

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

Karla Almea¹, Ericksson Estévez¹, Elvis Gonzales¹, Jorge Gualpa¹

¹Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ),
Quevedo, Ecuador
[kalmeav, ericksson.estevez2016, elvis.gonzales2016,
jorge.gualpa2015]@uteq.edu.ec

Resumen.

Palabras claves: Hidropónicos, Cultivos, Lechuga, ESP8266, TDDT4IoT

1. Introducción

En la actualidad, el interés por el cultivo casero ha ido en aumento. Cada vez es más frecuente observar que tanto hogares como edificios adquieren una vista más verde gracias al cultivo de flores y vegetales [1]. 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].

En las últimas décadas 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 [3]. 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 [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]. Sin embargo, se encontraron algunas falencias que pueden ser resueltas en el sistema que se propone en este trabajo. Por ejemplo, el uso de la información obtenida mediante los diferentes sensores para utilizarse para diseñar diferentes reglas que controlen algunos actuadores como electroválvulas, luces y electrobombas, así como la adición automática del agua al sistema.

A diferencia de estos artículos, que presentan una serie de carencias ya mencionadas, el presente trabajo pretende mejorar las funcionalidades encontradas en los sistemas revisados y hacer uso de la información de los sensores para controlar el sistema de cultivos de forma automatizada, así logrando una producción de cultivos hidropónicos más eficiente a través de la implementación de un ambiente controlado centrándose en los nutrientes del agua circulante. Esto a su vez permitirá optimizar la calidad de los cultivos y reducir los costos e impactos ambientales asociados con los métodos de

cultivo como el riego por surcos, método de cultivo en macetas y método de cultivos biointensivo [7].

Además, se llevaron a cabo pruebas para evaluar la eficiencia y sostenibilidad del sistema de cultivo hidropónico. Esto incluyó el seguimiento de la calidad y cantidad de los cultivos producidos, así como la medición de los recursos utilizados, como el agua y los nutrientes, todo esto haciendo uso de las propias herramientas de software que se desarrollaran, lo que permitirá evaluar también la eficiencia de estas. Finalmente, se analizarán los costos y beneficios del sistema de cultivo hidropónico en comparación con otros métodos de cultivo, con el objetivo de determinar su viabilidad económica y su impacto en el medio ambiente.

1.1. Antecedentes

La agricultura ha sido siempre una actividad esencial en la economía de numerosos países de todo el mundo, por mencionar algunos: Argentina, Canadá, Brasil, Estados Unidos y México [8]. Sin embargo, en la actualidad, la tecnología del Internet de las Cosas (IoT) está siendo utilizada para mejorar la eficiencia de los procesos agrícolas. El cambio mencionado ha generado un efecto importante en el desarrollo urbano y en los comportamientos de los residentes, dado que ha ocasionado una migración de las áreas agrícolas hacia áreas periféricas a la ciudad. En consecuencia, la demanda de alimentos sigue creciendo con el aumento de la población. Por esta razón, se propone en la siguiente investigación sobre el método de cultivo hidropónico como una alternativa innovadora y sostenible para producir alimentos de alta calidad de manera eficiente [9].

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 donde el suelo es pobre o inutilizable [10]. 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 además de la contaminación ambiental. Con el fin de abordar estos problemas, se han llevado a cabo varios estudios para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de la hidroponía [11].

Se han desarrollado varios trabajos al respecto, algunos permiten analizar y monitorizar los datos nivel de pH en el agua, temperatura del agua, nivel del agua [12][8][13][14], otros que utilizan inteligencia artificial para encender y apagar la bomba de agua y luces [15][16][17][18][19][20][21], así mismo, otros ayudan a tomar decisiones mandando alertas [22][14].

1.2. Pregunta de investigación y objetivos

La pregunta de investigación que guio 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 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.

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

1.2.1. Objetivos Específicos

- Realizar una revisión del estado del arte sobre los sistemas hidropónicos.
- Realizar una toma de datos 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.

Después de establecer la pregunta de investigación y los objetivos de la investigación, es importante realizar una revisión exhaustiva del estado del arte en el tema de cultivos hidropónicos, se explicará la revisión que se llevó a cabo en la siguiente sección.

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. Se utilizó dos cadenas de búsqueda

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

Al utilizar estas cadenas de búsqueda se consiguió información sobre Sistemas hidropónicos aplicando Internet de las cosas (*“IoT”*). La elaboración de esta investigación tiene como objetivo responder a la pregunta de investigación, ¿Cuáles son las características de los sistemas hidropónicos que se han desarrollado hasta el momento? Para ello se realizó la búsqueda antes mencionada. A continuación, se presentan los hallazgos encontrados en cada una de las investigaciones.

En el campo de los sistemas distribuidos para cultivos hidropónicos, existen varios proyectos que están enfocados a la automatización y optimización de los procesos que se llevan a cabo. Para lograr tal objetivo se puede disponer de una gama alta de tecnologías, dentro de las cuales se encontró como tecnología predominante el uso de placas Arduino en casi todos los trabajos [23][24][25][26][27][28][29][20][30][31][32], haciendo la diferencia Ibarra et al. [31] y Almadani [32] al utilizar un Raspberry Pi 3 B+. Se descubrió el uso de algunas variaciones de esta placa como las siguientes: Arduino Mega [23][25][28][30], Arduino Uno [24][26][27][29], Arduino NANO [20] y Arduino Mega MDK [32], estos funcionan como un controlador para los procesos generales de los proyectos. Además, se identificaron dos proyectos que junto a las placas Arduino utilizan el módulo Wifi ESP8266 [29][24], el uso de este módulo en los proyectos tiene como objetivo interpretar los datos leídos por los sensores y enviarlos mediante Wifi a otros dispositivos conectados.

Además, se analizó la frecuencia de uso de diferentes tipos de sensores en estos sistemas, encontrando así que los sensores con mayor a menor frecuencia son los

siguientes: pH, temperatura, conductividad eléctrica, nivel de agua, ultrasonido, humedad, proximidad y ultrasónico. Cabe recalcar que los sensores de conductividad eléctrica, nivel de agua y ultrasonido tienen la misma frecuencia de uso. La función principal de los sensores en estos proyectos es la de monitorear y controlar las condiciones ambientales y el agua del cultivo, debido que existen factores más determinantes que otros durante el crecimiento de una planta ya que no todas necesitan las mismas condiciones ambientales o cantidad de nutrientes [30].

Es importante destacar que todos los proyectos crearon y utilizaron un dispositivo de cultivo hidropónico para la obtención de resultados, entre ellos las aplicaciones móviles fueron las preferidas para visualizar y monitorear datos, seguido de páginas web. La recolección de datos también fueron unos de los objetivos en estos trabajos, por último, se encuentran en el mismo nivel de uso para presentar resultados las aplicaciones web y programas de escritorio. Los trabajos de Nuez [33], Chowdhury [25], Sihombing [27], Ardhiansyah et al. [29] y Cabrera et al. [31] desarrollaron una aplicación móvil, teniendo funcionalidades en común como control de la bomba de agua, temperatura, nivel del agua y control de pH.

En cuanto visualización de datos se presentaron datos como la conductividad eléctrica, temperatura y humedad del ambiente, flujo del agua y nivel de pH. En estos artículos se destacó que es importante el control y visualización de todos estos datos para que el crecimiento de cultivos sea rápido y saludable.

Se pudo observar que en los artículos de los autores Nuez [33] y Chowdhury [25] conectan su sistema a Thingspeak (un servicio web que proporciona almacenamiento y análisis de datos). En el caso de Nuez [33] utiliza un módulo ESP8266 para conectarse al servicio. Además, se preocupó en conectar y desconectar con el sistema hidropónico y realizar el control de la luz. La placa Arduino es utilizada como el cerebro central para procesar la información y controlar los componentes del sistema. Mientras que de Chowdhury [25] no menciona cómo realiza la conexión a Thingspeak, sin embargo, detecta el flujo de agua y registra alertas por mensajes de texto.

Sihombing [27] realiza su investigación en un invernadero, además de las características compartidas con los demás trabajos incluye la visualización del nivel de proximidad y realiza el control de la luz mediante un módulo de relé controlado por el microcontrolador Arduino Uno, que a su vez recibe señales del dispositivo Android a través de una conexión Bluetooth.

Ardhiansyah et al. [29] no indica características diferentes a las compartidas entre los trabajos mencionados. Por otro lado, Cabrera et al. [31] envía mensajes a el usuario informándolo acerca de la temperatura ambiental y el valor de pH del cultivo, también permite que los usuarios desde un Bot de Telegram tomen una foto para conocer el crecimientos de sus cultivos.

Además de la aplicación móvil, Cabrera et al. [31] desarrolló una página web al igual que los autores Park [20] y Tatas [30], teniendo como característica en común la visualización de datos de temperatura de agua y humedad del ambiente. Cabrera et al. [31] desarrolló una página web en PHP junto a un servicio autónomo que comunica a un Bot de Telegram con la cámara controlada por un Raspberry. Además de los datos para visualización en común ya mencionados muestran gráficos estadísticos en donde se indica la evolución de la temperatura.

Tatas [30], se enfoca en presentar la temperatura del aire y nivel del agua además de los datos mencionados [31][20]. La información recopilada se envía a una base de datos en línea por medio de un módulo Wifi. También presenta datos acerca de la iluminación, característica presente en el trabajo de Park [20]

Sin embargo, Park [20] se preocupa por presentar datos adicionales como luz ultravioleta, pH y visualización de cultivos a tiempo real haciendo uso de inteligencia artificial para monitorear el crecimiento de las fresas utilizando técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje automático para predecir el tiempo óptimo para la cosecha de fresas, lo que permite una mayor eficiencia en la producción de cultivos y una reducción en los costos asociados con la cosecha. El sistema utiliza un microcontrolador Arduino y un módulo de comunicación inalámbrica para enviar los datos de los sensores a una plataforma en la nube. Los datos se procesan en la nube mediante técnicas de inteligencia artificial para identificar patrones y tendencias en el crecimiento de las plantas.

Crisnapati et al. [26] desarrolló una aplicación web para la interacción con el usuario que permite visualizar los datos mencionados en los trabajos de Park [20], Tatas [30] y Cabrera et al. [31]. Esta aplicación presenta una gráfica estadística del nivel de nutrientes en el agua, conductividad eléctrica y temperatura del ambiente. Además, cuenta con funcionalidades como la asignación del nivel de pH en el agua y el encendido y apagado de los dispositivos, como la bomba y la luz artificial. El sistema se basa en un nodo central que se comunica con una serie de nodos distribuidos en la instalación de cultivo hidropónico. La información recolectada por los sensores se transmite a través de una red inalámbrica hacia el nodo central, que procesa la información y la envía a una base de datos en línea.

Khudoyberdiev [24] fue el único en esta investigación que desarrolló una aplicación de escritorio, en la cual controla varios aspectos del entorno de cultivo, como la iluminación, la ventilación, la temperatura y la humedad del ambiente de cultivo, aunque no menciona cómo realiza el control.

Por último en el trabajo de los autores Tagle [28] y Almadani [32] se enfocan en el análisis y presentación de datos. Tagle [28] presenta datos mencionados en el trabajo de Tatas [30] incluyendo los niveles de conductividad eléctrica de la solución nutritiva, esto lo realiza haciendo uso de un entorno de programación gráfica llamado LabView. El sistema utiliza sensores para medir varios parámetros y un microcontrolador Arduino para adquirir, procesar y transmitir los datos a una computadora. La comunicación entre el microcontrolador y la computadora se realiza a través de un cable USB, y los datos se muestran en una interfaz de usuario gráfica basada en LabVIEW.

De forma similar, Almadani [32] además de los datos mencionados también registra los datos de los niveles de Dióxido de carbono (CO_2). Sin embargo, su interés radica en proponer el uso del middleware DDS (Data Distribution Service) para implementar un modelo de comunicación multimodal en el contexto de la agricultura y la agroindustria. Por lo tanto, sus gráficos están enfocados a ese objetivo. Los datos se envían desde los sensores a través de gateways IoT, y luego se integran en la plataforma de la nube para su procesamiento y análisis. La comunicación fluye a través de la red de área local.

Durante la revisión de la literatura, se ha notado que la mayoría de los trabajos se enfocan en cultivos hidropónicos en espacios grandes, con el objetivo de comprobar el nivel del agua y proporcionar información precisa y actualizada. Sin embargo, estos sistemas no son aplicables en espacios reducidos, lo que ha llevado a la necesidad de desarrollar un sistema más adecuado y adaptable para estos casos. Para ello, se presenta HydroGrow, un sistema de cultivo hidropónico que resuelve las desventajas encontradas en los trabajos revisados.

Por otro lado, 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 CO₂.

En particular, para la implementación del sistema se ha optado por utilizar el módulo NodeMCU ESP8266 V3, el relé KY-019 de 5 V y el módulo reductor de voltaje LM2596 de 3A, tal como se describe en el trabajo de Ardhiansyah et al. [29]. En cuanto a los sensores, se utilizarán el sensor de calidad de aire MQ-135, luz, pH y temperatura, mientras que 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. [29] 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 [34] para este tipo de sistemas.

Ardhiansyah et al. [29] 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 [35]. Por lo tanto, en este trabajo se pretende utilizar una metodología propuesta por Gleiston Guerrero [34] para este tipo de sistemas, denominada TDDM4IoT. Además de una herramienta que se utilizará denominada TDDT4IoT. 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 un módulo NodeMCU ESP8266 V3, junto a un conjunto de sensores como sensor de temperatura del agua, pH, calidad del aire y luz. En cuanto a los actuadores se tienen a los siguientes: 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 datos ambientales del cultivo 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.

Se decidió usar la Metodología de desarrollo basada en pruebas para sistemas basados en IoT (TDDM4IoTS) para el desarrollo de este proyecto. Se considera que dicha metodología es adecuada para este trabajo debido a que toma en cuenta las particularidades de los sistemas IoT, como su hardware especializado, incluyendo sensores y actuadores, así como la configuración de dichos sistemas. Además, también se contempla la posibilidad de 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 hasta la realización de pruebas de código del software [36].

4. Metodología de desarrollo

La metodología TDDM4IoTS (Test-Driven Development of IoT Systems) es una técnica de desarrollo de software destinada a garantizar la calidad y confiabilidad de los sistemas de Internet de las cosas (IoT). Este enfoque se basa en la técnica de 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 diferentes fases, como la definición de requisitos, la selección de la plataforma adecuada, el desarrollo de pruebas, la implementación, la ejecución de pruebas, la refactorización y la integración continua. Este enfoque ayuda a mejorar la calidad y la confiabilidad del software en los sistemas IoT, lo que reduce los errores y aumenta la satisfacción del usuario [37]. Los autores de TDDM4IoTS han definido las etapas del ciclo de vida del desarrollo de IoT, las cuales se muestran en la Fig. 1 junto con la secuencia sugerida para su ejecución.

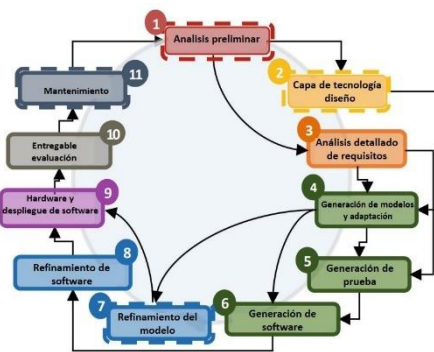


Fig. 1. Etapas de la metodología TDDM4IoT[34].

4.1. Análisis Preliminar

El sistema de monitoreo y control para cultivos hidropónicos de hortalizas utiliza una aplicación móvil para interactuar con el dispositivo de cultivo. La aplicación supervisa todas las actividades realizadas con el dispositivo y también mantiene un registro del estado del cultivo, lo que permite una conexión constante entre el cultivador y el

sistema. Este sistema de monitoreo es útil para aquellos que tienen dificultades en el cultivo hidropónico, ya que proporciona un soporte para las actividades de cultivo.

4.1.1. 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.

4.1.1.1. Requisitos funcionales:

- Programación de riegos de forma automática.
- El usuario podrá prender y apagar la luz.
- Monitoreo y control de la temperatura, humedad, pH y nutrientes del agua.
- Programación de dosificaciones de nutrientes de forma automática.
- Visualización en tiempo real de los datos de monitoreo (temperatura, pH, CO₂) en una aplicación web.

4.1.1.2. 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.

4.1.2. 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.

Componente	Descripción
Módulo NodeMCU esp8266 v3 wifi ch340.	El módulo NodeMCU es una pequeña placa Wifi, 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 [38].
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 [39].

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 [40].
Sensor de pH + tarjeta acondicionadora.	Conexión instantánea a su sonda y su Arduino para obtener medidas de pH a ± 0.1 HP (25 μ). 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 [41].
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 [42].
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 [43].
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 [44].

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 [45].
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 [46].
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 [47].
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 [48].

4.1.3. Análisis de entorno

La implementación de este sistema de monitoreo y control de procesos de cultivo hidropónico fue diseñada para hogares o sitios de espacio reducido en donde se requiera un cultivo y no cuente con el espacio o terreno necesario para llevarlo a cabo. Por otro lado, también está dirigido a pequeños agricultores que desean cultivar hortalizas de forma rápida. La aplicación móvil permitirá que los cultivadores interactúen con el sistema de una manera más fácil y rápida. Además, la aplicación móvil incorporada en el sistema permite un monitoreo constante del dispositivo, lo que ayuda a garantizar que el proceso de cultivo hidropónico sea óptimo y eficiente.

4.1.4. 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 que el sistema se mantenga en operación una vez desarrollado sólo será necesario de nutrientes para el cultivo y corriente eléctrica para el funcionamiento del sistema en general.

4.2. Diseño de la capa tecnológica

Según la metodología TDDM4IoTS, se recomienda realizar una fase de Análisis Preliminar antes de la fase de Diseño de la Capa de Tecnología. Durante esta etapa, se lleva a cabo un análisis detallado de las tecnologías disponibles que cumplan con los requisitos específicos del sistema distribuido para el Cultivo Hidropónico. Este análisis es esencial para garantizar la selección adecuada de tecnologías que permitan un funcionamiento eficiente y efectivo del sistema.

En concordancia con la fase del ciclo de vida de Guerrero [34], esta práctica experimental se centrará en el Diseño de la Capa de Tecnología, con el propósito de crear el primer diseño del sistema global que orientará al equipo de desarrollo.

En el proceso de diseño del sistema, resulta útil emplear herramientas de diseño de circuitos que permitan representar de manera clara los componentes definidos para el proyecto como TDDT4IoTS, Fritzing y circuito.io. El equipo de desarrollo tendrá la oportunidad de agregar información adicional a los diseños obtenidos. Si es necesario, se podrán actualizar los diseños al final de cada entrega. Dado que se trata de uno de los documentos más relevantes, es importante que esté disponible para todos los usuarios [34].

A continuación, se presenta 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 red y capa de percepción, ilustradas a más detalle en la Fig. 2.

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 red, 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 [46] 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.

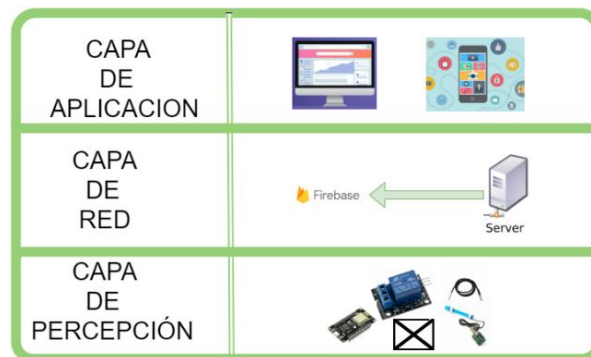


Fig. 2. Arquitectura del sistema HydroGrow [49]

En la Fig. 2 se mostró de manera gráfica la representación de la arquitectura IoT del presente trabajo, en donde la información recopilada por los sensores será presentada en la aplicación web y móvil, para lograr tal objetivo es necesario especificar la integración de las tecnologías que se va a usar.

El diseño del dispositivo se presenta en la Fig. 3, este diseño permitirá detectar varios datos como la temperatura del agua, CO₂ del ambiente, intensidad de la luz y pH para cultivar cultivos hidropónicos de manera adecuada. Este esquema se ha desarrollado utilizando la herramienta TDDT4IoTS. Los componentes utilizados son: (a) NodeMCU ESP8266 V3, servirá para realizar comandos, conectar el dispositivo a Internet y obtener los datos de los sensores de temperatura del agua DS18B20, sensor de gas MQ-135, sensor de luz y sensor de pH; (b) Sensor de temperatura de agua DS18B20, se usará

para medir la temperatura del agua; (c) Módulo sensor de intensidad de luz BH1750, informará sobre el estado de la luz; (d) Sensor de pH, detectará cuándo agregar nutrientes al agua; (e) Bomba de agua de diafragma R385 90, proporcionará movimiento continuo al agua; (f) Módulo relé 5V KY-019 que controlará el motor del agua; (g) Sensor de gas MQ-135 que monitoreará la calidad del aire. En cuanto a la fuente de alimentación será de 5V.

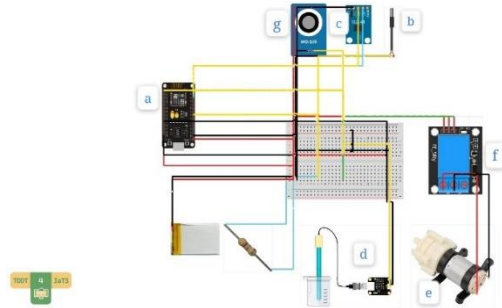


Fig. 3. Diseño del dispositivo HidroGrow

Las fases 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) 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. Presentación de los costos de los componentes de hardware requeridos para la implementación del dispositivo de cultivo hidropónico.

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 diafragma R385 90	1	\$6.49
Módulo relé	1	\$2.49
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
NodeMCU esp8266 Wi-Fi	1	\$7.99
Precio Total		\$83.51

4.3. Análisis detallado de requisitos

A partir de esta fase 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, según lo indicado por TDDM4IoTs [34].

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

Caso de uso	Crear cuenta de usuario
Actores:	Usuario
Propósito:	Registrar un usuario para guardar su información
Resumen:	El proceso de registro en la aplicación web comienza cuando el cliente decide crear una cuenta. En este proceso, el usuario debe completar un formulario que incluye su información personal como nombre, apellido, usuario y clave, así como también se le permitirá ingresar el nombre de su cultivo. Una vez finalizado el registro, el usuario tendrá la opción de agregar el nombre de la planta que desea cultivar.
Tipo:	Primario
Precondiciones	
Ninguna	
Postcondiciones	
<ul style="list-style-type: none"> El cliente quedará registrado en la tabla Usuarios. 	
Flujo normal de eventos	
Acción del Actor	Respuesta del sistema
1. Inicia el proceso de creación de una cuenta.	2. Mostrará un formulario donde podrá agregar sus datos.
3. Ingresa los datos requeridos como nombre, apellido, usuario y por último escribirá una clave para su cuenta.	
4. Dará clic al botón registrarse.	5. Verificará que los campos obligatorios no estén vacíos.
	6. Presentará una ventana emergente preguntando al cliente si está seguro.
7. Confirma que los datos ingresados son correctos.	8. Realiza una conexión con la base de datos y guarda la información ingresada por el

	<p>cliente.</p> <p>9. Envía una notificación indicando que el proceso de creación de su cuenta ha terminado exitosamente.</p>
Flujo alterno de eventos	
<p>Línea 5: Los campos obligatorios están vacíos. Se muestra una advertencia, el usuario llena los campos faltantes y el proceso continúa en el paso 6</p> <p>Línea 8: El sistema notifica al usuario que han ocurrido errores y el caso de uso concluye.</p>	

Tabla 5. Caso de uso 2: Programación de ajuste de nutrientes en el agua, horarios de bomba y luces led.

Caso de uso	Programación de ajuste de nutrientes en el agua, horarios de bomba y luces led
Actores:	Usuario
Propósito:	Controlar horarios del flujo de agua, luces led y cantidad de nutrientes en el agua
Resumen:	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.
Tipo:	Primario
Precondiciones	
<ul style="list-style-type: none"> El usuario deberá ingresar al sistema por medio de su usuario registrado. La bomba y los sensores del sistema deben estar conectados a una fuente de energía eléctrica. El sistema de monitoreo y control de procesos de cultivos hidropónicos debe estar conectado a una red Wifi El dosificador de nutrientes no debe estar vacío. 	
Postcondiciones	
<ul style="list-style-type: none"> El sistema guarda la configuración de horarios y nutrientes de la bomba de riego y luces led especificada por el usuario. La bomba de riego y luces led se activa en los horarios programados y libera la cantidad de nutrientes especificada por el agricultor. 	
Flujo normal de eventos	
Acción del Actor	Respuesta del sistema

<ol style="list-style-type: none"> 1. Accede a la aplicación móvil e ingresa a la interfaz de programación de horarios y nutrientes de la bomba de riego. 2. Activa la opción de programar horarios y dosificación de nutrientes. 3. Selecciona el horario de encendido y apagado de la bomba de riego según su preferencia. 4. Especifica la cantidad de nutrientes que desea que se liberen en el agua de los cultivos. 5. Define los horarios de encendido y apagado de luces led. 	<ol style="list-style-type: none"> 6. Muestra una pantalla con el nombre del cultivo, valores por defecto tanto los horarios de la bomba de riego y luces led como la cantidad de nutrientes que se liberarán en el agua. 7. El sistema verifica que los datos sean válidos. 8. Guarda la configuración realizada por el agricultor. 9. Activa la bomba de riego en los horarios programados junto a las luces led y libera la cantidad de nutrientes especificada.
Flujo alterno de eventos	
<p>Línea 3: En caso de no activar la programación de horarios, el sistema funcionará con valores por defecto, sigue en el paso 9.</p> <p>Línea 7: En caso de que el usuario cometa un error al ingresar los horarios o la cantidad de nutrientes, el sistema muestra un mensaje de error y permite que el agricultor corrija la configuración, sigue en el paso 3.</p>	

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

Caso de uso	Visualizar datos del cultivo
Actores:	Usuario
Propósito:	Permitir al cliente visualizar los datos de su cultivo.
Resumen:	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.
Tipo:	Primario
Precondiciones	
<ul style="list-style-type: none"> • El sistema debe estar funcionando correctamente y los sensores deben estar enviando datos al sistema. • El cliente debe estar registrado y haber iniciado sesión en la aplicación web. 	

Postcondiciones	
<ul style="list-style-type: none"> El sistema guarda la configuración de horarios y nutrientes de la bomba de riego y luces led especificada por el agricultor. La bomba de riego y luces led se activa en los horarios programados y libera la cantidad de nutrientes especificada por el agricultor. 	
Flujo normal de eventos	
Acción del Actor	Respuesta del sistema
1. El cliente ingresa a la aplicación web.	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.
Flujo alterno de eventos	
Línea 4: Si no hay datos del cultivo disponibles, el sistema muestra un mensaje indicando que no hay datos para mostrar.	

4.4 Perfeccionamiento y adaptación de modelos, pruebas y software

En esta fase se utilizará 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 código fuente a partir del diagrama de clases, produce el software para la aplicación web y sus interfaces de usuario preliminares.

Además, puede diseñar dispositivos IoT y generar la mayor parte del software requerido para su configuración y operación. No obstante, dado que no se generan las interfaces de la aplicación móvil, será responsabilidad de los desarrolladores llevar a cabo dicha tarea.

En la Fig. 4, se presenta una vista sencilla de la generación de modelos con los casos de usos detallados anteriormente.

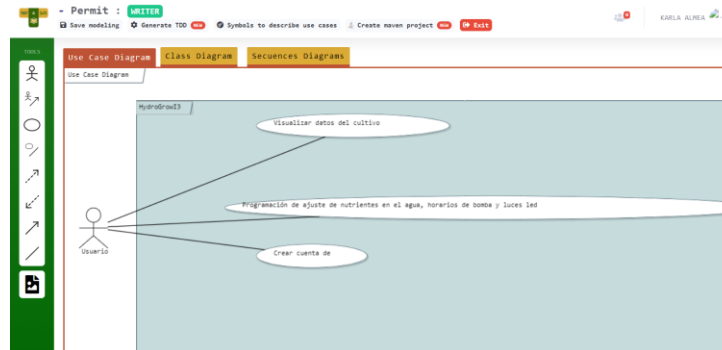


Fig. 4. Diseño de casos de usos en TDDT4IoTS

En la Fig. 5, se muestra la generación del diagrama de clases obtenidos con la herramienta mencionada.

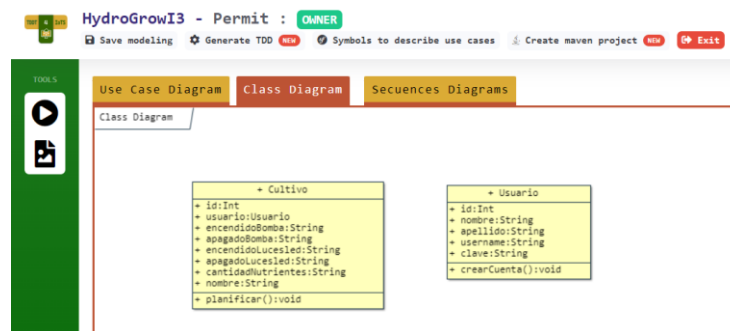


Fig. 5. Diagrama de clases generados TDDT4IoTS

4.3.1. Diseño de las interfaces

Se desarrolló el primer prototipo de la aplicación móvil de HydroGrow (ver Fig. 6), en la que se realizará el control del sistema de cultivo, mientras que en la aplicación web sólo se presentarán gráficos.

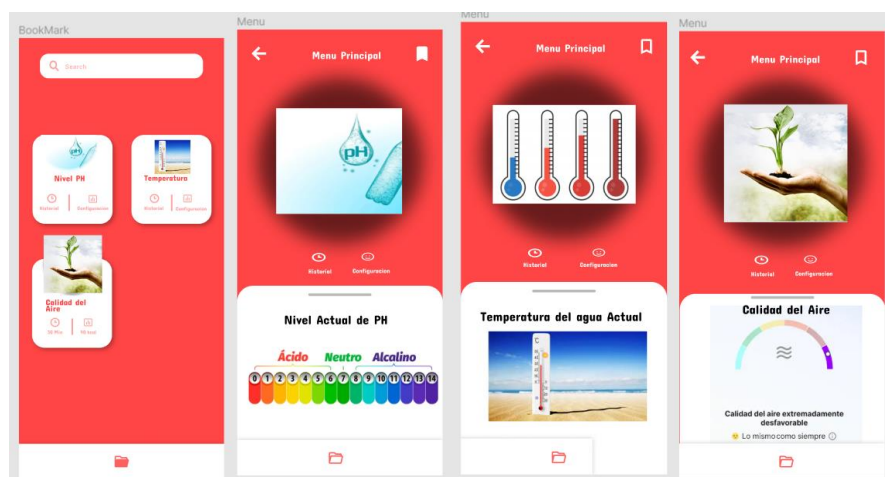


Fig. 6. Presentación de los prototipos de la interfaz gráfica de la aplicación Móvil

5. Resultados y Discusión

Xxx

6. Conclusiones y recomendaciones

Xxx

Referencias

- [1] R. Gashgari, K. Alharbi, K. Mughrbil, A. Jan, y A. Glolam, “Comparison between growing plants in hydroponic system and soil based system”, *Proc. World Congr. Mech. Chem. Mater. Eng.*, pp. 1–7, 2018, doi: 10.11159/icmie18.131.
- [2] J. Chaiwongsai, “Automatic Control and Management System for Tropical Hydroponic Cultivation”, en *2019 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, 2019, pp. 1–4. doi: 10.1109/ISCAS.2019.8702572.
- [3] D. Savvas y N. Gruda, “Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry - A review”, *Eur. J. Hortic. Sci.*, vol. 83, núm. 5, pp. 280–293, 2018, doi: 10.17660/eJHS.2018/83.5.2.
- [4] H. M. Resh, *HYDROPONIC Food Production. A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener*. 2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.taylorfrancis.com/books/9781439878699>
- [5] F. J. Ferrández-Pastor, J. M. García-Chamizo, M. Nieto-Hidalgo, J. Mora-Pascual, y J. Mora-Martínez, “Developing Ubiquitous Sensor Network Platform Using Internet of Things: Application in Precision Agriculture”,

- Sensors*, vol. 16, núm. 7, 2016, doi: 10.3390/s16071141.
- [6] A. Amaya y L. Cruz, “Diseño e implementación de un control de pH, conductividad y monitoreo del nivel de agua para el cuidado cultivos hidropónicos de uso doméstico”, p. 14, 2016.
 - [7] E. A. E. A. A. El-nour, “Management of Furrow Irrigation Technology and Its Risk Assessments: A review”, *Middle East J. Appl. Sci.*, núm. October, 2020, doi: 10.36632/mejas/2020.10.4.51.
 - [8] M. Dutta *et al.*, “Monitoring Root and Shoot Characteristics for the Sustainable Growth of Barley Using an IoT-Enabled Hydroponic System and AquaCrop Simulator”, *Sustainability*, vol. 15, núm. 5, 2023, doi: 10.3390/su15054396.
 - [9] D. Rengifo, “Impacto de la expansión urbana sobre tierras productivas y sus repercusiones en la producción agrícola”, pp. 1–79, 2022, [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/8621/1/T3777-MRI-Rengifo-Impacto.pdf>
 - [10] I. Papadopoulos, F. Chatzitheodoridis, P. Christos, T. Vasilios, y C. Gianneli, “Evaluation of Hydroponic Production of Vegetables and Ornamental Pot-Plants in a Heated Greenhouse in Western Macedonia, Greece”, *Am. J. Agric. Biol. Sci.*, vol. 3, pp. 559–565, 2008, doi: 10.3844/ajabssp.2008.559.565.
 - [11] N. Sharma, S. Acharya, K. Kumar, N. Singh, y O. Chaurasia, “Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview”, *J. Soil Water Conserv.*, vol. 17, pp. 364–371, 2019, doi: 10.5958/2455-7145.2018.00056.5.
 - [12] D. R. A. Tambogon y A. N. Yumang, “Growth of Garlic in Hydroponic System with IoT-Based Monitoring”, en *2022 14th International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)*, 2022, pp. 184–189. doi: 10.1109/ICCAE55086.2022.9762436.
 - [13] G. Marques, D. Aleixo, y R. Pitarma, “Enhanced Hydroponic Agriculture Environmental Monitoring: An Internet of Things Approach BT - Computational Science – ICCS 2019”, 2019, pp. 658–669.
 - [14] M. J. Ibarra-Cabrera, M. A. Cruz, C. R. Quispe Onofre, y S. F. Ochoa, “An IoT-Based System Architecture for Monitoring Hydroponic Growing in Urban Agriculture”, en *Proceedings of the International Conference on Ubiquitous Computing & Ambient Intelligence (UCAmI 2022)*, 2023, pp. 622–633.
 - [15] C.-L. Chang, S.-C. Chung, W.-L. Fu, y C.-C. Huang, “Artificial intelligence approaches to predict growth, harvest day, and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a IoT-enabled greenhouse system”, *Biosyst. Eng.*, vol. 212, pp. 77–105, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.09.015>.
 - [16] P. P. V, S. S M, y S. S. C, “Robust Smart Irrigation System using Hydroponic Farming based on Data Science and IoT”, en *2020 IEEE Bangalore Humanitarian Technology Conference (B-HTC)*, 2020, pp. 1–4. doi: 10.1109/B-HTC50970.2020.9297842.
 - [17] M. Mehra, S. Saxena, S. Sankaranarayanan, R. J. Tom, y M. Veeramanikandan, “IoT based hydroponics system using Deep Neural Networks”, *Comput. Electron. Agric.*, vol. 155, pp. 473–486, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.015>.
 - [18] K. Kour *et al.*, “Monitoring Ambient Parameters in the IoT Precision Agriculture Scenario: An Approach to Sensor Selection and Hydroponic Saffron Cultivation”, *Sensors*, vol. 22, núm. 22, 2022, doi: 10.3390/s22228905.
 - [19] K. Kour *et al.*, “Smart-Hydroponic-Based Framework for Saffron Cultivation: A Precision Smart Agriculture Perspective”, *Sustainability*, vol. 14, núm. 3, 2022, doi: 10.3390/su14031120.

- [20] S. Park y J. Kim, “Design and Implementation of a Hydroponic Strawberry Monitoring and Harvesting Timing Information Supporting System Based on Nano AI-Cloud and IoT-Edge”, *Electronics*, vol. 10, núm. 12, 2021, doi: 10.3390/electronics10121400.
- [21] H. Andrianto, Suhardi, y A. Faizal, “Development of Smart Greenhouse System for Hydroponic Agriculture”, en *2020 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI)*, 2020, pp. 335–340. doi: 10.1109/ICITSI50517.2020.9264917.
- [22] E. I. Putra, M. Cendana, y Y. Yaddarabullah, “Decision support system to determine hydroponic vegetable cultivation based on Internet of Things (IoT)”, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1098, núm. 6, p. 62007, mar. 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1098/6/062007.
- [23] L. Nuez, “Arduino Controlled Smart Hydroponic Modular System”, pp. 1–29, 2018, Consultado: el 6 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.instructables.com/Arduino-Controlled-Smart-Hydroponic-Modular-System/>
- [24] A. Khudoyberdiev, S. Ahmad, I. Ullah, y D. H. Kim, “An optimization scheme based on fuzzy logic control for efficient energy consumption in hydroponics environment”, *Energies*, vol. 13, núm. 2, 2020, doi: 10.3390/en13020289.
- [25] M. E. H. Chowdhury *et al.*, “Design, construction and testing of iot based automated indoor vertical hydroponics farming test-bed in qatar”, *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, núm. 19, pp. 1–24, oct. 2020, doi: 10.3390/s20195637.
- [26] P. N. Crisnapati, I. N. K. Wardana, I. K. A. A. Aryanto, y A. Hermawan, “Hommons: Hydroponic management and monitoring system for an IOT based NFT farm using web technology”, oct. 2017. doi: 10.1109/CITSM.2017.8089268.
- [27] P. Sihombing, N. Karina, J. Tarigan, y M. Syarif, “Automated hydroponics nutrition plants systems using arduino uno microcontroller based on android”, *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 978, p. 12014, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/978/1/012014.
- [28] S. Tagle *et al.*, “Development of an Automated Data Acquisition System for Hydroponic Farming”, en *2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM)*, 2018, pp. 1–5. doi: 10.1109/HNICEM.2018.8666373.
- [29] L. Ardiansyah y D. A. Prasetya, “Design And Implementation Of An Automation System For A Nutrition Pump In Hydroponics Using Arduino Uno”, 2021, [En línea]. Disponible en: http://eprints.ums.ac.id/id/eprint/92723%0Ahttp://eprints.ums.ac.id/92723/2/Lutfi_Ardiansyah_Publication_Manuscript.pdf
- [30] K. Tatas *et al.*, “Reliable IoT-Based Monitoring and Control of Hydroponic Systems”, *Technologies*, vol. 10, núm. 1, 2022, doi: 10.3390/technologies10010026.
- [31] M. J. Ibarra-Cabrera, M. A. Cruz, C. R. Quispe Onofre, y S. F. Ochoa, “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)”, 2023, pp. 622–633.
- [32] B. Almadani y S. M. Mostafa, “IIoT Based Multimodal Communication Model for Agriculture and Agro-Industries”, *IEEE Access*, vol. 9, pp. 10070–10088, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3050391.

- [33] L. Nuez, “Arduino Controlled Smart Hydroponic Modular System”, pp. 1–29, 2018, [En línea]. Disponible en: https://create.arduino.cc/projecthub/luisantoniomartinnuez/arduino-controlled-smart-hydroponic-modular-system-0d65ad?ref=platform&ref_id=424_trending___&offset=2
- [34] G. Guerrero-Ulloa, M. J. Hornos, y C. Rodríguez-Domínguez, “TDDM4IoT: A Test-Driven Development Methodology for Internet of Things (IoT)-Based Systems”, en *Applied Technologies*, 2020, pp. 41–55.
- [35] E. Ortigón, J. F. Pacheco, y A. Prieto, “Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas”. [En línea]. Disponible en: www.issuu.com/publicacionescep/stacks
- [36] G. Guerrero-Ulloa, M. J. Hornos, C. Rodríguez-Domínguez, y M. M. Fernández-Coello, “IoT-Based Smart Medicine Dispenser to Control and Supervise Medication Intake”, *Intell. Environ. 2020. Ambient Intell. Smart Environ.*, vol. 28, pp. 39–48, 2020, doi: 10.3233/AISE200021.
- [37] U. M. Arief, D. Shofiani, I. N. Yarman, y P. Wicaksono, “Information Technology Innovation for Android-Based Letter and Number Recognition to Improve Learning Outcomes for Kindergarten Students”, en *Proceedings of the 4th Vocational Education International Conference (VEIC 2022)*, 2022, pp. 138–146. doi: 10.2991/978-2-494069-47-3_19.
- [38] A. DODO, “ElectroStore”, 2019, [En línea]. Disponible en: <https://grupoelectrostore.com/shop/placas-para-programacion/esp/modulo-node-mcu-esp8266-v3-lua-wifi-ch340/>
- [39] ElectroStore, “Sensor de temperatura ds18b20”, 2019, [En línea]. Disponible en: <https://grupoelectrostore.com/shop/sensores/temperatura/sensor-de-temperatura-sonda-ds18b20-a-prueba-de-agua-inoxidable/>
- [40] ElectroStore, “Modulo Sensor de luz BH1750”, 2019, [En línea]. Disponible en: <https://grupoelectrostore.com/shop/sensores/luzuv/modulo-sensor-de-intensidad-de-luz-gy-302-bh1750/>
- [41] ElectroStore, “Sensor de pH”, [En línea]. Disponible en: <https://grupoelectrostore.com/shop/sensores/agua/sensor-de-ph-tarjeta-acondicionadora/>
- [42] ElectroStore, “Bomba de Agua R385”, 2019, [En línea]. Disponible en: <https://grupoelectrostore.com/shop/motores/bombas-para-agua/bomba-de-agua-de-diafragma-6-12v-r385-90-a-120l-h/>
- [43] ElectroStore, “Modulo RELE 5v”, 2019, [En línea]. Disponible en: <https://grupoelectrostore.com/shop/modulos-y-shields/modulos-rele/modulo-rele-5v-ky-019-rele-5v-1-canal/>
- [44] M. Libre, “MQ-135 Sensor de gas”, 2023, [En línea]. Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-517472707-modulo-sensor-de-calidad-del-aire-mq-135-mq135-_JM
- [45] P. P. R. I. N. 19 tahun 2005 TAHUN, *Visual Studio Hacks: Tips & Tools for Turbocharging the IDE*, núm. 2. 2005.
- [46] M. Castellote García, “Desarrollo de una aplicación android de apuestas utilizando firebase para la sincronización de datos”, *Univ. jaume I*, núm. 1, pp. 1–92, 2017.
- [47] D. Robledo, “Desarrollo de Aplicaciones Android I”, *Desarro. Apl. para Android I*, pp. 7–31, 2016.
- [48] S. Boot, “Spring Boot”, *España*, vol. 14, núm. 107, pp. 193–194, 2018.
- [49] G. Guerrero-Ulloa, A. Andrango-Catota, M. Abad-Alay, M. J. Hornos, y C.

Rodríguez-Domínguez, “Development and Assessment of an Indoor Air Quality Control IoT-Based System”, *Electronics*, vol. 12, núm. 3, 2023, doi: 10.3390/electronics12030608.