



UNIVERSIDAD DE COLIMA

FACULTAD DE TELEMÁTICA

**CÁMARA DE CULTIVO DE BAJO COSTO  
UTILIZANDO IOT**

**Tesis que para obtener el título de Ingeniero en Software**

Presenta

**Miguel Jordán Rodríguez Reyes**

Asesor (es)

**Mtro. Hernán Adalid Escalera Pérez**

Colima, Col., México, febrero 2023

## **AGRADECIMIENTOS**

# INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS .....	2
INDICE GENERAL .....	3
RESUMEN Y PALABRAS CLAVE .....	4
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN .....	5
CAPITULO 2: ESTADO DEL ARTE .....	6
2.1 Introducción .....	6
2.1 Antecedentes .....	7
2.2 Variables a monitorear .....	7
2.2.1 Iluminación .....	8
2.2.2 Suelo .....	8
2.2.3 Temperatura y humedad .....	9
2.3 Cámaras de cultivo comerciales .....	9
2.4 Cámaras de cultivo DIY .....	10
2.5 Telecomunicaciones y arquitectura .....	11
2.6 Aplicaciones WEB .....	12
2.6 Desafíos y limitaciones .....	12
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
5. Objetivos .....	15
Objetivo general: .....	15
Objetivos específicos: .....	15
4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....	15
6. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	16
7. LIMITACIONES Y SUPOSICIONES .....	17
8. METODOLOGÍA .....	17
9. Calendario de actividades .....	20
REFERENCIAS .....	21

## **RESUMEN Y PALABRAS CLAVE**

## **CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN**

## **CAPITULO 2: ESTADO DEL ARTE**

### **2.1 Introducción**

El avance de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) ha permitido el desarrollo de soluciones innovadoras para la agricultura de precisión, en particular, la utilización de dispositivos de Internet de las cosas (IoT) para la monitorización y control de variables ambientales en cultivos, con la finalidad de ser más eficientes y tener la mayor productividad.

Como menciona Guerrero

“La población mundial está aumentando de forma descontrolada, demandando un incremento en la producción agrícola. Sin embargo, los modelos tradicionales de agricultura no pueden satisfacer las demandas actuales. Los agricultores carecen de herramientas para recolectar información que sustente la toma de decisiones para mejorar su producción. La agricultura genera mucha de la comida necesaria, pero también consume mucha del agua disponible en la tierra. Es necesario un cambio significativo para satisfacer las demandas actuales. Existe la necesidad de crear mecanismos o soluciones que generen un balance entre la producción agrícola y la optimización de los recursos utilizados (agua, fertilizante, entre otros), contribuyendo a una producción sustentable”. (Guerrero-Ibañez et al., 2017)

Un término que va muy de la mano con la investigación es “cámara de cultivo”, que hace referencia a

“Un sistema que crea artificialmente el ambiente necesario para que las plantas crezcan controlando la cantidad de solución nutricional, aire y la luz por medio de diodos emisores de luz, LED (Light Emitting Diode) para el desarrollo de la fotosíntesis, porque la cantidad de luz, temperatura, humedad y los niveles de concentración de las emisiones de dióxido de carbono, pueden ser mejoradas sin ser afectados por las condiciones meteorológicas”. (Ramos Gonzalias, 2015)

Por lo anterior, es muy viable estudiar y analizar los diversos trabajos que se han realizado, con el fin de determinar los mejores materiales y componentes para la parte de hardware, así como los dispositivos y lenguajes de programación más adecuados para integrarlos al caso de estudio.

## 2.1 Antecedentes

Actualmente existen diversos trabajos realizados en el rubro, un par de ejemplos enfocados a la agricultura de precisión, como lo son el de (Montoya et al., 2017), en el cual proponen una arquitectura de IoT para la agricultura de precisión, y el de (Guerrero-Ibañez et al., 2017), los cuales presentan una plataforma IoT llamada SgreenH-IoT para el monitoreo de variables ambientales.

Así mismo la tecnología IoT también ha sido aplicada en el monitoreo de cultivos y en el análisis de variables climáticas enfocadas a cultivos urbanos, como lo podemos ver en el trabajo de (Gómez et al., 2017), donde desarrolló un sistema IoT para el monitoreo de cultivos protegidos, mientras que (Chanchí-Golondrino et al., 2022) implementaron un sistema IoT para el monitoreo de variables climatológicas en cultivos de agricultura urbana. Además, (Mora Magallanes & Rosas Pari, 2019) diseñaron una red de sensores inalámbricos para el control y monitoreo de cultivos de frijol en la agricultura de precisión.

Hablando en el contexto de los invernaderos, se han desarrollado diferentes dispositivos y sistemas de control para optimizar las condiciones de cultivo, (Ramos Gonzalias, 2015) diseñó un sistema de control de luz artificial para maximizar la capacidad productiva de plantas en granjas verticales, mientras que (Bárcena et al., 2002) propusieron una cámara de cultivo para probar diferentes materiales de cubierta de invernaderos. (García Bebia et al., 2020) también diseñó una cámara de cultivo de bajo coste para estudiar el crecimiento de plantas de forma controlada.

Por otro lado, se han propuesto soluciones IoT para el monitoreo de cultivos acuícolas (Arteaga-Quico et al., 2021) y para la monitorización de parámetros ambientales en casas de cultivo (*Vista de Monitoreo de Parámetros Ambientales En Casas de Cultivo a Través de Aplicación IoT*, n.d.). Finalmente, (Aguilar Zavaleta, 2020) diseñó una solución IoT para el monitoreo de cultivos agrícolas en Perú utilizando la tecnología Lorawan.

## 2.2 Variables a monitorear

Las tecnologías de monitoreo y control juegan un papel fundamental en la implementación de la agricultura de precisión. El monitoreo y control en tiempo real de factores ambientales como la temperatura, la humedad y la iluminación, así como el seguimiento del crecimiento de las plantas, son cruciales para mejorar la producción agrícola y reducir los costos.

(Bárcena et al., 2002) en su trabajo determinó qué

“Las principales variables ambientales que inciden en el crecimiento y desarrollo de las plantas son temperatura ambiente, temperatura de raíces, humedad, cantidad y calidad de luz, (irradiancia, composición espectral) y concentración ambiente de CO<sub>2</sub>.”

### **2.2.1 Iluminación**

La iluminación es un factor importante en la producción de cultivos, por lo que se han realizado investigaciones sobre el impacto de la luz artificial en diferentes tipos de plantas. Por ejemplo, (Romero et al., 2022) evaluaron el efecto de la intensidad de la luz artificial en la calidad de plántulas de pimiento, mientras que (García Águila et al., 2007) estudiaron cómo la iluminación afecta la germinación de embriones somáticos del plátano.

En el estudio de (Ramos Gonzalias, 2015), se propone un sistema de control para maximizar la capacidad productiva de las plantas en granjas verticales utilizando luz artificial. El sistema utiliza un controlador de luz programable para ajustar la intensidad y el espectro de la luz en función de las necesidades específicas de las plantas. Los resultados del estudio indican que el sistema de control es capaz de aumentar significativamente la capacidad productiva de las plantas en comparación con el uso de luz natural.

El artículo de (*Chlorophyll & Other Photosensitives - LED Grow Lights*, n.d.) explora el papel de la clorofila y otros pigmentos fotosensibles en la fotosíntesis de las plantas. Este artículo destaca la importancia de la medición de la intensidad y el espectro de la luz para maximizar la producción de clorofila y mejorar la eficiencia de la fotosíntesis. Los resultados del artículo sugieren que el uso de luz artificial personalizada puede mejorar significativamente la producción de cultivos en comparación con el uso de luz natural.

Además, (Ramos Gonzalias, 2015) realizó el diseño e implementación de un sistema de control para maximizar la capacidad productiva de las plantas en granjas verticales por medio de luz artificial. Por otro lado, (*Chlorophyll & Other Photosensitives - LED Grow Lights*, n.d.) presenta una descripción detallada del uso de luces LED para la fotosíntesis en las plantas, enfatizando en la importancia de los pigmentos fotosensibles como la clorofila.

### **2.2.2 Suelo**

La plataforma SgreenH-IoT propuesta por (Guerrero-Ibañez et al., 2017) se centra en el monitoreo y control de la calidad del suelo en la agricultura de precisión. Esta plataforma utiliza sensores de humedad y temperatura para monitorear el suelo, y transmite los datos a



través de una red inalámbrica a un servidor centralizado. Los agricultores pueden acceder a los datos en tiempo real y tomar decisiones informadas sobre la gestión del suelo y los cultivos.

En el estudio de (Romero et al., 2022) se propone un sistema de monitoreo de la calidad de las plántulas de pimiento en semilleros utilizando diferentes intensidades de luz artificial y sustratos. El sistema de monitoreo se basa en la medición del crecimiento de las plántulas y la cantidad de clorofila en las hojas utilizando un espectrómetro de fluorescencia. Los resultados del estudio indican que el sistema de monitoreo es capaz de detectar diferencias significativas en la calidad de las plántulas en función de la intensidad de luz y el sustrato utilizado.

### **2.2.3 Temperatura y humedad**

Otra tecnología importante de monitoreo y control son los sensores de presión. Estos dispositivos se utilizan ampliamente en la industria para medir la presión de líquidos y gases en procesos de producción, y su uso puede ser esencial para garantizar la calidad del producto final. Algunos de los tipos de sensores de presión más comunes incluyen los sensores de presión piezoresistivos, los sensores capacitivos y los sensores de presión resonantes.

En la industria alimentaria, la tecnología de monitoreo y control también se aplica en el seguimiento de la cadena de suministro, desde la producción hasta la entrega al cliente. Se utilizan sistemas de seguimiento de la temperatura y la humedad para garantizar que los alimentos se mantengan en condiciones óptimas durante todo el proceso de producción y transporte. Además, los sistemas de identificación por radiofrecuencia (RFID) se utilizan para rastrear la ubicación y el movimiento de los productos, lo que ayuda a mejorar la eficiencia de la cadena de suministro y a prevenir la pérdida o el robo de productos.

En resumen, las tecnologías de monitoreo y control son esenciales en la industria para garantizar la calidad y la seguridad de los productos. Desde sensores y cámaras hasta sistemas de seguimiento y control automatizados, estas tecnologías se utilizan para monitorear y regular los procesos de producción y distribución. En la industria alimentaria, su uso es especialmente importante debido a la necesidad de garantizar la seguridad y calidad de los alimentos que se consumen.

## **2.3 Cámaras de cultivo comerciales**

Una cámara de cultivo es un equipo diseñado para recrear condiciones controladas de

intensidad de luz, temperatura y humedad en el interior en períodos programables.

Para tomar una primera idea del funcionamiento y composición de las cámaras de cultivo se estudia en un inicio las cámaras comerciales ya existentes de la firma Binder

[Binder]. Esto nos permite adquirir una referencia sobre funcionamiento, dispositivos

de los que dispone y una mayor exactitud en los precios actuales de mercado. Con(*BINDER GmbH: Ideal Growth Conditions with Climate Chambers from BINDER*, n.d.; *Compre Una Cámara de Crecimiento BINDER a Un Precio Especial*, n.d.; *MPcontrol - Cámaras Climáticas ¿Qué Es Una Cámara Climática?*, n.d.)

respecto a los precios, ha sido complicado saber cómo está el mercado, ya que varias empresas que fabrican y venden estas cámaras no hacen públicos sus precios.

Ilustración 2-1: Cámara comercial de Binder

Como se puede observar en la Ilustración 2-1, las cámaras de cultivo tienen esta estructura, al margen del tamaño, ya que las hay mucho más grandes pero todas están compuestas por los mismos elementos básicos (iluminación, temperatura, humedad, etc.), así como la morfología. Los precios varían pero suelen ir, aproximadamente, de unos 12.000 € hasta unos 23.000 €, aunque se sospecha que existen de un precio aun superior al comentado.

Ilustración 2-2: Lista de precios de cámaras comerciales de Binder

## **2.4 Cámaras de cultivo DIY**

Una alternativa a las cámaras comerciales que comienzan a aparecer son las cámaras DIY ("Do It Yourself"). Son cámaras realizadas de forma casera con materiales corrientes como el metacrilato, madera de contrachapado, plástico, etc.

En el ámbito de control del clima se utilizan también componentes corrientes, como por ejemplo un ventilador de un ordenador portátil para la refrigeración, calefactores

eléctricos, etc.(*DIY Grow Box : 8 Steps (with Pictures) - Instructables*, n.d.; *Highland Nepenthes Grow Chamber: An In-Depth Build Guide | EdenCPs*, n.d.)

Ilustración 2-3: Cámara DIY de EdenCPs [EdenCPs]

Ilustración 2-4: Cámara DIY de un usuario de Instructables.com [Instructables]:

## **2.5 Telecomunicaciones y arquitectura**

Los sistemas de comunicación son fundamentales para garantizar una operación eficiente y segura en los procesos industriales. En la actualidad, existen diversas tecnologías y protocolos de comunicación que permiten la transferencia de información entre los diferentes equipos y dispositivos utilizados en una planta industrial.

Entre las tecnologías más utilizadas se encuentran:

Ethernet: es una tecnología de red de área local (LAN) que permite la transferencia de datos a alta velocidad (hasta varios gigabits por segundo). Ethernet se ha convertido en un estándar de facto para la conexión de equipos en la industria y es ampliamente utilizado en aplicaciones de control y monitoreo.

Modbus: es un protocolo de comunicación ampliamente utilizado en la industria para la comunic

La tecnología LoRaWAN es otra opción de comunicación para IoT, que ofrece una solución de bajo costo y bajo consumo de energía para transmitir datos a largas distancias. LoRaWAN utiliza una técnica de modulación de espectro ensanchado de baja potencia para transmitir datos, lo que significa que utiliza un ancho de banda de espectro muy pequeño para enviar señales a larga distancia y con poca energía. Esto la hace ideal para aplicaciones de IoT que requieren comunicación de larga distancia y bajo consumo de energía, como sensores de temperatura, humedad y presión.

Un estudio realizado por Al-Fuqaha et al. (2015) analizó la eficacia de diferentes tecnologías de comunicación para aplicaciones de IoT, incluyendo LoRaWAN, Bluetooth y ZigBee. Los autores encontraron que LoRaWAN era una tecnología prometedora para aplicaciones de IoT debido a su capacidad para proporcionar una cobertura de larga distancia y bajo consumo de energía.

Otra tecnología de comunicación de IoT es Narrowband IoT (NB-IoT), una tecnología de comunicación de baja potencia que utiliza una red celular existente para transmitir datos. NB-IoT es adecuado para aplicaciones de IoT que requieren una conexión confiable y segura a larga distancia, como sensores de monitoreo ambiental y medidores de energía. Un estudio de mercado realizado por ResearchAndMarkets.com (2020) proyectó que el mercado de NB-

IoT crecerá a una tasa compuesta anual del 40% entre 2020 y 2025 debido a la creciente demanda de aplicaciones de IoT en sectores como la salud, la agricultura y la industria.

Por último, la tecnología de comunicación de 5G también está siendo considerada para aplicaciones de IoT debido a su alta velocidad de transmisión de datos y baja latencia. Esto lo hace adecuado para aplicaciones de IoT que requieren transmisión de datos en tiempo real, como la conducción autónoma y la realidad virtual. Un estudio de mercado realizado por MarketsandMarkets (2020) proyectó que el mercado global de IoT 5G crecerá a una tasa compuesta anual del 69,6% entre 2020 y 2025 debido a la creciente demanda de aplicaciones de IoT en diferentes sectores.

En resumen, las tecnologías de comunicación de IoT están evolucionando rápidamente, y se están desarrollando nuevas soluciones para satisfacer las necesidades específicas de diferentes aplicaciones. LoRaWAN, NB-IoT y 5G son tecnologías prometedoras que ofrecen diferentes ventajas en términos de cobertura, consumo de energía y velocidad de transmisión de datos. Los desarrolladores de aplicaciones de IoT deben evaluar cuidadosamente las diferentes tecnologías de comunicación disponibles y seleccionar la más adecuada para su aplicación específica.

En el trabajo de (Montoya et al., 2017) se describe una arquitectura para la agricultura de precisión soportada en IoT. Esta propuesta se basa en el uso de sensores inalámbricos para monitorear factores ambientales y transmitir los datos a un servidor centralizado. El sistema utiliza algoritmos de aprendizaje automático para procesar y analizar los datos recopilados, lo que permite a los agricultores tomar decisiones informadas sobre la gestión de sus cultivos.

## **2.6 Aplicaciones WEB**

### **2.6 Desafíos y limitaciones**

La IoT es una tecnología que presenta numerosos desafíos y limitaciones que aún deben abordarse para lograr su máximo potencial. A continuación, se presentan algunos de los desafíos y limitaciones más relevantes que enfrenta la IoT: *(Instalando El ESP32 | Tienda y Tutoriales Arduino, n.d.)*

**Privacidad y seguridad:** La IoT implica la recopilación y el intercambio de grandes cantidades de datos, lo que aumenta el riesgo de que se produzcan brechas de seguridad o violaciones de privacidad. Es importante implementar medidas de seguridad y privacidad para garantizar que los datos recopilados se manejen de manera responsable y se protejan de accesos no autorizados.

(*Aislamiento Térmico, Tipos y Características* - RT Arquitectura, n.d.; *GERMINACION, LATENCIA Y DORMICION DE LAS SEMILLAS*, n.d.; *Iluminación LED Para Cultivo Interior: Una Poderosa Herramienta*, n.d.; Maguregi, n.d.; Ramos Gonzalias, 2015; Romero et al., 2022; Valverde-Rodríguez et al., 2019)

**Interoperabilidad:** La IoT involucra la interconexión de diferentes dispositivos y plataformas, lo que puede resultar en problemas de interoperabilidad. Es fundamental que los dispositivos y las plataformas puedan comunicarse entre sí de manera efectiva para evitar problemas de incompatibilidad que puedan limitar la funcionalidad de la IoT.

**Escalabilidad:** La IoT implica el manejo y la gestión de grandes cantidades de dispositivos y datos, lo que puede ser un desafío en términos de escalabilidad. Las plataformas de IoT deben ser capaces de manejar grandes cantidades de datos y dispositivos sin comprometer el rendimiento o la eficiencia.

**Costos:** La IoT implica la implementación de una gran cantidad de dispositivos y sensores, lo que puede ser costoso. Además, la recopilación y el procesamiento de grandes cantidades de datos pueden ser costosos en términos de recursos y energía. Es importante desarrollar soluciones de IoT rentables para garantizar que la tecnología sea accesible para todos.

**Estándares y regulaciones:** La IoT es una tecnología relativamente nueva y aún no existen estándares y regulaciones establecidos de manera clara. Esto puede hacer que sea difícil para los desarrolladores y los usuarios de IoT garantizar la compatibilidad, la seguridad y la privacidad. Es fundamental establecer estándares y regulaciones claros para garantizar que la IoT se desarrolle de manera responsable.

**Manejo y análisis de datos:** La IoT implica la recopilación de grandes cantidades de datos de diferentes dispositivos y sensores. El procesamiento y el análisis de estos datos pueden ser un desafío en términos de capacidad y tiempo de procesamiento. Es importante desarrollar herramientas y técnicas efectivas para el manejo y el análisis de datos de IoT.

En resumen, la IoT presenta numerosos desafíos y limitaciones que aún deben abordarse para lograr su máximo potencial. Es importante abordar estos desafíos y limitaciones para garantizar que la IoT se desarrolle de manera responsable y beneficie a la sociedad en general.

En resumen, la tecnología IoT ha demostrado ser una herramienta valiosa para la agricultura de precisión, permitiendo la monitorización y control de variables ambientales en diferentes tipos de cultivos, desde invernaderos hasta cultivos urbanos y acuícolas. Los estudios y soluciones propuestas presentan una gran variedad de aplicaciones y beneficios en la producción de alimentos, contribuyendo así a la innovación en el sector agrícola.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La eficiencia en los cultivos es un aspecto fundamental para la producción agrícola. Con el fin de mejorar la eficiencia en los cultivos, se han desarrollado diversas técnicas basadas en el monitoreo y control de las variables que influyen en el crecimiento de las plantas. Estas variables incluyen la temperatura, la humedad, la iluminación y la calidad del suelo, entre otras.

A pesar de que existen diversas técnicas para el monitoreo de estas variables, aún hay limitaciones en cuanto a la precisión, la cobertura y la accesibilidad de la información. Por lo tanto, es necesario desarrollar nuevas soluciones para mejorar la eficiencia en los cultivos, especialmente en áreas urbanas y rurales de difícil acceso.

Para abordar este problema, se propone el diseño e implementación de un sistema IoT (Internet de las cosas) basado en la tecnología LoRaWAN para el monitoreo de cultivos agrícolas en Perú. Este sistema permitirá el monitoreo remoto y en tiempo real de las variables ambientales que influyen en el crecimiento de las plantas, como la temperatura y la humedad del suelo, así como la calidad del aire. Además, se pretende incorporar el uso de cámaras de crecimiento y aislamiento térmico para garantizar un ambiente controlado para el cultivo.

Este sistema IoT también podría ser útil en la agricultura de precisión, donde se utilizan técnicas avanzadas para optimizar el rendimiento y la producción agrícola. Con la implementación de un sistema IoT, se podrían mejorar los procesos de toma de decisiones, reducir los costos de producción y minimizar los riesgos asociados a la producción agrícola.

## 5. Objetivos

### Objetivo general:

Desarrollar e implementar un sistema de monitoreo y control automatizado basado en IoT de bajo coste para mejorar la eficiencia y la productividad en la agricultura.

### Objetivos específicos:

- Investigar las tecnologías IoT disponibles para su implementación en la agricultura y seleccionar la más adecuada para el proyecto.
- Diseñar e implementar un sistema de sensores para medir los factores ambientales clave en la agricultura, como la humedad del suelo, la temperatura, la humedad del aire, la luz solar, entre otros.
- Desarrollar un sistema de análisis de datos para procesar la información recopilada por los sensores y proporcionar información útil para el control de la agricultura.
- Diseñar e implementar un sistema de control de la agricultura que permita ajustar automáticamente los factores ambientales en función de las necesidades específicas de cada cultivo.
- Evaluar la eficacia del sistema implementado y su impacto en la productividad y la eficiencia en la agricultura.

Dado el elevado coste de las versiones comerciales, el objetivo principal de este proyecto es el diseño y desarrollo de una cámara de cultivo de bajo coste para estudiar el crecimiento de las plantas de forma controlada. En concreto, será necesario diseñar tanto el habitáculo de la cámara, así como todos los componentes hardware y software para su correcto funcionamiento. Esto implica que dentro del objetivo principal tendremos una serie de objetivos secundarios para cumplirlo:

- Diseño y desarrollo del habitáculo de la cámara de cultivo utilizando componentes de bajo coste.
- Diseño, integración y desarrollo de todos los componentes hardware necesarios.
- Diseño y desarrollo de los componentes software de control de la cámara, así como la interfaz de la misma.

## 4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo puede el uso de tecnología IoT y Lorawan mejorar el monitoreo de cultivos agrícolas en Perú y aumentar su eficiencia?

¿Cuáles son los tipos y características de los aislamientos térmicos que pueden ser utilizados para mejorar la eficiencia en los cultivos?

¿Cómo puede un framework basado en IoT para monitorear la temperatura de cultivos acuícolas ser utilizado para mejorar la eficiencia de los cultivos?

¿Cómo puede una cámara de cultivo, como la ofrecida por BINDER GmbH, mejorar la eficiencia en los cultivos al proporcionar condiciones ideales de crecimiento?

¿Cómo puede un sistema IoT para el monitoreo de variables climatológicas en cultivos de agricultura urbana, como propuesto por Chanchí-Golondrino, Ospina-Alarcón y Saba, mejorar la eficiencia en los cultivos urbanos?

¿Cómo puede el uso de una plataforma IoT para Agricultura de Precisión, como SGreenH-IoT, mejorar la eficiencia en los cultivos?

¿Cómo puede el diseño y construcción de una grow box, como se describe en Instructables, mejorar la eficiencia en los cultivos?

¿Cómo afecta la iluminación LED en el cultivo interior y cómo puede utilizarse para mejorar la eficiencia en los cultivos?

¿Cómo puede la instalación y uso del ESP32 ser utilizado para mejorar la eficiencia en los cultivos?

¿Cómo afecta la germinación, latencia y dormición de las semillas en la eficiencia de los cultivos y cómo puede ser optimizado?

## **6. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación estará asentada en la realización de una red de sensores inalámbricos basado en la tecnología de IoT con la finalidad de que se pueda controlar, monitorear y obtener datos e información de los factores ambientales para aplicarlos en la Agricultura de Precisión



mediante la toma de decisiones. Dicha toma de decisión gestionará la producción agrícola del cultivo de frijol canario a partir de la observación, toma de mediciones y resolverá cualquier factor que pueda determinar que un cultivo sea exitoso o no. Por lo mencionado anteriormente, surge la siguiente interrogante que será absuelta a lo largo de la investigación ¿Cómo mejorar la carencia de monitoreo, control y toma de decisiones en la agricultura de precisión?

El presente proyecto se genera de la necesidad de monitorear, controlar y tomar decisiones sobre los factores ambientales, aquellos que influyen en los cultivos agrícolas. A causa de ello se pretende desarrollar, diseñar e implementar un dispositivo basado en una red de comunicaciones inalámbrica y IoT, el cual tendrá entre sus características su bajo costo en su realización, autonomía en el ámbito de energía, proporcionar datos e instrumentos que ayuden a la toma de decisiones de los agricultores frente a los múltiples cambios de factores ambientales que puedan generar posibles malas cosechas en el producto agrícola.

## **7. LIMITACIONES Y SUPOSICIONES**

La investigación está delimitada de la siguiente manera:

- Delimitación Temporal: Los datos considerados para este proyecto de investigación serán enmarcados en el periodo de dos meses recolectando data de las diferentes variables físicas.
- Delimitación Temática: La realización de la presente investigación busca diseñar, desarrollar e implementar una red de sensores inalámbricos basado en la tecnología del IoT considerando el área de la agricultura de precisión sobre el cultivo de Frijol canario.

## **8. METODOLOGÍA**

Las plataformas de IoT ofrecen una solución completa en cuanto a los servicios de control de dispositivos y de recolección, procesamiento y visualización de los datos. Generalmente residen en la Nube, aunque pueden implementarse en servidores locales, especialmente en áreas remotas de difícil conectividad. Son conocidas como el middleware de Internet de las cosas y actúan como mediador entre la capa de hardware y la capa de aplicación. Las plataformas de middleware IoT pretenden simplificar la lectura de datos de todo tipo de fuentes (dispositivos físicos, entrada humana, datos en línea, etc.) y proporcionan funcionalidades básicas para filtrar, analizar, crear eventos y visualizar la información recibida (Prakash et al., 2016).

Para seleccionar la plataforma de IoT que se va a utilizar en la aplicación, se toma como referencia el artículo (Li, 2018) donde se exponen las características principales que debe cumplir el middleware IoT cuando se va a desplegar en un escenario industrial.

Una comparación entre plataformas de IoT (tabla 1) debe abarcar los aspectos que se describen a continuación:

- Acceso y gestión de dispositivos: la plataforma debe soportar varios protocolos de acceso y proporcionar gestión del estado del dispositivo.
- Transmisión de datos en la capa de aplicación: soporte para los protocolos de capa de aplicación HTTP, MQTT, WebSocket, Modbus, OPC-UA, CoAP y AMPP.
- Almacenamiento de datos y procesamiento inteligente: el almacenamiento puede ser local, en la Nube o ambos. Funciones de procesamiento de eventos complejos, eventos basados en reglas y capacidades de machine learning.
- Proporcionar la interfaz API y las capacidades de soporte de aplicación: las plataformas proporcionan aplicaciones a través de interfaces RESTful.
- Modo de implementación: capacidad para implementar gateways y/o aplicaciones IoT.
- Seguridad: encriptación de datos, transmisión segura, autenticación de identidad y mecanismos de control de acceso para satisfacer las necesidades de las aplicaciones IoT.
- Actividades de desarrollo: utilización y soporte a nivel mundial de una plataforma de IoT basado en los tópicos de foros y sitios web especializados.
- Tipo de software: las plataformas pueden ser total o parcialmente gratuitas (software libre), de pago y de código abierto o privado.

El análisis de las características de cada plataforma de IoT (tabla 1), permitió descartar las plataformas ThingSpeak, Kaa y Alljoyn ya que, a pesar de ser de código abierto, la licencia debe ser pagada para su uso luego de vencido el período de prueba. De las plataformas restantes, solo ThingsBoard, Macchina.io, WSO2IoT y SiteWhere soportan almacenamiento local, requisito indispensable para el despliegue de la aplicación en zonas de difícil acceso y conectividad. La plataforma Macchina.io no se seleccionó producto de sus limitaciones en cuanto al manejo del estado de los dispositivos y procesamiento inteligente. La plataforma SiteWhere incorpora capacidades de gateway y tiene menos soporte por parte de la comunidad de desarrolladores que ThingsBoard y WSO2IoT.

Las plataformas de IoT ThingsBoard y WSO2IoT soportan gestión de un gran número de dispositivos, permiten integraciones mediante REST API y soportan la visualización de datos con el empleo de herramientas propias. Sin embargo, las principales diferencias están en los protocolos de recolección de información, en los tipos de bases de datos que soportan y en las herramientas de análisis de datos que utilizan. WSO2IoT soporta los protocolos HTTP y MQTT, mientras que ThingsBoard soporta HTTP, MQTT, CoAP y OPC-UA. Las bases de datos que permite utilizar ThingsBoard son más variadas que las empleadas por WSO2IoT, que son del tipo SQL. ThingsBoard soporta la herramienta Apache Sparky el plugin Kafka para el análisis de datos en tiempo real, mientras que WSO2IoT incluye un servidor propio para este fin (Bitencourt & Pereira dos Anjos, 2018).

La plataforma de IoT ThingsBoard cumple satisfactoriamente todos los requisitos necesarios para su correcto funcionamiento en aplicaciones industriales, es de software libre y tiene un excelente nivel de aceptación a escala mundial. Esta plataforma fue seleccionada para desarrollar la aplicación IoT. La plataforma de IoT ThingsBoard tiene como características más destacadas: recolección de datos, múltiples huéspedes (empresas, universidades, etc.), visualización de datos, escalabilidad horizontal, motor de regla IoT, tolerancia a fallos, administración de dispositivos, seguridad, administración de activos (edificios, casas de cultivo, etc.), personalización (widgets) e integración (MQTT, CoAP, HTTP), administración de alarmas, 100% de código abierto y soporte de bases de datos SQL, NoSQL e híbridas (ThingsBoard, 2019).

En la arquitectura de hardware de la aplicación IoT propuesta (figura 1), los nodos sensores (motes) están constituidos por dispositivos Zolertia Z1 que disponen de un procesador MSP430F2617 de 16-bit a 16 MHz, 8 kB de memoria RAM, 92 kB de memoria flash, transceptor de radio CC2420 empujado y comunicación IEEE 802.15.4 a 2.4GHz (Liñan, Bagula, & Pietrosoli, 2016). En el enrutador de frontera se incorpora un Zolertia Z1 configurado como border router el cual se conecta por comunicación serie (USB) a una Raspberry Pi 3 Modelo B. La Raspberry Pi 3 presenta un procesador ARM Cortex-A53 de 4 núcleos a 1.2GHz, conectividad WiFi, LAN y Bluetooth, 1GB de memoria RAM y conector para tarjetas SD (Raspberry Pi Foundation, 2016).

Los sensores que se utilizan en la aplicación IoT son seleccionados por su bajo costo y por ofrecer calidad suficiente en sus mediciones dado el tipo de implementación, pues no se requiere una gran exactitud o precisión de las variables ambientales monitoreadas. Los sensores empleados son: sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 (alimentación de 3.3V a 6VDC, rango de operación de -40°C a 80 °C y 0 a 100% de humedad relativa), módulos YL69 y YL-38 del sensor de humedad del suelo (alimentación de 3.3V a 5VDC, salida 0a 4.2V) y el sensor fotosensible analógico-digital LM393 (alimentación de 3.3 a 5VDC, corriente de operación de 15 mA, salida analógica de 0 a 5V y salida digital de disparo de 0 a 5V).

En investigaciones previas del Grupo de Internet de las Cosas, Automatización e Inteligencia Artificial perteneciente a la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, se diseñó la topología y la arquitectura de software de una WSN para el monitoreo de variables ambientales en casas de cultivos (Madruga, Estevez, Sosa, Santana & Garcia, 2019).

La topología seleccionada fue en malla ad-hoc, pues estas no poseen infraestructura, son flexibles y todos los nodos ofrecen servicios de encaminamiento, o sea, todos los nodos además de realizar la función de nodos finales también son enrutadores. La pila de protocolos utilizada implementa en la capa física el estándar de comunicación IEEE 802.15.4, la capa MAC se define con TSCH, la capa de red usa el protocolo 6LoWPAN y el protocolo de ruteo RPL y la capa de transporte implementa MQTT. Como sistema operativo para los motes Zolertia Z1 se empleó Contiki, de código abierto y especialmente diseñado para microcontroladores de bajo consumo y baja potencia.

Contiki soporta los estándares IPv6 e IPv4 y los estándares inalámbricos de baja potencia: 6LoWPAN, RPL, CoAP, MQTT. Las aplicaciones Contiki fueron escritas en lenguaje C y fueron simuladas con el simulador Cooja Contiki antes de grabarlas en el hardware. El sistema operativo Raspbian se instaló en la Raspberry Pi 3 Modelo B, pues contiene un conjunto de programas básicos y utilidades para comenzar a explotar las capacidades de esta computadora de placa reducida. Raspbian es un sistema operativo libre, basado en Debian (Linux), y presenta una amplia comunidad de desarrolladores (Raspbian, 2019).

Además, en la Raspberry Pi se instala la plataforma de IoT ThingsBoard, que incluye la base de datos PostgreSQL para el almacenamiento de la información, y proporciona el gateway IoT. Este último cuenta con una extensión MQTT que permite el control, configuración y obtención de datos de los dispositivos a través del bróker Mosquitto. El gestor de bases de datos phpPgAdmin facilita el acceso a la información almacenada y posibilita que los datos sean exportados en una variedad de formatos para un futuro uso por otros softwares.

## 9. Calendario de actividades



## REFERENCIAS

- Aguilar Zavaleta, S. (2020). Diseño de una solución basada en el internet de las cosas (IoT) empleando Lorawan para el monitoreo de cultivos agrícolas en Perú. *Universidad Tecnológica Del Perú*. <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/2946>
- Aislamiento térmico, tipos y características - RT arquitectura*. (n.d.). Retrieved March 5, 2023, from <https://www.rtarquitectura.com/aislamiento-termico-tipos-y-caracteristicas/>
- Arteaga-Quico, A. D., Wong-Portillo, L. R., Arteaga-Quico, A. D., & Wong-Portillo, L. R. (2021). Framework para el monitoreo de la temperatura de cultivos acuícolas basado en IoT. *DYNA*, 88(218), 239–246. <https://doi.org/10.15446/DYNA.V88N218.90626>
- Bárcena, H., Robredo, P., Quiroga, M., & Echazú, R. (2002). *CAMARA DE CULTIVO PARA ENSAYO DE MATERIALES DE CUBIERTA DE INVERNADEROS*.
- BINDER GmbH: Ideal growth conditions with climate chambers from BINDER*. (n.d.). Retrieved March 5, 2023, from <https://www.binder-world.com/int-en/products/growth/growth-chambers>
- Chanchí-Golondrino, G.-E., Ospina-Alarcón, M.-A., Saba, M., Chanchí-Golondrino, G.-E., Ospina-Alarcón, M.-A., & Saba, M. (2022). Sistema IoT para el monitoreo de variables climatológicas en cultivos de agricultura urbana. *Revista Científica*, 44(44), 257–271. <https://doi.org/10.14483/23448350.18470>
- Chlorophyll & other photosensitives - LED Grow Lights*. (n.d.). Retrieved March 5, 2023, from <https://www.ledgrowlightshq.co.uk/chlorophyll-plant-pigments/>
- Compre una cámara de crecimiento BINDER a un precio especial*. (n.d.). Retrieved March 5, 2023, from <https://www.fishersci.es/es/es/promotions/buy-binder-growth-chamber-at-special-price.html>
- DIY Grow Box : 8 Steps (with Pictures) - Instructables*. (n.d.). Retrieved March 5, 2023, from <https://www.instructables.com/DIY-Grow-Box/>
- García Águila, L., Gómez Kosky, R., Albany, N. R., Vilchez, J. A., Alvarado, Y., & Reyes, M. (2007). Influencia de las condiciones de iluminación en la germinación de embriones somáticos del cultivar híbrido de plátano `FHIA-21`. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 24(4), 679–689. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-78182007000400005&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182007000400005&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- García Bebia, S., López, J. A., Codirector, R., & Pérez, A. (2020). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA Cartagena, 12 de abril de 2020*.
- GERMINACION, LATENCIA Y DORMICION DE LAS SEMILLAS*. (n.d.).

- Gómez, J. E., Castaño, S., Mercado, T., Fernandez, A., & Garcia, J. (2017). Sistema de internet de las cosas (IoT) para el monitoreo de cultivos protegidos. *Ingeniería e Innovación*, 5(1). <https://doi.org/10.21897/23460466.1101>
- Guerrero-Ibañez, J. A., Estrada-Gonzalez, F. P., Medina-Tejeda, M. A., Rivera-Gutierrez, M. G., Alcaraz-Aguirre, J. M., Maldonado-Mendoza, C. A., Toledo-Zuñiga, D., & Lopez-Gonzalez, V. I. (2017). *SGreenH-IoT: Plataforma IoT para Agricultura de Precisión*.
- Highland Nepenthes Grow Chamber: An In-Depth Build Guide / EdenCPs*. (n.d.). Retrieved March 5, 2023, from <https://edencps.com/highland-nepenthes-chamber/>
- Iluminación LED para cultivo interior: una poderosa herramienta*. (n.d.). Retrieved March 5, 2023, from <https://greenice.com/es/blog/iluminacion-led-para-cultivo-interior-una-poderosa-herramienta--n60>
- Instalando el ESP32 / Tienda y Tutoriales Arduino*. (n.d.). Retrieved March 5, 2023, from <https://www.prometec.net/instalando-esp32/>
- Maguregi, G. (n.d.). *Las semillas no necesitan la luz para germinar*.
- Montoya, Q., Andrés, E., Fernando, S., Colorado, J., Yesid, W., Muñoz, C., Elías, G., & Golondrino, C. (2017). *Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IoT Proposal of an Architecture for Precision Agriculture Supported in IoT*. <https://doi.org/10.17013/risti.24.39-56>
- Mora Magallanes, H. V., & Rosas Pari, J. L. (2019). Diseño, desarrollo e implementación de una red de sensores inalámbricos (WSN) para el control, monitoreo y toma de decisiones aplicado en la agricultura de precisión basado en internet de las cosas (IOT). – Caso de estudio cultivo de frijol. *Repositorio Institucional - URP*. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2294>
- MPcontrol - Cámaras Climáticas ¿Qué es una Cámara Climática?* (n.d.). Retrieved March 5, 2023, from <https://www.mpcontrol.es/definicion-camara-climatica/>
- Ramos Gonzalias, Y. F. (2015). *Diseño e implementación de un sistema de control para maximizar la capacidad productiva de las plantas en granjas verticales por medio de luz artificial*. <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/8557/T06346.pdf>
- Romero, P. I. Á., Pilco, K. F. I., Pontón, R. G. Z., & Ferreira, A. F. T. A. F. e. (2022). Fenotipado y evaluación de la calidad de plántulas de pimiento (*Capsicum annuum* L.) En semilleros con diferente intensidad de luz artificial y sustratos. *Polo Del Conocimiento*, 7(8), 767–793. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i8>
- Valverde-Rodríguez, K., Morales, C. O., García, E. G., Valverde-Rodríguez, K., Morales, C. O., & García, E. G. (2019). Germinación de semillas de *Crescentia alata* (Bignoniaceae) en distintas condiciones de temperatura, luminosidad y almacenamiento. *Revista de Biología Tropical*, 67(2), 120–131. <https://doi.org/10.15517/RBT.V67I2SUPL.37211>

*Vista de Monitoreo de parámetros ambientales en casas de cultivo a través de aplicación IoT.* (n.d.). Retrieved March 5, 2023, from <https://rctd.uic.cu/rctd/article/view/46/5>