregunta de investigación que guió este estudio es: ¿Cuáles son las características de los sistemas hidropónicos que se han desarrollado hasta el momento? Esta pregunta surge a partir de la necesidad de conocer el estado actual en cuanto a las características de los sistemas hidropónicos existentes. De tal manera que permita plantear una solución viable que trate de reducir las desventajas de los sistemas existentes. De esta pregunta de investigación se derivan los siguientes objetivos.

### Objetivo General.

Desarrollar un sistema de cultivo hidropónico eficiente y sostenible para la producción de hortalizas en un ambiente controlado buscando mejorar la calidad y eficiencia de los cultivos e impactos ambientales asociados con los métodos tradicionales.

### Objetivos Específicos.

- Realizar una revisión del estado del arte sobre los sistemas hidropónicos para identificar las limitaciones y oportunidades actuales.
- Recuperar datos de los trabajos presentados hasta el momento para analizar y verificar la productividad que tienen los sistemas hidropónicos
- Analizar los costos y beneficios del sistema de cultivo hidropónico en comparación con otros métodos de cultivo.

El documento sigue la siguiente estructura: en primer lugar, en la sección 2 se presenta el estado del arte sobre el cultivo hidropónico. En la sección 3, se describe el sistema propuesto, detallando sus características y funcionamiento. A continuación, en la sección 4 se explica la metodología TDDM4IoTS utilizada en la implementación del sistema. En la sección 5 se discuten los resultados obtenidos y, finalmente, en la sección 6 se presentan las conclusiones y recomendaciones.

(Un último párrafo de la organización del documento será redactado más adelante)

## 2 Estado del Arte

Para obtener un punto de partida se realizó una búsqueda en bases de datos bibliográficas y editoriales académicas como IEEE Xplore, MDPI, Google Scholar y Springer. La cadena de búsqueda fue la siguiente:

*“Hydroponic AND (agriculture OR crop OR cultivation OR grow) AND (“Internet of Things” OR IoT)”*

En el campo de los sistemas distribuidos para cultivos hidropónicos, se han presentado varios trabajos enfocados a la automatización y optimización de los procesos involucrados. Para lograr tales objetivos se han dispuesto de una variedad de tecnologías. Dentro de estas tecnologías se han encontrado el uso predominante de placas Arduino en casi todos los trabajos [11–21] haciendo la diferencia Ibarra et al. [22] y Almadani [21] al utilizar un Raspberry Pi 3 B+. Se han utilizado algunas variaciones de Arduino como Arduino Mega [11,18,23,24], Arduino Uno [12,17,22,24], Arduino NANO [25] y Arduino Mega MDK [21].

Estos componentes funcionan como un controlador para los procesos generales de los sistemas propuestos en los trabajos. Además, se identificaron dos proyectos que junto a las placas Arduino utilizan el módulo Wi-Fi ESP8266 [12,17].

El uso de este módulo en esos sistemas tiene como objetivo interpretar los datos leídos por los sensores, enviarlos mediante Wi-Fi a otros dispositivos conectados y almacenar estos valores en una base de datos en la nube.

En los estudios revisados, se ha observado que los parámetros más frecuentemente monitorizados son el pH, el nivel de agua y la intensidad de luz. Sin embargo, ninguno de estos estudios especifica el modelo de sensor utilizado en sus investigaciones. En caso del sensor de temperatura, los trabajos citados utilizan principalmente el sensor LM35 [13,15] o el DHT11 [26]. El sensor 808H5V5 ha sido utilizado en varios trabajos para medir la humedad ambiental [12,13,15]. La función principal de los sensores en estos sistemas es la de monitorizar y controlar las condiciones del cultivo.

Todos los documentos revisados presentan la creación de aplicaciones móviles para la visualización y monitorización de los datos del cultivo [13,15,17,19,24], así mismo en otros trabajos se han desarrollado aplicaciones web con este propósito [14,18,19,25].

Los trabajos de estos autores [13,15,17,19,24] le dieron funcionalidades adicionales a las aplicaciones móviles que desarrollaron, como controlar el nivel del agua, el pH, la bomba de agua y la luz.

Los sistemas de Nuez [24] y Chowdhury [13] conectan su sistema a Thingspeak (un servicio web que proporciona almacenamiento y análisis de datos). En el caso de Nuez [24] utiliza un módulo ESP8266 para conectarse al servicio. Además, se preocupó en conectar y desconectar con el sistema hidropónico desde la aplicación móvil.

En el trabajo de Chowdhury [13] no se menciona cómo se realiza la conexión a Thingspeak. Sin embargo, tiene similitudes con los estudios de Ardiansyah et al. [16], Sihombing [21] y Cabrera et al. [22]. Estos sistemas envían notificaciones sobre el estado del cultivo y emiten alertas mediante mensajes de texto cuando se detectan valores anormales en el sistema.

Cabrera et al. [22] adicionalmente a los trabajos anteriores [13,15,17], permite que los usuarios desde un Bot de Telegram tomen una foto para conocer el crecimiento de sus cultivos. Además de la aplicación móvil, Cabrera et al. [22] también desarrolló una aplicación web para la visualización de datos de temperatura del agua y humedad ambiental, al igual que otros autores como Park [27], Tatas [18] y Crisnapati et al. [28]. Estas aplicaciones se puede visualizar gráficos estadísticos en donde se indica la evolución de cada uno de los parámetros presentados en los gráficos.

En relación con la iluminación ultravioleta, Tatas [18] y Park [25] presentan datos que son enviados a una base de datos en la nube. Además, Park [25] utiliza inteligencia artificial y aprendizaje automático para visualizar en tiempo real los cultivos y predecir el momento óptimo para el crecimiento y la cosecha de fresas. Por otro lado, Crisnapati et al. [28] presenta información sobre el nivel de nutrientes en el agua y la temperatura

ambiental. Además, esta aplicación web cuenta con las mismas funcionalidades que las aplicaciones móviles mencionadas anteriormente, la información se transmite mediante una red inalámbrica hasta el nodo central, donde se procesa y se envía a una base de datos en línea.

Por último, cabe destacar que en los trabajos de Tagle [26] y Almadani [21], no se desarrollaron aplicaciones móviles o web para la visualización y monitoreo de los datos. En lugar de ello, se enfocaron en la recolección de datos con fines de análisis y presentación. Tagle [26] utiliza un entorno de programación gráfica llamado LabView para presentar datos similares a los del trabajo de Tatas [18].

Por otro lado, el enfoque principal de Almadani [21] propone el uso del middleware DDS (Data Distribution Service) como enfoque principal para implementar un modelo de comunicación multimodal en sistemas IoT de cultivos hidropónicos en el contexto de la agricultura. El objetivo principal de su trabajo es mejorar la eficiencia y la efectividad del sistema, permitiendo una mejor comunicación y coordinación entre los dispositivos IoT involucrados en el monitoreo y control del cultivo hidropónico. Para este fin, Almadani desarrolló gráficos específicos diseñados para cumplir con los requerimientos de este modelo de comunicación multimodal.

Durante la revisión de la literatura, se ha observado que la mayoría de los estudios se han enfocado en cultivos hidropónicos en grandes espacios, lo que ha generado la necesidad de desarrollar un sistema más adecuado y adaptable para espacios reducidos. En este contexto, se presenta HydroGrow, un sistema de cultivo hidropónico que resuelve las desventajas identificadas en los trabajos revisados.

Adicionalmente, se encontraron funcionalidades importantes que también serán implementadas y mejoradas en este trabajo. Estas incluyen la capacidad de encender y apagar la bomba según un horario preestablecido o definido por el usuario, la dosificación automática de nutrientes, así como la capacidad de encender y apagar las luces automáticamente. Además, se podrá visualizar datos como la temperatura, pH del agua y nivel de CO<sub>2</sub>.

Para la implementación del sistema, se ha elegido el uso del módulo NodeMCU ESP8266 V3 y el relé KY-019 de 5 V, tomando como referencia el trabajo de Ardhiansyah et al. [17], debido a que comparte características similares con nuestro sistema. Además, se utilizarán diversos sensores, incluyendo el sensor de calidad de aire MQ-135, sensor de luz BH1750, sensor de nivel de agua, sensor de pH y sensor de temperatura del agua DS18B20. Por otro lado, para la bomba de agua se ha seleccionado la bomba de agua de diafragma R305.

Se considera importante mencionar la metodología utilizada en el desarrollo de proyectos IoT, aunque la mayoría de los trabajos revisados no especifican claramente una metodología. Solo el trabajo de Ardhiansyah et al. [17] indica que se utilizó una metodología experimental. Es decir, la mayoría de los proyectos fueron desarrollados de manera empírica. Por lo tanto, se ha decidido utilizar una metodología propuesta por Gleiston Guerrero [8] para este tipo de sistemas.

Se pudo observar que en el trabajo de Ardhiansyah et al. [17] siguieron su propia metodología denominada Metodología experimental. En esta metodología, se llevaron a cabo varios métodos, incluida la preparación de herramientas y equipos, luego la fase de diseño de la herramienta, si esta última fase se lleva a cabo con éxito, se continúa con la etapa de prueba. Por los resultados de esta investigación se puede concluir que es importante hacer uso de una metodología clara y estructurada.

La falta de metodología afecta de forma negativa a la calidad del producto final [29]. Por lo tanto, en este trabajo se pretende utilizar una metodología propuesta por Gleiston Guerrero [8] para este tipo de sistemas, denominada TDDM4IoTS. Además de una

herramienta que se utilizará denominada TDDT4IoTS. El uso de esta metodología permitirá una implementación controlada y sistemática del proyecto, lo que asegurará la calidad del sistema automatizado de cultivo hidropónico.

### 3 Sistema propuesto

El sistema propuesto, HydroGrow, es una solución tecnológica integrada que tiene como objetivo mejorar la calidad y eficiencia de los procesos de cultivo hidropónico. Está diseñado para supervisar y controlar de manera automática las variables ambientales críticas que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas.

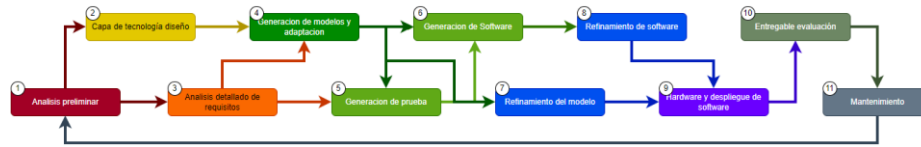
El sistema será implementado en dos módulos NodeMCU ESP8266 V3, junto a un conjunto de sensores como sensor de temperatura del agua, pH, calidad del aire, nivel de agua e intensidad luz. En cuanto a los actuadores se utilizan: bomba de agua, luces led y un dosificador de nutrientes para ajustar el pH.

Los componentes de hardware están integrados con una aplicación móvil en la que el usuario podrá controlar el sistema de cultivo, monitorear los datos ambientales en tiempo real, acceder a los datos históricos y configurar los parámetros de control según las necesidades de las especies hortícolas. HydroGrow consta de tres componentes principales: el dispositivo, la aplicación móvil y la aplicación web. Con esta solución, se busca optimizar el rendimiento de los cultivos y minimizar el uso de recursos.

En base a la revisión de las metodologías para el desarrollo de sistemas IoT, se identificó que la metodología TDDM4IoTS desarrollada por Guerrero [20] es la que mejor se adapta al ciclo de vida del proyecto HydroGrow. Además, se utilizó la herramienta TDDT4IoTS disponible en el portal web de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), que permite a partir de los casos de uso generar automáticamente una parte del software necesario para el procesamiento de datos y la interacción con el usuario. TDDM4IoTS considera todos los aspectos relacionados a sistemas IoT, desde un análisis preliminar pasando por la realización de pruebas de código del software hasta el mantenimiento [20].

### 4 Metodología de desarrollo

La metodología TDDM4IoTS es una metodología de desarrollo de software enfocada a garantizar la calidad y confiabilidad de los sistemas de Internet de las cosas (IoT). Este enfoque se basa en el desarrollo basado en pruebas (TDD), que implica escribir pruebas antes de implementar el código y luego desarrollar el software para pasar esas pruebas. La metodología TDDM4IoTS consta de 11 etapas, como el Análisis preliminar, Diseño de capa de tecnología, Análisis detallado de requisitos, Generación y adaptación de modelos, Generación de prueba, Generación de software Refinamiento del modelo, Refinamiento de software, Despliegue de hardware y software, Evaluación de entregables y Mantenimiento. Los autores de TDDM4IoTS han definido las etapas del ciclo de vida del desarrollo de IoT. En la Fig. 1 se presentan las etapas de la metodología TDDM4IoTS, junto con la secuencia sugerida para su ejecución.



**Fig. 1.** Etapas de la metodología TDDM4IoTS[8].

#### 4.1 Análisis Preliminar

Se ha identificado que los usuarios que practican cultivos hidropónicos se enfrentan a una serie de desafíos, tales como la dificultad para monitorear y controlar los diferentes parámetros del cultivo, lo que puede llevar a una baja calidad y cantidad en la producción.

Por lo tanto, se plantea el desarrollo de un sistema que permita al usuario tener un mayor control y seguimiento del cultivo. Este sistema debería ser fácil de usar y accesible, ya que los usuarios pueden no tener conocimientos técnicos especializados en la materia.

Es importante que el usuario reciba alertas en caso de que algún parámetro se salga de los límites establecidos, lo que le permitirá tomar medidas oportunas para evitar pérdidas en la producción.

Además, se ha considerado que el sistema sea rentable en términos de costos y fácil de implementar en el hogar del usuario, ya que muchos usuarios que practican cultivos hidropónicos no tienen acceso a grandes espacios para instalar sus sistemas de cultivo. Con base en estas consideraciones, se ha iniciado la etapa de análisis preliminar para establecer un punto de partida sólido para el desarrollo de un sistema que cumpla con las necesidades de los usuarios interesados en el cultivo hidropónico.

##### Análisis de requisitos.

A partir de la investigación realizada en el estado del arte, se ha podido identificar diversos dispositivos para monitorear el pH y la temperatura del agua. Por tanto, se han definido las siguientes especificaciones como parte del análisis de requerimientos. temperatura, líquido o sólido fertilizante.

##### *Requisitos funcionales:*

- Configurar la programación de encendido y apagado de la bomba para el flujo automático de agua.
- El usuario podrá prender y apagar la luz.
- Programación de dosificaciones de nutrientes de forma automática.
- Visualización en tiempo real de los datos de monitoreo (temperatura, pH, CO2) en una aplicación web.

##### *Requisitos no funcionales:*

- Estabilidad del sistema para garantizar el buen funcionamiento del cultivo.
- Facilidad de uso e interfaz intuitiva para que los usuarios puedan interactuar con el sistema sin complicaciones.

- Eficiencia energética y reducción de costos para que el sistema sea rentable y sostenible.
- Disponibilidad de conexión Wi-Fi en el hogar para el funcionamiento del sistema.

#### **Análisis de la tecnología.**

Con base en los requerimientos obtenidos, es fundamental definir la tecnología a utilizar tanto para el desarrollo del dispositivo como para la aplicación móvil y web. A continuación, se detallan los tipos de tecnología considerados.

En la tabla 1, se muestra los componentes que se usaron para la creación del dispositivo de cultivo hidropónico.

**Tabla 1.** Componentes utilizados en el desarrollo del sistema.

<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>
Módulo NodeMCU esp8266 v3 Wi-Fi ch340.	El módulo NodeMCU es una pequeña placa Wi-Fi, lista para usar en cualquier proyecto IoT. Está montada alrededor del conocido chip ESP8266 (el cual ofrece una solución completa y autónoma de redes Wi-Fi, lo que le permite alojar la aplicación o servir como puente entre Internet y un microcontrolador) y expone todos sus pines en los laterales. Además, ofrece más ventajas como la incorporación de un regulador de tensión integrado, así como un puerto USB de programación. Se puede programar con LUA o mediante el IDE de Arduino [30].
Sensor de temperatura ds18b20 sonda a prueba de agua inoxidable.	sensor de temperatura DS18B20. Material de calidad: el sensor de temperatura digital adopta un diseño impermeable, embalaje de tubo de acero inoxidable de calidad, a prueba de humedad y óxido, por lo que la vida útil del producto se prolonga [31].
Módulo Sensor de Intensidad de luz bh1750.	Este es un sensor de luz fácil de usar basado en el BH1750FVI IC. Es un sensor de luz ambiental digital que tiene una interfaz I2C. Este IC es el adecuado para obtener los datos de luz ambiental. Es posible detectar una amplia gama de intensidad de luz a alta resolución. Es un circuito integrado popular con bibliotecas listas y códigos de muestra disponibles, lo que facilita su uso en proyectos personalizados [32].
Sensor de pH + tarjeta acondicionadora.	Conexión instantánea a su sonda y su Arduino para obtener medidas de pH a $\pm 0.1$ HP (25 $\mu$ ). Para la mayoría de los aficionados a este gran rango de precisión y su bajo costo, ¡esta es una gran herramienta para biorobóticos y otros proyectos! Tiene un LED que funciona como el indicador de alimentación, un conector BNC y la interfaz del sensor PH. Para usarlo, simplemente conecte el sensor de pH con el conector BND y conecte la interfaz PH en el puerto de entrada analógica de cualquier controlador Arduino [33].
Bomba de Agua de Diafragma r385 90 a 120l/h.	Una bomba de diafragma es un tipo de bomba de desplazamiento positivo, en la que el aumento de presión se realiza por el empuje de las paredes elásticas (membranas o diafragmas) que varían el volumen de la cámara aumentándolo y disminuyéndolo, esto junto a unas válvulas de retención permiten el bombeo del líquido. Tiene



	capacidad para levantar líquidos no viscosos a una altura de 2 metros e impulsarlos verticalmente hasta a 3 metros. Este modelo es una evolución del modelo RS-360 [34].
Módulo Relé 5v ky-019 relé 5v 1 canal.	El nuevo módulo de relé de 5 V Se puede utilizar como módulo de placa de desarrollo de microcontroladores, se puede utilizar como control de electrodomésticos, Señal de control de 5 V-12 V a TTL, Se puede controlar la señal de control de CC o CA, 220V CA, Hay un contacto normalmente abierto y normalmente cerrado, Luz indicadora de alimentación [35].
MQ-135 módulo de monitor de calidad del aire con sensor de gas.	Sensible para benceno, alcohol, humo. Aumenta la tensión de salida junto con la concentración de los gases medidos aumentados. Respuesta y recuperación rápidas. Sensibilidad ajustable. Indicador de salida de señal [36].
Sensor de nivel de agua	Es un dispositivo que se utiliza para medir la cantidad de agua presente en un tanque, cisterna, pozo, río, lago u otra fuente de agua [37].

Una vez realizado el análisis de los correspondiente a continuación, en la tabla 2 se mostrarán los softwares para la realización del aplicativo móvil y Web además de los servicios correspondientes.

**Tabla 2.** Herramientas de desarrollo utilizadas para el aplicativo móvil y web.

Herramienta de desarrollo	Criterio de selección
VISUAL STUDIO CODE.	El mejor IDE completo para desarrolladores de .NET y C++ en Windows. Completamente equipado con una buena matriz de herramientas y características para elevar y mejorar todas las etapas del desarrollo de software [38].
FIREBASE.	Firestore es una plataforma desarrollada por Google que facilita el desarrollo de apps, proporcionando un servidor backend para las aplicaciones. Además, el mismo backend puede ser utilizado de forma común en diversas plataformas: Android, IOS y web. datos y los sincroniza en tiempo real [39].
ANDROID STUDIO.	Android Studio ofrece generadores de perfiles de rendimiento para que puedas realizar un seguimiento más fácil del uso de CPU y memoria de tu app, encontrar objetos desasignados, ubicar fugas de memoria, optimizar el rendimiento de los gráficos y analizar las solicitudes de red [40].
SPRING BOOTS.	Spring Boot sirve para desarrollar arquitecturas enfocadas a los microservicios, pero ¿qué significa esto? Los microservicios son un enfoque concreto pensado para el desarrollo de software y aplicaciones web [41].
Ide Arduino	

### **Análisis de entorno.**

Este sistema de monitoreo y control fue diseñado para hogares que carecen de terreno para cultivar, pero disponen de fuentes de electricidad e internet. Dado que la conectividad a internet se ha convertido en una necesidad básica en muchos hogares,

especialmente desde la pandemia del COVID-19, HydroGrow aprovecha esta infraestructura para brindar una experiencia de cultivo hidropónico automatizada. Aunque no tiene como objetivo la reducción del consumo de energía, se busca optimizar el uso de los recursos disponibles. Por último, si el usuario tiene instalada la aplicación móvil, recibirá alertas en caso de que algún parámetro, como temperatura, humedad, pH o nutrientes, exceda los límites establecidos, lo que le permitirá tomar medidas inmediatas para prevenir pérdidas en su producción.

#### **Análisis de viabilidad.**

Es importante realizar un análisis de viabilidad para detectar las posibilidades y riesgos asociados con la implementación de un proyecto IoT. Los estados de factibilidad de este trabajo son los siguientes:

- **Viabilidad técnica:** Existen tecnologías disponibles para desarrollar el sistema. No obstante, el equipo encargado del proyecto carece de experiencia en este tipo de proyectos. A pesar de esto, hay diversos recursos de aprendizaje disponibles para adquirir los conocimientos necesarios y llevar a cabo el desarrollo del sistema de manera eficiente.
- **Viabilidad económica:** Los materiales para desarrollar el cultivo hidropónico son de costo accesible para los integrantes del equipo.
- **Factibilidad operativa:** Para mantener el sistema en funcionamiento después de su desarrollo, solo se requiere suministrar nutrientes, verificar el agua y proporcionar energía eléctrica.

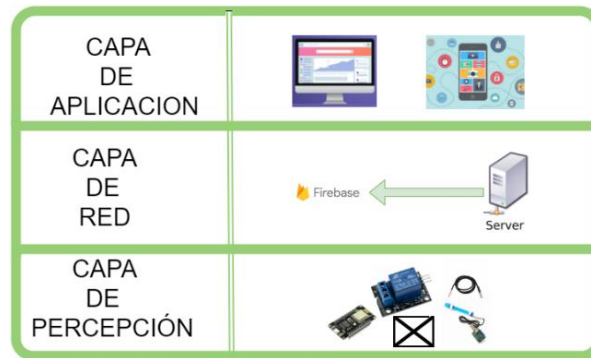
## **4.2 Diseño de la capa tecnológica**

Durante esta etapa, todos los miembros del equipo del proyecto estuvieron involucrados en la tarea de Diseño de la capa de tecnológica, creando así el primer diseño del sistema global que orientará al equipo de desarrollo. Para llevar a cabo el diseño del sistema, resultó útil emplear la herramienta de diseño de circuitos TDDT4IoTS que permitió representar de manera clara los componentes definidos para el proyecto. Después de obtener el diseño, se pudo analizar los costos de los componentes de hardware que lo integrarán.

Los resultados de este trabajo de diseño produjeron el diseño de la arquitectura del IoT, que consta de dos tipos de arquitectura: una de ellas es conocida como la arquitectura de cinco capas, la cual incluye la capa de percepción, capa de transporte, capa de procesamiento, capa de aplicación y capa de negocio. Sin embargo, para los requerimientos del sistema distribuido para el cultivo Hidropónico, se han considerado solamente tres capas que son: capa de aplicación, capa de internet y capa de percepción, en la Fig. 2 se ilustran con más detalle los elementos presentes en cada una de estas capas.

La capa inferior se denomina capa de percepción, ya que es aquí donde se encuentran los sensores y donde se lleva a cabo el preprocesamiento de la información detectada por los sensores. Esta capa es responsable de realizar las funciones de seguimiento y control del entorno. La capa intermedia, denominada capa de internet, es donde se lleva a cabo tanto la conectividad como el procesamiento y almacenamiento de la información. En esta capa se ubica el servicio Hosting, el cual se utiliza para enviar datos en tiempo real para ser almacenados en la base de datos Firebase [39] y

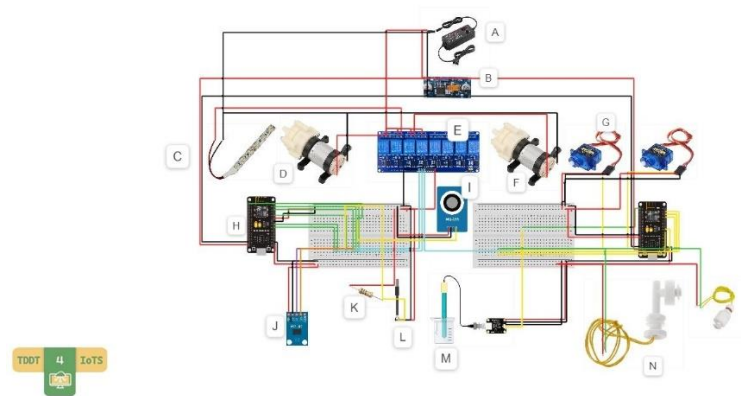
visualizados en ambas aplicaciones (web y móvil). La capa de Aplicación es la capa que permite la interacción del usuario, la cual se compone de dos aplicaciones (web y móvil) a través de las cuales los usuarios pueden interactuar con el sistema.



**Fig. 2.** Arquitectura del sistema HydroGrow [42]

En la Fig. 2 se muestra la arquitectura del sistema IoT de HydroGrow, esta arquitectura permitirá que los datos capturados por la capa de percepción sean enviados mediante internet al almacenamiento en la nube desde el cual las aplicaciones tanto web y móvil servirán para ingresar datos de configuración para la capa de actuadores, además la aplicación móvil podrá enviar órdenes a los actuadores de la capa de percepción por medio de la capa de internet.

El diseño del dispositivo IoT (Ver Fig. 3, Diseño del dispositivo HydroGrow), permitirá detectar varios datos como la temperatura del agua, CO<sub>2</sub> del ambiente, intensidad de la luz y pH para cultivar de manera adecuada. Este esquema se ha desarrollado utilizando la herramienta TDDT4IoTS. Los componentes utilizados son: (A) Adaptador universal de 24 V, (B) disminuyó de electricidad, (C) Tira de luces led 12v, (D) Bomba de agua de diafragma R385 90, proporcionará movimiento continuo del agua, (E) Módulo relé 10V KY-019 que controlará el motor del agua, (F) Bomba de agua de diafragma R385 90, proporcionará agua para regular el nivel de agua, (G) servos motores, (H) NodeMCU ESP8266 V3, servirá para dar órdenes a los actuadores y para recibir datos capturados de los actuadores. (I) Sensor de gas MQ-135 que monitoreará la calidad del aire, (J) Módulo sensor de intensidad de luz BH1750, (K) Resistencia 4.7K, (L) Sensor de temperatura de agua DS18B20, (M) Sensor de pH con tarjeta acondicionada, (N) Sensor de Nivel de agua. En cuanto a la fuente de alimentación será por medio del Adaptador universal de 24 V.



**Fig. 3.** Diseño del dispositivo HydroGrow

Las etapas de Análisis preliminar y Diseño de la capa tecnológica no volverán a realizarse debido a que los requisitos de este sistema fueron claros y concretos desde las primeras etapas. Además, la participación de los usuarios en esta etapa fue fundamental para garantizar que el diseño del sistema satisficiera sus necesidades.

**Análisis de costos del dispositivo HydroGrow.** Es importante conocer el valor de cada uno de los componentes utilizados para calcular con precisión el costo total de construir un dispositivo similar al que se describe aquí. Debido a esto se ha proporcionado una descripción detallada (ver Tabla 3, Costos de los componentes de hardware) de cada uno de ellos, para que el lector pueda tener una idea clara de los precios a considerar en su mercado local.

**Tabla 3.** Costos de los componentes de hardware.

Dispositivo	Cantidad	Precio
Protoboard 830 puntos	1	\$4.49
20cm breadboard cable – Type: Female-Male	20	\$1.99
20cm breadboard cable – Type: Male-Male	30	\$2.00
Gas sensor - Type: MQ135	1	\$4.09
Bomba de agua de diagrama R385 90	2	\$12.98
Módulo relé 8 puerta	1	\$10.25
Sensor de pH + tarjeta acondicionadora.	1	\$45.99
Módulo sensor de intensidad de luz bh1750.	1	\$4.99
Sensor de temperatura ds18b20	1	\$2.99
Servomotor SG90	3	\$11.85
Adaptador Variable de carga	1	\$17.50
Sensor de nivel de Agua	1	\$3.95
Sensor ADS11S	1	\$8.95
Luces LED Rojo	1	\$4.80
Luces LED Azul	1	\$6.00
Resistencia de 4.7K	1	\$0.25
Diodo 1N4007	2	\$1.00
NodeMCU esp8266 Wi-Fi	2	\$16.94
<b>Precio Total</b>		<b>\$161.01</b>

### 4.3 Análisis detallado de requisitos

A partir de esta etapa y las siguientes deben ejecutarse en cada entregable. Los entregables más relevantes para el cliente son el dispositivo, la aplicación móvil y la aplicación web. Por lo tanto, es necesario que esté satisfecho, para lograr esto se hará un análisis detallado de requisitos usando casos de uso extendidos (Ver Tablas 4,5,6,7,8), según lo indicado por TDDM4IoTs [8].

**Tabla 4.** Caso de uso 1: Crear cuenta de usuario.

<b>Caso de uso</b>	Crear cuenta de usuario
<b>Actores:</b>	Usuario
<b>Propósito:</b>	Registrar a una persona como usuario del sistema
<b>Resumen:</b>	Este proceso comienza cuando el usuario accede a la interfaz para crear la cuenta de usuario, ingresa los datos, envía a guardar y el sistema almacena la información.
<b>Tipo:</b>	Primario
<b>Precondiciones</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>El usuario no debe estar registrado en la base de datos</li> <li>No debe existir un inicio de sesión activo</li> </ul>	
<b>Postcondiciones</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>El cliente quedará registrado en la tabla Usuarios.</li> </ul>	
<b>Flujo normal de eventos</b>	
<b>Acción del Actor</b>	<b>Respuesta del sistema</b>
1. Accede a la interfaz de crear cuenta	2. Mostrará un formulario con los datos que debe ingresar el usuario como nombre, apellido, nombre de cultivo, usuario y clave.  5. Verifica que el usuario no existe.  6. Presenta la retroalimentación de confirmación de la acción.  7. Realiza el guardado en la base de datos.  9. Envía una notificación indicando que el proceso de creación de su cuenta ha
2. Ingresa los datos requeridos en el formulario indicado en el paso 2.	
3. Procederá a terminar su registro.	
8. Confirma la acción.	

	terminado exitosamente.
	10. El sistema de caso de uso finaliza cuando se presenta la interfaz de inicio de sesión.
<b>Flujo alterno de eventos</b>	
<b>Línea 5:</b> El sistema indica que el usuario que ingreso ya existe y el caso de uso concluye. <b>Línea 8:</b> El sistema notifica al usuario que han ocurrido errores y el caso de uso concluye.	

**Tabla 5.** Caso de uso 2: Configuración de parámetros del sistema

<b>Caso de uso</b>	Configuración de parámetros del sistema
<b>Actores:</b>	Usuario
<b>Propósito:</b>	Controlar horarios del flujo de agua, luces led y cantidad de nutrientes en el agua
<b>Resumen:</b>	Este proceso inicia cuando el usuario quiere planificar los horarios de la bomba, luces led y cantidad de nutrientes que desea que se liberen en el agua del cultivo con su respectivo nombre. Procederá a modificar los valores por defecto según su preferencia dentro del formulario.
<b>Tipo:</b>	Primario
<b>Precondiciones</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>El usuario registrado deberá haber iniciado sesión.</li> <li>El dispositivo desde estar funcionando y conectado a la red Wi-Fi</li> <li>El dosificador de nutrientes no debe estar vacío.</li> <li>La fuente de Agua debe estar disponible</li> </ul>	
<b>Postcondiciones</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>El sistema guarda los datos de configuración en la base de datos.</li> </ul>	
<b>Flujo normal de eventos</b>	
<b>Acción del Actor</b>	<b>Respuesta del sistema</b>
1. Accede a la interfaz de configuración del dispositivo.	2. Muestra una interfaz con los campos que debe rellenar como horarios de la bomba para el flujo del agua, nivel de agua, nivel de temperatura del agua, cantidad de pH y horarios de luminosidad.
3. Selecciona el horario de encendido y apagado de la bomba según su preferencia.	
4. Ingresar el nivel de agua.	

5. Especifica la cantidad de nutrientes que desea que se liberen en el agua de los cultivos.	
6. Define los horarios de luminosidad.	
	7. Guarda los datos de configuración realizada por el usuario en la base de datos.
	8. El sistema muestra la interfaz principal donde se ven los parámetros actuales.
<b>Flujo alterno de eventos</b>	
<b>Línea 3:</b> El sistema indica que ocurrió un error al guardar los datos y el caso de uso concluye.	

**Tabla 6.** Caso de uso 3: Visualizar datos de cultivo.

<b>Caso de uso</b>	Visualizar datos del cultivo
<b>Actores:</b>	Usuario
<b>Propósito:</b>	Permitir al cliente visualizar los datos de su cultivo.
<b>Resumen:</b>	Este proceso inicia cuando el usuario desea ver los datos del cultivo recopilados por los sensores, deberá iniciar sesión en la aplicación web para ver los datos.
<b>Tipo:</b>	Primario
<b>Precondiciones</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>El cliente debe estar registrado y haber iniciado sesión en la aplicación web.</li> </ul>	
<b>Postcondiciones</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>El sistema guarda la configuración de horarios y nutrientes de la bomba de riego y luces led especificada por el agricultor.</li> <li>La bomba de riego y luces led se activa en los horarios programados y libera la cantidad de nutrientes especificada por el agricultor.</li> </ul>	
<b>Flujo normal de eventos</b>	
<b>Acción del Actor</b>	<b>Respuesta del sistema</b>
1. Accede a la interfaz principal del dispositivo.	
	2. Muestra una pantalla con un texto indicando que de clic en botón con nombre del dato que desea ver.
3. Selecciona la opción de su interés, por ejemplo, temperatura.	
	4. Indica los datos estadísticos históricos de la temperatura del cultivo obtenidos por los sensores.

<b>Flujo alterno de eventos</b>	
<b>Línea 4:</b> Si no hay datos del cultivo disponibles, el sistema muestra un mensaje indicando que no hay datos para mostrar.	

**Tabla 7.** Caso de uso 4: Inicio de sesión. (se podría cambiar a Autenticación de usuario)

Caso de uso	Inicio de sesión
Actores:	Usuario
Propósito:	Permitir el acceso a la cuenta de usuario del sistema.
Resumen:	Este proceso comienza cuando el usuario accede a la interfaz de inicio de sesión, ingresa sus credenciales y el sistema verifica su validez para permitir el acceso.
Tipo:	Primario
Precondiciones	
<ul style="list-style-type: none"><li>El usuario debe estar registrado en la base de datos del sistema.</li><li>No debe existir un inicio de sesión activo.</li></ul>	
Postcondiciones	
<ul style="list-style-type: none"><li>El usuario tendrá acceso a la interfaz del sistema y podrá realizar las acciones correspondientes.</li></ul>	
Flujo normal de eventos	
Acción del Actor	Respuesta del sistema
1. Accede a la interfaz de inicio de sesión.	2. Mostrará un formulario con los datos que debe ingresar el usuario como usuario y clave.  4. Permite el acceso a la interfaz del sistema.
3. Ingresa los datos requeridos en el formulario.	
Flujo alterno de eventos	
Línea 4: Si las credenciales son inválidas, el sistema muestra un mensaje de error y solicita que se ingresen las credenciales nuevamente.	

**Tabla 8.** Caso de uso 5: Configurar notificaciones de alerta.

<b>Caso de uso</b>	Configurar notificaciones de alerta
<b>Actores:</b>	Usuario
<b>Propósito:</b>	Permitir al usuario configurar las notificaciones de alerta para mantener los parámetros de cultivo dentro de un rango establecido.
<b>Resumen:</b>	Este proceso inicia cuando el usuario accede a la interfaz de configuración de notificaciones de alerta. El usuario

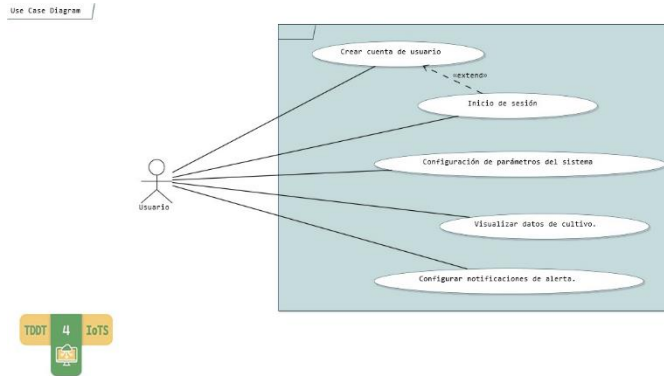


	establece los rangos de alerta para cada parámetro de cultivo (pH, niveles de CO <sub>2</sub> , nivel de agua y temperatura del agua) si el valor del parámetro está fuera del rango establecido. El sistema verifica continuamente los valores de los parámetros de cultivo y envía las notificaciones correspondientes si es necesario.
<b>Tipo:</b>	Primario
<b>Precondiciones</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>El usuario debe tener una cuenta registrada en el sistema.</li> <li>El sistema debe estar conectado y funcionando correctamente.</li> </ul>	
<b>Postcondiciones</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>El sistema mantiene un registro de las notificaciones de alerta configuradas por el usuario.</li> </ul>	
<b>Flujo normal de eventos</b>	
<b>Acción del Actor</b>	<b>Respuesta del sistema</b>
1. Ingresa a la interfaz de configuración de notificaciones de alerta.	2. Mostrará un formulario en donde podrá establecer los rangos mínimos y máximos de cada parámetro (pH, temperatura de agua, nivel del agua y CO <sub>2</sub> ) en los que debe enviarse la alerta.
3. Establece los rangos de alerta para cada parámetro de cultivo.	4. Guarda la configuración establecida por el usuario en la base de datos.
<b>Flujo alterno de eventos</b>	
<b>Línea 3:</b> Si el valor ingresado en mínimo es mayor al valor ingresado como máximo, el sistema muestra un mensaje de error y regresa a la línea 1.	

#### 4.4 Generación y adaptación de modelos, pruebas y software

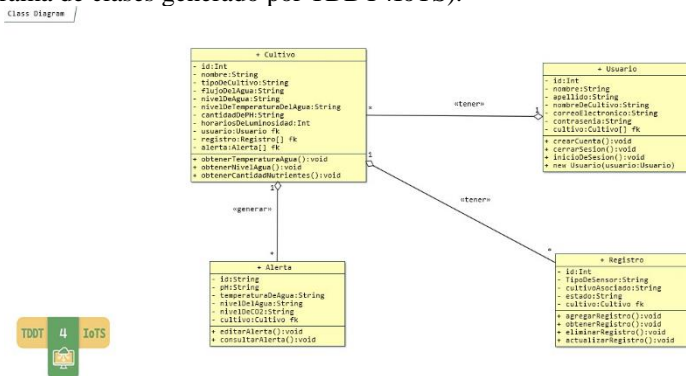
En esta etapa se utilizó la herramienta TDDT4IoTS para el desarrollo del sistema, dicha herramienta utiliza el patrón modelo-vista-controlador. A partir de los casos de uso genera el diagrama de clases, y a partir de este el código fuente para la aplicación web y sus interfaces de usuario preliminares, y el modelo para la aplicación móvil.

Por lo tanto, se utilizaron los casos de uso presentados anteriormente. La herramienta presenta un cuadro de diálogo en donde se debe ingresar las partes del caso de uso indicadas junto a la simbología necesaria para la generación del proyecto. Como resultado, se obtuvo un diagrama que incluye todos los casos de uso. En la Fig. 4 se muestra el Diseño de los casos de usos.



**Fig. 4.** Diseño de casos de usos en TDDT4IoT

Debido a que se especificó todos los detalles de los casos de uso, luego de generar el diagrama de clases no hubo necesidad de adaptar el diagrama de clases, se obtuvo un diagrama de clases basado en las entidades que se mencionan en los casos de usos (Ver Fig. 5, Diagrama de clases generado por TDDT4IoT).



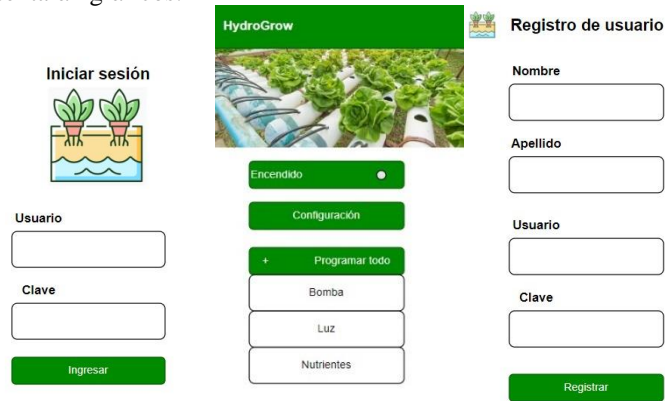
**Fig. 5.** Diagrama de clases generado por TDDT4IoT

Además, se diseñó el dispositivo IoT con los componentes seleccionados en el menú de la herramienta TDDT4IoT, el cual genera parte del software que se usará en la web (Ver Figura 3). Para compilar y ejecutar el código se utilizó el Arduino ide. Se realizaron pruebas unitarias tras conectar los componentes para construir el dispositivo. Durante las pruebas unitarias se conectó componente a componente para comprobar el correcto funcionamiento y realizar la toma de datos que se almacenan en Firebase.

Al realizar las pruebas unitarias todas fueron satisfechas. Sin embargo, durante el montaje del dispositivo completo, se encontró una limitación de pines de entrada analógica en el NodeMCU ESP8266, lo que impedía conectar los sensores MQ135 y pH, ya que ambos requieren una entrada analógica (entrada A0), y el módulo NodeMCU ESP8266 solo tiene una disponible. Para resolver este problema, se procedió a crear dos puentes con diodos 1N4007 para conectar ambos componentes a una misma entrada. Logrando obtener el dispositivo según los requisitos del usuario.

### Diseño de las interfaces.

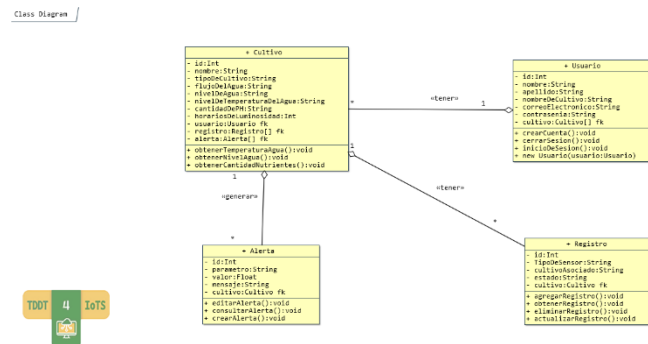
En la Fig. 6 se presenta el primer prototipo de la aplicación móvil de HydroGrow, en la que se realizará el control del sistema de cultivo, mientras que en la aplicación web sólo se presentarán gráficos.



**Fig. 6.** Presentación de los prototipos de la interfaz gráfica de la aplicación Móvil

#### 4.5 Refinamiento para Modelos y Software

Durante la etapa de refinamiento, se agregó una clase adicional y se definieron los métodos faltantes en los casos de uso. En la Fig. 7, se presenta el diagrama de clases refinado, generado utilizando la herramienta TDDT4IoTS.



**Fig. 7.** Diagrama de casos de uso refinado

Para refinar las pruebas del dispositivo, se realizaron pruebas adicionales con todos los componentes para verificar su comportamiento. Se ajustó artificialmente la temperatura del agua en un pequeño contenedor para medir los valores de pH del agua. Se agregó una pequeña cantidad de contaminantes al aire para evaluar la capacidad del sistema para capturar CO2. Además, se realizaron cambios en los niveles de agua para verificar la captura precisa de los datos en tiempo real en Firebase.

#### **4.6 Implementación de hardware y software**

Se realizó la implementación del dispositivo, el cual se compone de un esqueleto elaborado con tubos de PVC, que sostiene las plantas de lechuga y los nutrientes necesarios para su crecimiento, los cuales son suministrados a través del flujo del agua y una bomba que evita la acumulación de agua estancada. Además, se han instalado tiras de luces LED para favorecer el desarrollo eficiente de las plantas. La dosificación de los nutrientes es controlada mediante la administración de pH, Potasio, Nitrógeno y Fósforo, mediante el uso de dos servomotores de baja potencia para accionar una pequeña placa de plástico. Asimismo, se han incluido sensores de temperatura del agua, calidad del aire e intensidad de luz. Las pruebas realizadas demostraron que el sistema cumple con los requerimientos del usuario.

La aplicación web se ha desplegado en un servicio de Firebase llamado Hosting. En la aplicación web se pueden ver gráficos con más detalles que en la aplicación móvil, lo que permite registrar y monitorear los datos en tiempo real proporcionados por los sensores (Ver Fig. 8, Interfaz de monitoreo y control de los componentes a tiempo real). Además, la aplicación web presenta un mensaje de alerta en el mismo gráfico indicando cualquier variable que haya sucedido. También se pueden realizar operaciones comunes como iniciar sesión.



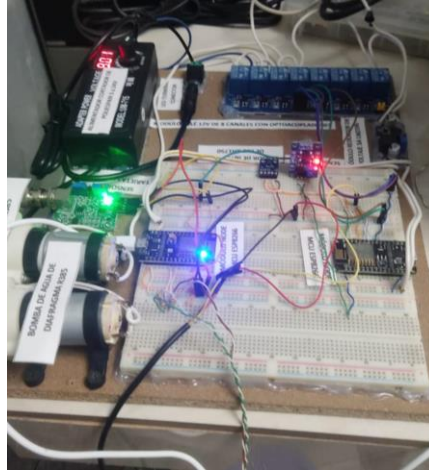
**Fig. 8.** Interfaz de monitoreo y control de los componentes a tiempo real



**Fig. 9.** Interfaz de monitoreo de temperatura a tiempo real

Cuando el usuario se autentica en la aplicación móvil puede acceder tanto a los datos en tiempo real de su dispositivo, así como al control de las luces, el control de las bombas (de flujo de agua y de llenado) y el control de la dosificación de los nutrientes, además podrá recibir alertas en caso de que los sensores presenten valores no comunes con los programados mientras que en la aplicación web podrá monitorizar con datos históricos.

En la Fig. 10 se muestra el dispositivo con todos los componentes realizando una transmisión de los datos hacia la aplicación móvil y web.



**Fig. 10.** Dispositivo electrónico de HydroGrow

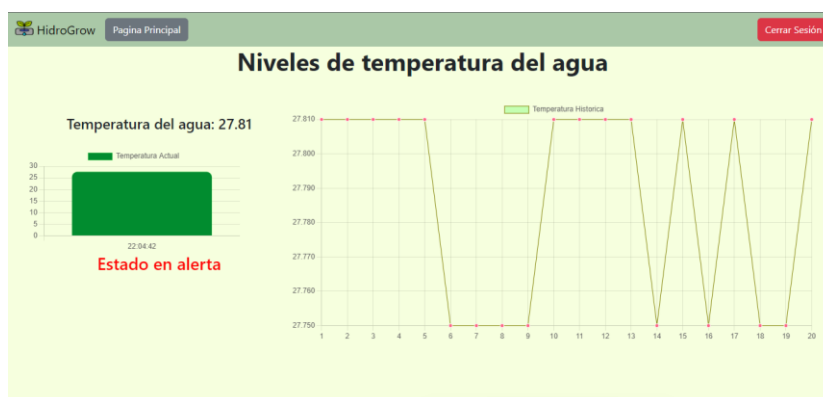
La Fig. 11 y Fig. 12 muestra una foto del dispositivo en funcionamiento junto al esqueleto de tubos donde se cultiva y mantiene la lechuga con los nutrientes necesarios. En la Fig. 8 y en la Fig. 9 se muestra una captura de pantalla de la aplicación móvil que permite controlar el dispositivo y visualizar los datos en tiempo real. Por otro lado, en la Fig. 13 se puede observar una captura de pantalla de la aplicación web que presenta tanto los datos en tiempo real como los datos históricos recopilados por HydroGrow, tales como los niveles de temperatura del agua, pH, luminosidad y CO<sub>2</sub>.



**Fig. 11.** Despliegue del dispositivo



**Fig. 12.** Dispositivo en funcionamiento



**Fig. 13.** Captura de pantalla de la aplicación web del sistema HidroGrow.

Para realizar las pruebas finales sobre cómo se comporta el sistema en respuesta a las variaciones de temperatura del agua, se simuló el aumento de temperatura calentando el sensor. De esta forma, se comprobó que el sistema capturaba perfectamente el aumento de temperatura del agua y mostraba correctamente los datos. Con estos valores, los usuarios podrán tomar las mejores decisiones para garantizar un ambiente saludable y confortable para las lechugas. Para probar finalmente el funcionamiento del sensor de intensidad de luz, se apagaron las luces de la habitación. Por lo tanto, cuando se reducía la intensidad de la luz, el dispositivo enviaba una notificación/alerta para proporcionar el brillo que la planta necesitaba. Para la prueba final de detección de CO<sub>2</sub>, se realizó manualmente soplando en el componente para que pudiera detectar los valores de concentración de CO<sub>2</sub>. Para la última prueba de detección de pH, se pudo corroborar que recogía correctamente el dato y lo presentaba tanto en la aplicación móvil como en la web. Por lo tanto, los resultados de todas las pruebas fueron satisfactorios.

#### 4.7 Evaluación de entregables

En esta etapa, nuestro objetivo es evaluar la usabilidad y funcionalidad del sistema HydroGrow a través de pruebas a usuarios. Sin embargo, hasta el momento aún no se han llevado a cabo todas las pruebas necesarias para lograr una evaluación completa del sistema.

#### 4.8 Mantenimiento

Aunque HydroGrow no ha llevado a cabo esta etapa porque comenzó como un proyecto pequeño, tenemos planes para realizar la siguiente etapa de mantenimiento secuencialmente. En primer lugar, nos enfocaremos en el mantenimiento del software, lo que incluye la revisión del código de la aplicación web. Luego, se llevará a cabo el mantenimiento de la aplicación móvil y del hardware, que incluye los sensores, la bomba y las placas NodeMCU ESP8266.



## 5 Resultados y Discusión

HydroGrow presenta características técnicas únicas en comparación con otros estudios similares. El sistema utiliza de forma conjunta múltiples sensores para medir la temperatura del agua, el pH, el nivel de agua, la luminosidad y la calidad del aire. Además, cuenta con controles que permiten regular el pH, la rotación del agua y el llenado del recipiente.

Durante la prueba realizada, se pudo comprobar que el sistema envía alertas en caso de detectar algún problema, permitiendo al usuario tomar decisiones informadas al respecto. Las alertas se envían mediante notificaciones de pantalla directamente al teléfono móvil del usuario mientras esté utilizando la aplicación móvil.

## 6 Conclusiones y recomendaciones

En este artículo, se presentó el desarrollo del sistema HydroGrow, una solución de automatización de cultivos hidropónicos diseñada para mejorar la calidad y eficiencia de los cultivos, así como reducir los impactos ambientales asociados con los métodos tradicionales de cultivo. El objetivo principal de este sistema es alertar a los usuarios cuando algún parámetro del cultivo esté fuera del rango requerido, y para ello se han implementado dispositivos para medir la temperatura del agua, el pH, la luminosidad y la calidad del aire, y se pueden enviar notificaciones al usuario.

Es importante destacar que este sistema está dirigido a personas que desean cultivar y no tienen suficiente espacio para hacerlo en tierra, ofreciendo una alternativa viable para la producción de hortalizas en ambientes controlados. Los datos obtenidos se almacenan en Firebase y se muestran en tiempo real en una aplicación web para su fácil acceso. Si bien HydroGrow es una solución de costo considerable, se espera que los usuarios finales expresen sus requerimientos para lograr un dispositivo de calidad adaptado a sus necesidades específicas.

Para futuras investigaciones y mejoras del sistema, se recomienda explorar la aplicación de otros tipos de sensores y la inclusión de inteligencia artificial para brindar información relevante al usuario y ayudarlo a tomar decisiones informadas sobre su cultivo. Asimismo, se sugiere investigar nuevas especies de plantas que puedan ser cultivadas en el sistema HydroGrow, mejorar la eficiencia energética y reducir los costos de producción.

## 7 Referencias

1. Gashgari, R.; Alharbi, K.; Mughrbil, K.; Jan, A.; Glolam, A. Comparison between Growing Plants in Hydroponic System and Soil Based System. *Proceedings of the World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering* **2018**, 1–7, doi:10.11159/icmie18.131.
2. Chaiwongsai, J. Automatic Control and Management System for Tropical Hydroponic Cultivation. In *Proceedings of the 2019 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*; 2019; pp. 1–4.
3. Resh, H.M. *HYDROPONIC Food Production. A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener.*; 2013; ISBN 13: 978-1-4398-7869-9 (eBook - PDF) This.

4. Savvas, D.; Gruda, N. Application of Soilless Culture Technologies in the Modern Greenhouse Industry - A Review. *Eur J Hort Sci* **2018**, *83*, 280–293, doi:10.17660/eJHS.2018/83.5.2.
5. Ferrández-Pastor, F.J.; García-Chamizo, J.M.; Nieto-Hidalgo, M.; Mora-Pascual, J.; Mora-Martínez, J. Developing Ubiquitous Sensor Network Platform Using Internet of Things: Application in Precision Agriculture. *Sensors* **2016**, *16*, doi:10.3390/s16071141.
6. Amaya, A.; Cruz, L. Diseño e Implementación de Un Control de PH, Conductividad y Monitoreo Del Nivel de Agua Para El Cuidado Cultivos Hidropónicos de Uso Doméstico. **2016**, *14*.
7. El-nour, E.A.E.A.A. Management of Furrow Irrigation Technology and Its Risk Assessments: A Review. *Middle East Journal of Applied Sciences* **2020**, doi:10.36632/mejas/2020.10.4.51.
8. Guerrero-Ulloa, G.; Hornos, M.J.; Rodríguez-Domínguez, C. TDDM4IoT: A Test-Driven Development Methodology for Internet of Things (IoT)-Based Systems. In Proceedings of the Applied Technologies; Botto-Tobar, M., Zambrano Vizuet, M., Torres-Carrión, P., Montes León, S., Pizarro Vásquez, G., Durakovic, B., Eds.; Springer International Publishing: Cham, 2020; pp. 41–55.
9. Papadopoulos, I.; Chatzitheodoridis, F.; Christos, P.; Vasilios, T.; Gianneli, C. Evaluation of Hydroponic Production of Vegetables and Ornamental Pot-Plants in a Heated Greenhouse in Western Macedonia, Greece. *American Journal of Agricultural and Biological Science* **2008**, *3*, 559–565, doi:10.3844/ajabssp.2008.559.565.
10. Sharma, N.; Acharya, S.; Kumar, K.; Singh, N.; Chaurasia, O. Hydroponics as an Advanced Technique for Vegetable Production: An Overview. *J Soil Water Conserv* **2019**, *17*, 364–371, doi:10.5958/2455-7145.2018.00056.5.
11. Nuez, L. Arduino Controlled Smart Hydroponic Modular System. **2018**, 1–29.
12. Khudoyberdiev, A.; Ahmad, S.; Ullah, I.; Kim, D.H. An Optimization Scheme Based on Fuzzy Logic Control for Efficient Energy Consumption in Hydroponics Environment. *Energies (Basel)* **2020**, *13*, doi:10.3390/en13020289.
13. Chowdhury, M.E.H.; Khandakar, A.; Ahmed, S.; Al-Khuzaei, F.; Hamdalla, J.; Haque, F.; Reaz, M.B.I.; Shafei, A. Al; Al-Emadi, N. Design, Construction and Testing of Iot Based Automated Indoor Vertical Hydroponics Farming Test-Bed in Qatar. *Sensors (Switzerland)* **2020**, *20*, 1–24, doi:10.3390/s20195637.
14. Crisnapati, P.N.; Wardana, I.N.K.; Aryanto, I.K.A.A.; Hermawan, A. Hommons: Hydroponic Management and Monitoring System for an IOT Based NFT Farm Using Web Technology. In Proceedings of the 2017 5th International Conference on Cyber and IT Service Management, CITSM 2017; Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., October 27 2017.
15. Sihombing, P.; Karina, N.; Tarigan, J.; Syarif, M. Automated Hydroponics Nutrition Plants Systems Using Arduino Uno Microcontroller Based on Android. *J Phys Conf Ser* **2018**, *978*, 12014, doi:10.1088/1742-6596/978/1/012014.
16. Tagle, S.; Pena, R.; Oblea, F.; Benzoza, H.; Ledesma, N.; Gonzaga, J.; Lim, L.A.G. Development of an Automated Data Acquisition System for Hydroponic Farming. In Proceedings of the 2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information

- Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM); 2018; pp. 1–5.
17. Ardiansyah, L.; Prasetya, D.A. Design And Implementation Of An Automation System For A Nutrition Pump In Hydroponics Using Arduino Uno. **2021**.
  18. Tatas, K.; Al-Zoubi, A.; Christofides, N.; Zannettis, C.; Chrysostomou, M.; Panteli, S.; Antoniou, A. Reliable IoT-Based Monitoring and Control of Hydroponic Systems. *Technologies (Basel)* **2022**, *10*, doi:10.3390/technologies10010026.
  19. Ibarra-Cabrera, M.J.; Cruz, M.A.; Quispe Onofre, C.R.; Ochoa, S.F. An IoT-Based System Architecture for Monitoring Hydroponic Growing in Urban Agriculture. In Proceedings of the Proceedings of the International Conference on Ubiquitous Computing & Ambient Intelligence (UCAmI 2022); Bravo, J., Ochoa, S., Favela, J., Eds.; Springer International Publishing: Cham, 2023; pp. 622–633.
  20. Guerrero-Ulloa, G.; Hornos, M.J.; Rodríguez-Domínguez, C.; Fernández-Coello, Ma.M. IoT-Based Smart Medicine Dispenser to Control and Supervise Medication Intake. *Intelligent Environments 2020. Ambient Intelligence and Smart Environments* **2020**, *28*, 39–48, doi:10.3233/AISE200021.
  21. Almadani, B.; Mostafa, S.M. IIoT Based Multimodal Communication Model for Agriculture and Agro-Industries. *IEEE Access* **2021**, *9*, 10070–10088, doi:10.1109/ACCESS.2021.3050391.
  22. Ibarra-Cabrera, M.J.; Cruz, M.A.; Quispe Onofre, C.R.; Ochoa, S.F. An IoT-Based System Architecture for Monitoring Hydroponic Growing in Urban Agriculture BT - Proceedings of the International Conference on Ubiquitous Computing & Ambient Intelligence (UCAmI 2022).; Bravo, J., Ochoa, S., Favela, J., Eds.; Springer International Publishing: Cham, 2023; pp. 622–633.
  23. Chowdhury, M.E.H.; Khandakar, A.; Ahmed, S.; Al-Khuzaei, F.; Hamdalla, J.; Haque, F.; Reaz, M.B.I.; Shafei, A. Al; Al-Emadi, N. Design, Construction and Testing of Iot Based Automated Indoor Vertical Hydroponics Farming Test-Bed in Qatar. *Sensors (Switzerland)* **2020**, *20*, 1–24, doi:10.3390/s20195637.
  24. Nuez, L. Arduino Controlled Smart Hydroponic Modular System. **2018**, 1–29.
  25. Park, S.; Kim, J. Design and Implementation of a Hydroponic Strawberry Monitoring and Harvesting Timing Information Supporting System Based on Nano AI-Cloud and IoT-Edge. *Electronics (Basel)* **2021**, *10*, doi:10.3390/electronics10121400.
  26. Tagle, S.; Pena, R.; Oblea, F.; Benoza, H.; Ledesma, N.; Gonzaga, J.; Lim, L.A.G. Development of an Automated Data Acquisition System for Hydroponic Farming. In Proceedings of the 2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM); 2018; pp. 1–5.
  27. Park, S.; Kim, J. Design and Implementation of a Hydroponic Strawberry Monitoring and Harvesting Timing Information Supporting System Based on Nano AI-Cloud and IoT-Edge. *Electronics (Basel)* **2021**, *10*, doi:10.3390/electronics10121400.
  28. Crisnapati, P.N.; Wardana, I.N.K.; Aryanto, I.K.A.A.; Hermawan, A. Hommons: Hydroponic Management and Monitoring System for an IOT Based NFT Farm Using Web Technology. In Proceedings of the 2017 5th

- International Conference on Cyber and IT Service Management, CITSM 2017; Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., October 27 2017.
29. Ortégón, E.; Pacheco, J.F.; Prieto, A. *Metodología Del Marco Lógico Para La Planificación, El Seguimiento y La Evaluación de Proyectos y Programas*;
  30. DODO, A. ElectroStore. **2019**.
  31. ElectroStore Sensor de Temperatura Ds18b20. **2019**.
  32. ElectroStore Modulo Sensor de Luz BH1750. **2019**.
  33. ElectroStore Sensor de PH.
  34. ElectroStore Bomba de Agua R385. **2019**.
  35. ElectroStore Modulo RELE 5v. **2019**.
  36. Libre, M. MQ-135 Sensor de Gas. **2023**.
  37. in cooperation with USDA, U. *WATER MEASUREMENT MANUAL A WATER RESOURCES TECHNICAL PUBLICATION*;
  38. TAHUN, P.P.R.I.N. 19 tahun 2005 *Visual Studio Hacks: Tips & Tools for Turbocharging the IDE*; 2005; ISBN 0596008473.
  39. Castellote Garcia, M. Desarrollo de Una Aplicación Android de Apuestas Utilizando Firebase Para La Sincronización de Datos. *Universitat jaume I* **2017**, 1–92.
  40. Robledo, D. Desarrollo de Aplicaciones Android I. *Desarrollo de aplicaciones para Android I* **2016**, 7–31.
  41. Boot, S. Spring Boot. *España* **2018**, 14, 193–194.
  42. Guerrero-Ulloa, G.; Andrango-Catota, A.; Abad-Alay, M.; Hornos, M.J.; Rodríguez-Domínguez, C. Development and Assessment of an Indoor Air Quality Control IoT-Based System. *Electronics (Basel)* **2023**, 12, doi:10.3390/electronics12030608.