

Sistema de monitoreo para invernadero “Del huerto” mediante el protocolo de comunicación MQTT para fomentar el uso de herramientas tecnológicas en pequeñas áreas de producción agrícola en zonas urbanas de la ciudad de Chiquinquirá, Boyacá.

Trabajo de Grado Presentada Para Obtener El Título De
Especialista en Gestión de Redes de Datos
Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia.

Presentado a
Juan Carlos Ramírez

Investigador
Jesús David García Caro
Luis Gerardo Martín Martín

27 de febrero del 2020

Resumen

El sistema de monitoreo “Del Huerto” está diseñado como una alternativa al sistema de agricultura orgánica tradicional. Este sistema está compuesto por una plataforma web que informa al usuario de las condiciones de temperatura, humedad relativa, nivel de pH y de agua, que depende de las condiciones fisiológicas de lechuga (*lactuca sativa*), propiedades físicas y químicas del suelo. Diseño de un algoritmo basado en la medición de parámetros físicos, un sistema de adquisición de datos y un sistemas de comunicación bajo el protocolo de comunicación MQTT (Message Queing Telemetry Transport). Está dirigido a pequeñas áreas de la casa o apartamento gracias a su estructura de diseño vertical y modular, que proporciona alimentos frescos y libres de sustancias químicas. Asimismo, promueve el uso de sistemas tecnológicos, materiales reciclables, producción a pequeña escala y el uso efectivo y eficaz de los recursos hídricos en el agro.

Abstract

The “Del Huerto” monitoring system is designed as an alternative to the traditional organic farming system. This system is made up of a web platform that informs the user of the conditions of temperature, relative humidity, pH level and water, which depends on the physiological conditions of lettuce (*lactuca sativa*), physical and chemical properties of the soil. Design of an algorithm based on the measurement of physical parameters, a data acquisition system and a communication system under the MQTT (Message Queing Telemetry Transport) communication protocol. It is aimed at small areas of the house or apartment thanks to its vertical and modular design structure, which provides fresh, chemical-free food. It also promotes the use of technological systems, recyclable materials, small-scale production, and the effective and efficient use of water resources in agriculture.

1. Aspectos Generales

1.1. Planteamiento del problema

La situación actual a nivel mundial es alarmante debido a la enfermedad COVID-19 causada por el virus SARS-CoV-2, teniendo implicaciones a nivel económico, social y cultural. Cada país ha generado diferentes tipos de restricciones a través de decretos según los lineamientos OMS (Organización Mundial de la Salud), como es el aislamiento preventivo para mitigar la expansión del virus. Esto conlleva a enfrentarnos a tomar varias alternativas para el abastecimiento de víveres de la canasta familiar.

- a) Ir a un centro de acopio, supermercado, tienda, para el abastecimiento de alimentos.
- b) Acceder al comercio electrónico solicitando su pedido a través de diferentes plataformas como Rappi, Merqueo, Uber, entre otras.
- c) Generar la producción de alimentos en el hogar a través del uso de huertas para cultivos orgánicos.

Por consiguiente la producción de alimentos a través de huertas es una práctica viable y de fácil implementación para el abastecimiento de productos orgánicos de la canasta familiar, pero es una práctica muy poco utilizada por los habitantes de la ciudad de Chiquinquirá - Boyacá, debido a diferentes problemáticas como el espacio reducido en apartamentos o casas, desconocimiento de la forma de cultivar, manejo del producto, condiciones del suelo, uso de fertilizantes químicos, factores climatológicos, uso de herramientas TIC e integración de sistemas tecnológicos en el agro.

El sistema de monitoreo “Del Huerto” nace como una alternativa de solución a dicha problemática con el fin de fomentar el uso y buenas prácticas de cultivos orgánicos a través de huertas en espacios reducidos del hogar integrando el uso de herramientas TIC, obteniendo productos de calidad, de fácil acceso, libre de químicos y a la mano para el consumo y abastecimiento.

1.2.Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Implementar un sistema de monitoreo en un invernadero de cultivo de lechuga (*lactuca sativa*), mediante el protocolo de comunicación MQTT para fomentar el uso de herramientas tecnológicas en pequeñas áreas de producción agrícola en zonas urbanas de la ciudad de Chiquinquirá, Boyacá.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar el tipo de software, hardware y prototipo más adecuado para un sistema de monitoreo en un invernadero de cultivo orgánico.
- Diseñar un prototipo funcional y plataforma web enfocados en la medición y visualización de factores externos (temperatura ambiente, humedad relativa, nivel de pH y agua), mediante el protocolo de comunicación MQTT.
- Desarrollar un prototipo funcional, plataforma web y algoritmo que permita tener una interacción óptima entre la herramienta tecnológica y el cliente.
- Evaluar bajo el estándar IEEE 1012, los ciclos de vida del sistema de monitoreo para verificar y validar su funcionamiento.

1.3. Justificación

En menos de medio siglo, los avances tecnológicos han tenido un enorme impacto en el sector agropecuario, transformando muchas necesidades, optimizando procesos, aumentando el nivel de producción y mejorando la calidad del producto.

En zonas urbanas el uso de huertas orgánicas se convierte en una alternativa de abastecimiento alimenticio de productos orgánicos que requiere que las plantas cumplan con las condiciones óptimas de temperatura, humedad, pH y propiedades físicas y químicas del suelo para que tengan un crecimiento adecuado. La solución habitual es solicitar asistencia de amigos, vecinos o familiares para regar periódicamente las plantas o utilizar abonos químicos para acelerar su proceso de crecimiento. Cuando la necesidad de riego, luz, temperatura, humedad de las plantas deben ser suministradas de manera adecuada debido a sus condiciones fisiológicas no es satisfecha correctamente deriva la muerte o el deterioro de las plantas en dicho entorno. Y es aquí donde surge la necesidad de medir las variables físicas (temperatura, humedad relativa, nivel de pH y agua) de la planta, garantizando condiciones apropiadas del entorno para que haya un crecimiento óptimo de cada planta. Según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), destaca la importancia del suelo, composición, perfil, propiedades físicas y químicas, la manera de realizar las tomas de muestras e importancia del análisis de suelo para determinar el nivel del pH, materia orgánica, macro y micronutrientes, que permitan diseñar un manejo del suelo en relación al tipo de cultivo, en este sentido se hace referencia de cómo establecer un plan de fertilización en base a los diferentes tipos de abonos y fertilizantes mediante casos de aplicación práctica. (FAO, 2013).

El sistema de monitoreo “Del huerto” busca mejorar la calidad de vida de las personas, al tener una fuente de abastecimiento de productos orgánicos de la canasta familiar usados para el consumo diario, obteniendo un producto de calidad y libre de químicos. Está diseñado como un sistema alternativo a los cultivos orgánicos tradicionales. A través del uso de herramientas TIC informa al usuario de las condiciones de temperatura, humedad, nivel de pH, agua e involucra información sobre las buenas prácticas a la hora de cultivar y realizar un seguimiento adecuado al cultivo. Está dirigido a pequeñas áreas de la casa o apartamento gracias a su diseño vertical y modular. Promueve el uso de cultivos orgánicos en el hogar a través de huertas utilizando material reciclable e integrando herramientas TIC accesibles y de bajo costo, abonos naturales y uso de buenas prácticas para cultivar.

1.4. Marco Teórico

1.4.1. Antecedentes

Para el desarrollo de antecedentes y marco teórico de la presente propuesta se identificaron las fuentes de base de datos más importantes:

- EBSCO, Redalys, Dialnet, Base de datos de la Fundación Universitaria Unisangil, Base de datos de la Universidad Santo Tomás.
- Google Académico, Motor de búsqueda, Base de datos bibliográfica.

Revistas Utilizadas

- Revista Ingeniare.
- Revista IEEE Spectrum.
- Revista MIT Technology Review.
- Revista AgriTech.
- Revista Successful Farming.

Análisis Bibliométrico

Para la organización y lectura del material bibliográfico se realizó una clasificación de acuerdo a las siguientes categorías:

- TIC aplicadas a la industria agrícola.
- Interfaz gráfica del usuario.
- Producción agrícola de cultivos.
- Internet de las cosas.
- Protocolos de comunicación.

- Aplicaciones de software para el desarrollo de invernaderos.

Palabras clave usadas en la búsqueda de material bibliográfico:

TIC en invernaderos, Internet de las cosas, Automatización de invernaderos, Aplicativos móviles, Aplicativos web, sistemas de monitoreo, sistemas de adquisición de datos, protocolos de comunicación, agricultura de precisión, sensores de medición climática, producción agrícola en zonas urbanas.

Análisis Bibliométrico de Documentos

A continuación, se presentan nueve documentos relacionados con artículos de divulgación científica, entre los cuales se encuentran, sistemas de monitoreo y control orientados a la medición de variables físicas como temperatura, humedad en tiempo real bajo diferentes protocolos de comunicación, uso de plataformas web y aplicativos móviles.

➤ Rodríguez Ramírez, J. A. (2006). Diseño de un sistema inalámbrico para el monitoreo en tiempo real de temperatura y humedad relativa bajo invernadero.

El objetivo del presente artículo es diseñar un sistema basado en tecnología inalámbrica bajo el estándar IEEE 802.15.4 que brinda ventajas frente a una baja transmisión de datos y bajo consumo energético, para efectuar la medición, registro, y transmisión de datos en tiempo real, sobre el comportamiento de la temperatura y humedad relativa en un invernadero, para el monitoreo del manejo climatológico óptimo en un cultivo de flores. De acuerdo con lo anterior, un sistema de monitoreo permite adaptar un micro clima mediante el control de variables físicas, sin importar las características externas del entorno para brindar un crecimiento eficiente y eficaz de cualquier tipo de cultivo para obtener un producto de calidad.

➤ Mamani, M., Villalobos, M., & Herrera, R. (2017). Sistema web de bajo costo para monitorear y controlar un invernadero agrícola. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 25(4), 599-618.

El objetivo del presente artículo es desarrollar un sistema web de bajo costo que permite monitorear y controlar un invernadero. El monitoreo se realiza mediante la captura de variables climatológicas, dentro del invernadero, con sensores y microcontroladores instalados en su interior, cuyos datos son observados por medio de una aplicación web desde internet en tiempo real. El sistema fue sometido a las pruebas de acuerdo al estándar IEEE 1012 y en un laboratorio

de cultivo de tejidos vegetales. Se toma como referente el estándar IEEE 1012 que permite realizar procesos de verificación y validación de software bajo indicadores de calidad en relación con la integralidad para el usuario, teniendo en cuenta su ciclo de vida, lo que permite tener un punto de partida para realizar versiones beta de un producto o servicio para posteriormente salir al mercado.

- Y Syafarinda¹, F Akhadin¹, Z E Fitri¹, Yogiswara¹, B Widiawan¹, E Rosdiana. (2018). The Precision Agriculture Based on Wireless Sensor Network with MQTT Protocol

Este artículo presenta un desarrollo de agricultura de precisión basada en Wireless Sensor Network (WSN) con telemetría de Message Queue Server Transporte (protocolo MQTT). El sistema WSN incluye tecnología de Internet de las cosas (IoT) para conectar dispositivos, recopilar y distribuir información. La integración de IoT con la computación en la nube está destinada a superar las limitaciones de los dispositivos IoT en el control y la monitorización remotos WSN. El desarrollo utiliza protocolos MQTT que tienen ventajas que son ligeras, sencillas y se pueden ejecutar en un ancho de banda pequeña y más avanzada en comparación con el protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP). En este documento, los sensores SHT3x y TSL2561 se utilizan para observar la temperatura, la humedad y la intensidad luminosa del invernadero. Resultados de prueba de tres sensores en velocidades de transmisión de datos indican que el protocolo MQTT se ejecuta con un ancho de banda muy pequeño. Puede transmitir datos en la red 4G red del proveedor AXIS con capacidad de descarga de 0.02 kbps y carga de 1.65 kbps. La velocidad media de transmisión de datos es de aproximadamente 1 segundo.

Las técnicas agrícolas de precisión están ampliamente desarrolladas para monitorear y controlar el crecimiento de la planta en invernadero. El uso de invernaderos es adecuado para los países que tienen clima impredecible, p. ej. Indonesia. Los principales monitores y controles en invernadero son sensores, redes y actuadores. Algunos ejemplos de la técnica de agricultura de precisión son el seguimiento de las necesidades de fertilizantes y riego inteligente.

- Kennedy, A., Bertao, D., Arrúa, J., & Ayala, K. (2016). Prototipo de sistema de monitoreo y control para producción de tomate en invernadero.

El objetivo del presente trabajo es diseñar un prototipo funcional de sistema de monitoreo y control para producción de tomate en invernadero, dirigido método de riego (fertirriego), a través del cual es posible suministrar fertilizantes para proporcionar los niveles de nutrientes ideales para cada etapa de producción. En la producción de tomate en invernadero, hay varios factores a ser controlados, tales como: temperatura, humedad, luminosidad, propiedades del suelo. En función a lo expuesto se ha desarrollado un sistema de monitoreo y control para invernaderos de cultivo de tomates, por medio del mismo los datos son adquiridos mediante sensores administrados por un microcontrolador (arduino), conectado a un servidor, lo que permite controlar la temperatura, humedad y el nivel de los tanques correspondientes al sistema de fertirriego por goteo.

Es indispensable para cualquier tipo de cultivo conocer las características presentes en el tipo suelo y su composición, determinar sus condiciones iniciales con las cuales va ser sembrada la planta ya que es el medio por el cual van a adquirir los nutrientes suficientes para asegurar su crecimiento de una manera óptima, los sistemas de fertirriego mediante el control de variables físicas permiten calcular la cantidad necesaria de fertilizante que necesita cada una de la plantas en diferentes partes del cultivo, asegurando una producción de calidad.

➤ Suárez Barón, J. C., & Suarez Baron, M. J. (2014). Monitoreo de variables ambientales en invernaderos usando tecnología ZIGBEE. In XLIII Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa (43JAIIO)-VI Congreso Argentino de Agroinformática (CAI) (Buenos Aires, 2014).

Este artículo describe el diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores (WSN) aplicando el estándar Zigbee, usada para monitorear humedad relativa y temperatura en invernaderos. Este desarrollo permite conectar múltiples dispositivos inalámbricos en aras de transmitir datos de las variables de humedad relativa y temperatura a una LCD y a un ordenador.

Dentro su desarrollo vale resaltar la importancia de utilizar un protocolo de comunicación bajo estándar IEEE 802.15.4 para la transmisión de datos con bajo consumo energético lo que asegura una mayor durabilidad del tiempo de la batería y respectivamente realizar el análisis de los datos para la toma de decisiones dentro de la producción del cultivo.

- Akashi Satoh. (2018). A Hydroponic Planter System to enable an Urban Agriculture Service Industry (Japon, 2018).

En el presente artículo se desarrolla una sembradora hidropónica compacta realizando experimentos de cultivo para realizar una industria de servicios agrícolas, que utiliza espacios vacíos en áreas urbanas. Con el fin de proporcionar un método de cultivo completo de frutas y verduras a los principiantes en la agricultura, se desarrolló un módulo sensor de bajo costo y una sembradora con un sistema de control remoto integrado mediante el protocolo de comunicación MQTT, un protocolo liviano para IoT, se utiliza para monitorear los datos de los sensores y controlar una bomba. Los datos se cifran de forma segura mediante TLS / SSL. Además de monitorear los datos del sensor, se incluye una función de fotografía de imagen fija basada en cámara conectada por USB con detección de movimiento.

- Nyoman Kusuma Wardana, Padma Nyoman Crisnapati, I Wayan Aditya Suranata. (2018). IoT-based Drip Irrigation Monitoring and Controlling System using NodeMCU and Raspberry Pi (Bali, 2018).

El riego por goteo se puede aplicar en el sistema de cultivo de invernadero, en el que pequeñas cantidades de agua y fertilizante se pueden suministrar de manera uniforme a la zona de raíces del cultivo. En este trabajo, se propone una estrategia de monitoreo y control de riego por goteo basada en IoT para sistemas de cultivo en invernadero. Su objetivo es controlar automáticamente el sistema de alimentación nutricional AB-mix para las plantas. Cada sensor y actuador involucrado en este sistema fue desarrollado para ser un solo objeto. Luego, los objetos respectivos podrían programarse en consecuencia para realizar su propia función, como controlar las bombas, controlar la válvula, detectar el nivel de nutrientes, detectar la humedad del suelo, etc. Cada objeto tiene una identidad única para permitir una comunicación simplificada entre la puerta de enlace y los objetos empleando un protocolo ligero MQTT. El protocolo MQTT necesita dos componentes, a saber, MQTT Client y MQTT Broker. El servidor MQTT se instaló en Raspberry Pi utilizando la plataforma Mosquitto, mientras que el cliente MQTT se instaló en cada NodeMCU para detectar o controlar los parámetros ambientales involucrados en el proceso de riego por goteo. Finalmente, la adquisición de datos en tiempo real de sensores y actuadores se puede monitorear a través de una interfaz basada en web.

Francisco Javier Ferrández-Pastor, Juan Manuel García-Chamizo, Mario Nieto-Hidalgo, Jerónimo Mora-Pascual, and José Mora-Martínez. (2016). Developing Ubiquitous Sensor Network Platform Using Internet of Things: Application in Precision Agriculture.

La aplicación de tecnologías de la información en métodos de agricultura de precisión tiene claros beneficios. La agricultura de precisión optimiza la eficiencia de la producción, aumenta la calidad, minimiza el impacto ambiental y reduce el uso de recursos (energía, agua); sin embargo, existen diferentes barreras que han retrasado su amplio desarrollo. Algunas de estas barreras principales son equipos costosos, la dificultad de operar y mantener el estándar para redes de sensores aún están en desarrollo. Hoy en día, los nuevos desarrollos tecnológicos en dispositivos embebidos (hardware y protocolos de comunicación), la evolución de las tecnologías de Internet (Internet of Things) y la computación ubicua (Ubiquitous Sensor Networks) permiten desarrollar sistemas menos costosos, más fáciles de controlar, instalar y mantener, utilizando protocolos estándar. con bajo consumo de energía. Con esto se quiere desarrollar y probar una plataforma de red de sensores / actuadores de bajo costo, basada en Internet de las cosas, que integra protocolos de interfaz máquina-máquina y hombre-máquina. Edge computing utiliza este enfoque multiprotocolo para desarrollar procesos de control en escenarios de agricultura de precisión. Se desarrolló y probó un invernadero con producción de cultivos hidropónicos utilizando el monitoreo de la red de sensores ubicuos y el control de bordes en el paradigma de Internet de las cosas. Los resultados experimentales mostraron que las tecnologías de Internet y los patrones de comunicación de objetos inteligentes se pueden combinar para fomentar el desarrollo de la agricultura de precisión. Demostraron beneficios adicionales (costo, energía, desarrollo inteligente, aceptación por parte de especialistas agrícolas) cuando se lanza un proyecto.

➤ Bustos Palacios, D. A. (2017). Propuesta de un sistema de control y automatización con administración remota a través de un smartphone android para el riesgo del cultivo de lechuga en la finca los almendros del departamento de Jinotega en el año 2017 (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua).

El objetivo del presente trabajo consiste en la propuesta de un sistema de riego automatizado controlado de manera remota para facilitar el proceso de irrigación de los cultivos de lechuga. El objetivo es mejorar de manera integral el actual sistema de riego con que cuenta la

propiedad, utilizando un sistema inteligente controlado por una aplicación android a través de un móvil y utilizar sensores de humedad del suelo los cuales determinarán la cantidad de agua con la que este cuenta y la cantidad necesaria que la planta necesita para su óptimo crecimiento y desarrollo, así se pretende alcanzar un pleno manejo de los cultivos y crear condiciones para su debido crecimiento.

Los cultivos dependen de características fisiológicas de las plantas que deben contemplar parámetros como el nivel de humedad que si no son controlados de manera adecuada puede llegar a la muerte parcial de la planta afectando la calidad y afectando el costo del producto, la implementación de sistemas de riego automatizados ayudan a optimizar procesos en la distribución del agua generando las condiciones óptimas para el crecimiento en cada uno de los cultivos con necesidades variantes.

➤ Hashimoto, Y., Arita, D., Shimada, A., Yoshinaga, T., Okayasu, T., Uchiyama, H., & Taniguchi, R.-I. (2018). Yield Visualization Based on Farm Work Information Measured by Smart Devices.

El objetivo del presente artículo es proponer un nuevo enfoque para la visualización espacial sobre la variación del estado de la planta en una granja de invernadero de tomates operado por trabajadores agrícolas. La posición del trabajador agrícola es fundamental en función a la intensidad de las ondas de radio, el trabajador agrícola medirá el estado de la planta mediante el uso de un teléfono inteligente que lleva el trabajador, unido a relojes inteligentes usados en ambas muñecas mediante la conexión bluetooth. Como experimento se obtiene la información de la recolección operada por un trabajador en una parte del invernadero de tomates se visualiza la distribución de los rendimientos en el campo experimental. El error absoluto promedio de la cantidad de tomates cosechados en cada pequeña sección del campo experimental es 0.35. Una entrevista con el administrador de la granja muestra que el mapa de recolección es útil para captar intuitivamente los estados del invernadero.

➤ Zhang, Q. (2016). Precision Agriculture Technology for Crop Farming. Qin Zhang. <https://library.oapen.org/viewer/web/viewer.html?file=/bitstream/handle/20.500.12657/41698/9781482251081.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Las tecnologías de agricultura de precisión se han desarrollado durante las últimas tres décadas para ayudar a la agricultura vegetal. Este libro revisa lo que ha sucedido en el pasado, cuál es la situación actual y predice lo que puede deparar el futuro para estas tecnologías. Los mejores expertos que han contribuido al desarrollo de la agricultura de precisión proporcionan la información. La agricultura debe proporcionar una cantidad cada vez mayor de alimentos, fibras, semillas y combustible de calidad para la humanidad. Y debe hacer esto de una manera que sea ambiental, económica y socio políticamente sostenible. Esto será aún más desafiante en el futuro, ya que no existe una tecnología única que pueda resolver este problema. Por lo tanto, el desarrollo y la implementación adecuada de la agricultura de precisión puede ser de gran ayuda para lograr este importante objetivo.

- AHLSTRÖM, L., & Zahra, M. (2012). Integrating a Greenhouse in an Urban Area. Chalmers University of technology.
<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/154595.pdf>

En la actualidad, los alimentos se producen fuera de las ciudades y se transportan por todo el mundo, produciendo enormes cantidades de gases de efecto invernadero, hacia las ciudades. Además, para 2030, 4.900 millones de los 8.200 millones de personas que se espera en la Tierra vivirán en áreas urbanas. El crecimiento de la población significa que las ciudades crecerán rápidamente y se necesita una planificación cuidadosa. La agricultura vertical es un concepto de cultivo de cultivos en rascacielos, en superficies inclinadas o de otras formas maximizando el uso de la tierra al tener un diseño vertical. Plantagon International AB es una empresa sueca que ha desarrollado invernaderos que podrían cambiar la forma en que producimos y distribuimos alimentos. La idea es construir enormes invernaderos para la Agricultura Vertical Industrial Urbana. Sin embargo, la agricultura vertical industrial urbana es un concepto relativamente nuevo y se han realizado pocos estudios sobre el tema de su integración en contextos urbanos. Esta tesis de maestría investiga y analiza las oportunidades y consecuencias de integrar un invernadero industrial en un entorno urbano existente. Mediante estudios de caso en Gotemburgo y dinámica de sistemas, se han identificado y explorado las variables y criterios fundamentales. Descubrimos que la dinámica de nuestro sistema se centra en gran medida en las variables Interés por efecto invernadero, Identidad y Atracción. Pero al observar el sistema en una perspectiva holística y cuando los subsistemas se agregan a la

dinámica de nuestro sistema, la periferia del sistema se dispara y las variables que no afectan directamente a nuestro distrito han pasado a jugar un papel más significativo. Descubrimos que construir un invernadero Plantagon no es una acción de un solo propósito. Para integrar el invernadero y fomentar el mercado local, se debe establecer una cooperación o colaboración con los agricultores locales, así como una conexión cercana al transporte público es esencial. En el futuro, puede ser necesario desarrollar invernaderos a menor escala para que su integración en los distritos del centro de la ciudad sea posible.

Tabla comparativa

Titulo (artículo, revista, libro)	Metodología y Supuestos	Uso de la tecnología	Conclusiones y aportes
1.Diseño de un sistema inalámbrico para el monitoreo en tiempo real de temperatura y humedad relativa bajo invernadero. "Contexto Nacional"	El objetivo del presente artículo es diseñar un sistema basado en tecnología inalámbrica bajo el estándar IEEE 802.15.4 que brinda ventajas frente a una baja transmisión de datos y bajo consumo energético, para efectuar la medición, registro, y transmisión de datos en tiempo real, sobre el comportamiento de la temperatura y humedad relativa en un invernadero	- Tecnología inalámbrica bajo el estándar IEEE 802.15. - Sistema de monitoreo permite adaptar el clima mediante el control de variables físicas	Brindar un crecimiento eficiente y eficaz de cualquier tipo de cultivo para obtener un producto de calidad
2.Sistema web de bajo costo para monitorear y controlar un invernadero agrícola. "Contexto Nacional"	El objetivo del presente artículo es desarrollar un sistema web de bajo costo que permite monitorear y controlar un invernadero.	- Se toma como referente el estándar IEEE 1012 que permite realizar procesos de verificación y validación de software bajo indicadores de calidad.	Permite tener un punto de partida para realizar versiones beta de un producto o servicio

3.The Precision Agriculture Based on Wireless Sensor Network with MQTT Protocol. "Contexto internacional"	Este artículo presenta un desarrollo de agricultura de precisión basada en Wireless Sensor Network (WSN) con telemetría de Message Queue Server Transporte (protocolo MQTT).	- Tecnología Wireless Sensor Network (WSN) con telemetría de Message Queue Server Transporte (protocolo MQTT). - Los sensores SHT3x y TSL2561 se utilizan para observar la temperatura, la humedad y la intensidad luminosa del invernadero	Resultados de prueba de tres sensores en velocidades de transmisión de datos indican que el protocolo MQTT se ejecuta con un ancho de banda muy pequeño.
4.Prototipo de sistema de monitoreo y control para producción de tomate en invernadero. "Contexto internacional"	El objetivo del presente trabajo es diseñar un prototipo funcional de sistema de monitoreo y control para producción de tomate en invernadero, dirigido método de riego (fertirriego), a través del cual es posible suministrar fertilizantes para proporcionar los niveles de nutrientes ideales para cada etapa de producción	-Sensores administrados por un microcontrolador (arduino) -Uso de servidores	Los sistemas de fertirriego mediante el control de variables físicas permiten calcular la cantidad necesaria de fertilizante que necesita cada una de las plantas en diferentes partes del cultivo, asegurando una producción de calidad.
5.Monitoreo de variables ambientales en invernaderos usando tecnología ZIGBEE. "Contexto internacional"	Este artículo describe el diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores (WSN) aplicando el estándar Zigbee, usada para monitorear humedad relativa y temperatura en invernaderos.	-Red inalámbrica de sensores (WSN) aplicando el estándar Zigbee -Protocolo de comunicación bajo estándar IEEE 802.15.4	Este desarrollo permite conectar múltiples dispositivos inalámbricos en aras de transmitir datos de las variables de humedad relativa y temperatura a una LCD y a un ordenador.
6.A Hydroponic Planter System to enable an Urban Agriculture Service Industry "Contexto Internacional "	En el presente artículo se desarrolla una sembradora hidropónica compacta realizando experimentos de cultivo para realizar una industria de servicios agrícolas y que utiliza espacios vacíos en áreas urbanas.	- Sensor y una sembradora con un sistema de control remoto integrado mediante el protocolo de comunicación MQTT, un protocolo liviano para IoT. - Cifrar datos de forma segura mediante TLS / SSL	Se utiliza para monitorear los datos de los sensores y controlar una bomba.

7.IoT-based Drip Irrigation Monitoring and Controlling System using NodeMCU and Raspberry Pi. "Contexto internacional"	Objetivo es controlar automáticamente el sistema de alimentación nutricional	- El protocolo MQTT necesita dos componentes, a saber, MQTT Client y MQTT Broker. El servidor MQTT - Raspberry Pi utilizando la plataforma Mosquitto	Detectar o controlar los parámetros ambientales involucrados en el proceso de riego por goteo. Finalmente, la adquisición de datos en tiempo real de sensores y actuadores se puede monitorear a través de una interfaz basada en web.
8.Developing Ubiquitous Sensor Network Platform Using Internet of Things: Application in Precision Agriculture. "Contexto internacional"	Desarrollar y probar una plataforma de red de sensores / actuadores de bajo costo, basada en Internet de las cosas, que integra protocolos de interfaz máquina-máquina y hombre-máquina.	- Internet de las cosas - computación ubicua (Ubiquitous Sensor Networks) - Dispositivos embebidos (hardware y protocolos de comunicación)	Las tecnologías de Internet y los patrones de comunicación de objetos inteligentes se pueden combinar para fomentar el desarrollo de la agricultura de precisión. Demostraron beneficios adicionales (costo, energía, desarrollo inteligente, aceptación por parte de especialistas agrícolas)
9.Propuesta de un sistema de control y automatización con administración remota a través de un smartphone android para el riesgo del cultivo de lechuga en la finca los almendros del departamento de Jinotega. "Contexto internacional"	El objetivo del presente trabajo consiste en la propuesta de un sistema de riego automatizado controlado de manera remota para facilitar el proceso de irrigación de los cultivos de lechuga.	- Aplicación android a través de un móvil - Utilizar sensores de humedad del suelo. - Contemplar parámetros como el nivel de humedad que si no son controlados de manera adecuada	La implementación de sistemas de riego automatizados ayudan a mejorar procesos en la distribución del agua generando las condiciones óptimas para el crecimiento en cada uno de los cultivos con necesidades variantes.
10. Yield Visualization Based on Farm Work Information Measured by Smart Devices. "Contexto internacional"	El objetivo del presente artículo es proponer un nuevo enfoque para la visualización espacial sobre la variación del estado de la planta en una granja de invernadero de tomates operado por trabajadores agrícolas.	- Uso de un teléfono y reloj inteligente - Protocolo de comunicación bluetooth.	Se obtiene la información de la recolección operada por un trabajador en una parte del invernadero de tomates se visualiza la distribución de los rendimientos en el campo experimental, muestra que el mapa de recolección es útil para captar intuitivamente los estados del invernadero.

11. Precision Agriculture Technology for Crop Farming. "Contexto internacional".	El objetivo del presente libro proporciona una descripción general del desarrollo de la tecnología de la agricultura de precisión, analiza las consideraciones actuales y futuras y tiene como objetivo facilitar la integración exitosa de la tecnología de la agricultura de precisión.	-Rendimiento de y sistemas de guía, muestreo de suelo basado en GPS, sensores de suelo y cultivo en tiempo real y detección remota -agricultura de precisión basada en la comunidad dirigido a una alta rentabilidad y confiabilidad bajo limitaciones regionales y ambientales. -Vehículos autónomos, robots de campo y otra maquinaria inteligente, desarrollos emergentes y tecnología futura en el campo de la agricultura de producción.	La tecnología de agricultura de precisión para el cultivo de cultivos proporciona una descripción general del desarrollo de la tecnología de agricultura de precisión, analiza las consideraciones actuales y futuras y tiene como objetivo facilitar la integración exitosa de la tecnología de agricultura de precisión.
12. Integrating a Greenhouse in an Urban Area. "Contexto internacional".	El objetivo de la presente tesis es investigar y analizar las oportunidades y consecuencias de integrar un invernadero industrial en un entorno urbano existente. Los estudios de caso se ejecutan en la ciudad de Gotemburgo en Suecia, aunque, dado que la estructura de la ciudad es similar a muchas otras ciudades de Europa, el resultado también se puede proyectar en ellas.	-Agricultura urbana de precisión. - El pensamiento sistémico tiene dos estructuras fundamentales, bucles de refuerzo y bucles de equilibrio	En el invernadero se pueden ubicar las instalaciones para educar a las personas sobre el desarrollo sostenible y su acompañamiento. La cultura organizacional transparente de Plantagon significa brindar información sobre sus pensamientos y consideraciones. El concepto de Agricultura Vertical Industrial Urbana es un concepto bastante nuevo y aún no se han construido proyectos.

Tabla 1. Tabla comparativa antecedentes bibliográficos.

Elaboración de Meta-Análisis

Para realizar el análisis comparativo de los diferentes documentos teniendo en cuenta las categorías planteadas en el apartado de “Análisis Bibliométrico”.

- TIC aplicadas a la industria agrícola.

3. The Precision Agriculture Based on Wireless Sensor Network with MQTT Protocol.	Comparación Todos los documentos se centran en el diseño de un sistema de monitoreo con las siguientes características (bajo costo, bajo consumo energético, baja transmisión de datos), las diferencias radican en el lugar geográfico, tipo de cultivo, condiciones medioambientales, tipos de protocolos, tarjetas de adquisición y prácticas para el cultivo.
4. Prototipo de sistema de monitoreo y control para producción de tomate en invernadero.	
5. Monitoreo de variables ambientales en invernaderos usando tecnología ZIGBEE.	
6. A Hydroponic Planter System to enable an Urban Agriculture Service Industry	
7. IoT-based Drip Irrigation Monitoring and Controlling System using NodeMCU and Raspberry Pi.	
8. Developing Ubiquitous Sensor Network Platform Using Internet of Things: Application in Precision Agriculture.	
9. Propuesta de un sistema de control y automatización con administración remota a través de un smartphone android para el riesgo del cultivo de lechuga en la finca los almendros del departamento de Jinotega.	
10. Yield Visualization Based on Farm Work Information Measured by Smart Devices.	

12. Precision Agriculture Technology for Crop Farming.	
11. Precision Agriculture Technology for Crop Farming.	

Tabla 2. Análisis comparativo TIC aplicadas a la industria agrícola.

- Interfaz gráfica del usuario.

1. Diseño de un sistema inalámbrico para el monitoreo en tiempo real de temperatura y humedad relativa bajo invernadero.	Comparación Los tres documentos se centran en el diseño de un sistema de monitoreo y control con las siguientes características (bajo costo, bajo consumo energético, baja transmisión de datos), la diferencia radica en el tipo de cultivo y en el tipo de interfaz gráfica para el usuario la cual utiliza un sistema web y las otras dos texto plano.
2. Sistema web de bajo costo para monitorear y controlar un invernadero agrícola.	
4. Prototipo de sistema de monitoreo y control para producción de tomate en invernadero.	

Tabla 3. Análisis comparativo interfaz gráfica del usuario.

- Producción agrícola de cultivos.

7. IoT-based Drip Irrigation Monitoring and Controlling System using NodeMCU and Raspberry Pi.	Comparación Todos los documentos se centran en el diseño de un sistema de monitoreo con las siguientes características (bajo costo, bajo consumo energético, baja transmisión de datos), además del uso de buenas prácticas para la implementación de cultivos de precisión.
8. Developing Ubiquitous Sensor Network Platform Using Internet of Things: Application in Precision Agriculture.	

9. Propuesta de un sistema de control y automatización con administración remota a través de un smartphone android para el riesgo del cultivo de lechuga en la finca los almendros del departamento de Jinotega.	
10. Yield Visualization Based on Farm Work Information Measured by Smart Devices.	
11. Precision Agriculture Technology for Crop Farming.	
12. Integrating a Greenhouse in an Urban Area	

Tabla 4. Análisis comparativo producción agrícola de cultivos.

● Internet de las cosas.

3. The Precision Agriculture Based on Wireless Sensor Network with MQTT Protocol.	Comparación Teniendo en cuenta los documentos 3,4,6,7,10 los cuales muestran una dinámica de conexión hacia el internet de las cosas, transfiriendo la data directamente a la nube y con la posibilidad de ser consultada, visualizada y controladas desde cualquier parte del mundo. La diferencia radica en el tipo de conexión para la transferencia de datos hacia la nube y el tipo de dispositivo.
4. Prototipo de sistema de monitoreo y control para producción de tomate en invernadero.	
6. A Hydroponic Planter System to enable an Urban Agriculture Service Industry	
7. IoT-based Drip Irrigation Monitoring and Controlling System using NodeMCU and Raspberry Pi.	
10. Yield Visualization Based on Farm Work Information Measured by Smart Devices.	

Tabla 5. Análisis comparativo internet de las cosas.

- Protocolos de comunicación.

	Comparación
1. Diseño de un sistema inalámbrico para el monitoreo en tiempo real de temperatura y humedad relativa bajo invernadero.	Los documentos se centran en el diseño de un sistema de monitoreo con las siguientes características (bajo costo, bajo consumo energético, baja transmisión de datos), la diferencia radica en el protocolo de comunicación utilizado para cada desarrollo uno regido bajo estándar IEEE 802.15.4, IEEE 1012, MQTT, ZIGBEE, Ubiquitous Sensor Networks,
2. Sistema web de bajo costo para monitorear y controlar un invernadero agrícola.	
3. The Precision Agriculture Based on Wireless Sensor Network with MQTT Protocol.	
5. Monitoreo de variables ambientales en invernaderos usando tecnología ZIGBEE.	
8. Developing Ubiquitous Sensor Network Platform Using Internet of Things: Application in Precision Agriculture	

Tabla 6. Análisis comparativo: protocolos de comunicación.

- Aplicaciones de software para el desarrollo de invernaderos.

	Comparación
4. Prototipo de sistema de monitoreo y control para producción de tomate en invernadero.	Teniendo en cuenta los documentos involucrados en esta sección se encuentra que todos desarrollan su cultivo en un invernadero, pero cada de estos prototipos toman los datos de forma diferente por medio de tecnologías como ZIGBEE, Ubiquitous y entornos gráficos.
8. Developing Ubiquitous Sensor Network Platform Using Internet of Things: Application in Precision Agriculture.	

5. Monitoreo de variables ambientales en invernaderos usando tecnología ZIGBEE.	
1. Diseño de un sistema inalámbrico para el monitoreo en tiempo real de temperatura y humedad relativa bajo invernadero.	
2. Sistema web de bajo costo para monitorear y controlar un invernadero agrícola.	
12. Precision Agriculture Technology for Crop Farming.	
11. Precision Agriculture Technology for Crop Farming.	

Tabla 7. Análisis comparativo: aplicaciones de software para el desarrollo de invernaderos.

1.5. Marco conceptual

Teniendo en cuenta las diferentes temáticas tratadas, se hace necesario definir conceptos claves que se nombran a medida que se avanza en este documento, a continuación, se mencionan algunas de esas palabras clave utilizadas en el desarrollo de este proyecto.

- **Sistema**

Conjunto ordenado de normas y procedimientos que regulan el funcionamiento de un grupo o colectividad.(Real Academia Española, 2020).

- **Sistema de monitoreo**

Los sistemas de monitoreo son indispensables en las industrias, donde se pueden implementar con el objetivo de optimizar los recursos disponibles. El monitoreo generalmente significa ser consciente del estado de un sistema, para observar una situación de cambios que se

pueda producir con el tiempo, o sea que no interviene ninguna cuestión manual o automatizada sobre el control de las variables, es únicamente la visualización de los cambios en la instrumentación según las condiciones del sistema; este monitoreo puede realizarse con el personal y sus herramientas en mano, o bien con la intervención automática de los equipos de instrumentación integrados con dispositivos de transmisión a través de redes locales o remotas, que envíen información a un monitor o a un panel de administración de las variables. (Suministros hidráulicos del sureste S.A., 2017)

- **Prototipo**

Primer ejemplar que se fabrica de una figura, un invento u otra cosa, y que sirve de modelo para fabricar otras iguales, o molde original con el que se fabrica. (Universidad Libre De Colombia, 2015)

- **Servidor**

Dispositivo físico o programa informático capaz de ofrecer a los clientes determinados servicios (páginas web, correo electrónico, contenidos multimedia en streaming, etc).

- **Plataforma web**

Es un sistema que permite la ejecución de diversas aplicaciones bajo un mismo entorno, dando a los usuarios la posibilidad de acceder a ellas a través de Internet. (Real Academia Española, 2020).

- **Programación**

Es el proceso por medio del cual se diseña, codifica, limpia y protege el código fuente de programas computacionales. A través de la programación se dictan los pasos a seguir para la creación del código fuente de programas informáticos. De acuerdo con ellos el código se escribe, se prueba y se perfecciona. El objetivo de la programación es la de crear software, que después será ejecutado de manera directa por el hardware de la computadora, o a través de otro programa. (Real Academia Española, 2020).

- **Variables**

Derivada del término en latín *variabilis*, variable es una palabra que representa a aquello que varía o que está sujeto a algún tipo de cambio. Se trata de algo que se caracteriza por ser

inestable, inconstante y mudable. En otras palabras, una variable es un símbolo que permite identificar a un elemento no especificado dentro de un determinado grupo. (Real Academia Española, 2020).

- **Humedad**

La humedad es una propiedad que describe el contenido de vapor de agua presente en un gas, el cual se puede expresar en términos de varias magnitudes. Algunas de ellas se pueden medir directamente y otras se pueden calcular a partir de magnitudes medidas. (Centro Nacional de Metrología, División de Termometría, 2015)

- **Temperatura**

La temperatura nos permite conocer el nivel de energía térmica con que cuenta un cuerpo. Las partículas que poseen los cuerpos se mueven a una determinada velocidad, por lo que cada una cuenta con una determinada energía cinética. El valor medio de dicha energía cinética (E_c) está directamente relacionado con la temperatura del cuerpo. Así, a mayor energía cinética media de las partículas, mayor temperatura y a menor energía cinética media, menor temperatura. (Universidad Autónoma De México, 2019).

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

Es una medida para determinar el grado de alcalinidad o acidez de una disolución. Con el PH determinamos la concentración de hidrogeniones en una disolución. (Real Academia Española, 2020).

- **Arduino IDE y Arduino Boards (Tarjeta de adquisición de datos)**

Arduino es una compañía que cuenta con una plataforma electrónica de código abierto, donde software y hardware son especialmente diseñados para las personas que no se dedican a áreas afines a la programación o al uso de embebidos. Arduino cuenta con varias placas (Boards) dependiendo de la necesidad de la persona y un entorno de desarrollo integrado (IDE) disponible de forma gratuita para Windows, Linux e iOS.

- **Sensor**

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar diferentes tipos de materiales, con el objetivo de mandar una señal y permitir que continúe un proceso, o bien detectar un cambio;

dependiendo del caso que éste sea. Es un dispositivo que, a partir de la energía del medio, proporciona una señal de salida que es función de la magnitud que se pretende medir.

Dentro de la selección de un sensor, se deben considerar diferentes factores, tales como: la forma de la carcasa, distancia operativa, datos eléctricos y conexiones. (Universidad de Tarapaca)

- **Aplicación**

Una aplicación informática es un tipo de software que permite al usuario realizar uno o más tipos de trabajo. Son aquellos programas que permiten la interacción entre usuario y computadora (comunicación), dando opción al usuario a elegir opciones y ejecutar acciones que el programa le ofrece. Existen innumerable cantidad de tipos de aplicaciones. Los procesadores de texto y las hojas de cálculo son ejemplos de aplicaciones informáticas, mientras que los sistemas operativos o los programas de utilidad (que cumplen tareas de mantenimiento) no forman parte de estos programas. Las aplicaciones pueden haber sido desarrolladas a medida (para satisfacer las necesidades específicas de un usuario) o formar parte de un paquete integrado. (SUHISSA, 2015).

- **Creadores web online**

Estas se encuentran en línea y podrás acceder mediante cualquier navegador y dispositivo. Incluso algunas de ellas tienen aplicaciones para que puedas crear o editar tu sitio web en tu smartphone. Debes tener en cuenta que necesitarás conexión a internet para usarlas. Ofrecen hosting integrado por lo que todo resulta más simple de gestionar. (Einatec, 2019)

- **Creadores web offline**

Se trata de aplicaciones que tienes que descargar en tu PC o Mac. Mediante un editor, más o menos, visual podrás crear un sitio web y lo podrás subir a tu servidor mediante FTP. Estas herramientas son, por lo general, menos actuales, sus diseños y funcionalidades son peores y resultan más difíciles de utilizar. (EcuRed, 2019)

- **Programación**

Es el proceso por medio del cual se diseña, codifica, limpia y protege el código fuente de programas computacionales. A través de la programación se dictan los pasos a seguir para la creación del código fuente de programas informáticos. De acuerdo con ellos el código se escribe, se prueba y se perfecciona. El objetivo de la programación es la de crear software, que después será ejecutado de manera directa por el hardware de la computadora, o a través de otro programa (Venemedia Comunicaciones C.A, 2020).

- **Seguridad**

La palabra seguridad proviene del latín securitas, que a su vez deriva de securus (sin cuidado, sin precaución, sin temor a preocuparse), qué significa libre de cualquier peligro o daño, y desde el punto de vista psicosocial se puede considerar como un estado mental que produce en los individuos (personas y animales) un particular sentimiento de que se está fuera o alejado de todo peligro ante cualquier circunstancia. (Editorial Club Univeritario Madrid.)

- **Monitoreo**

El monitoreo se desarrolla durante la ejecución de la acción formativa, busca detectar oportunamente deficiencias, obstáculos y/o necesidades de ajuste para optimizar la gestión y los resultados esperados.

Mediante el monitoreo se hace un seguimiento continuo y riguroso de lo que está sucediendo durante la implementación, se analiza cómo evolucionan los indicadores de gestión. El monitoreo de indicadores recopila y reporta sistemáticamente las tendencias con el propósito de informar a los responsables de la implementación y gestión del programa. (Programa Estado de la Nación San José - Costa Rica, 2017).

1.6. Marco Legal

- **Ley de tratamiento de datos 1581.**

Que mediante la Ley 1581 de 2012 se expidió el Régimen General de Protección de Datos Personales, el cual, de conformidad con su artículo 1, tiene por objeto "(...) desarrollar el derecho constitucional que tienen todas las personas a conocer, actualizar y rectificar las informaciones que se hayan recogido sobre ellas en bases de datos o archivos, y los demás derechos, libertades y garantías constitucionales a que se refiere el artículo 15 de la Constitución Política; así como el derecho a la información consagrado en el artículo 20 de la misma".

Que la Ley 1581 de 2012 constituye el marco general de la protección de los datos personales en Colombia.

Que mediante sentencia C-748 del 6 de octubre de 2011 la Corte Constitucional declaró exequible el Proyecto de Ley Estatutaria No. 184 de 2010 Senado, 046 de 2010 Cámara. Que con el fin de facilitar la implementación y cumplimiento de la Ley 1581 de 2012 se deben reglamentar aspectos relacionados con la autorización del Titular de información para el Tratamiento de sus datos personales, las políticas de Tratamiento de los Responsables y Encargados, el ejercicio de los derechos de los Titulares de información, las transferencias de datos personales y la responsabilidad demostrada frente al Tratamiento de datos personales, este último tema referido a la rendición de cuentas. (Ley N° 1581, 2012).

- **Ley 101 de 1993.**

Esta ley desarrolla los artículos 64, 65 y 66 de la Constitución Nacional. En tal virtud se fundamenta en los siguientes propósitos que deben ser considerados en la interpretación de sus disposiciones, con miras a proteger el desarrollo de las actividades agropecuarias y pesqueras, y promover el mejoramiento del ingreso y calidad de vida de los productores rurales. (Ley N° 101, 1993).

- **Ley 1876 de 2017.**

Por medio de la cual se crea el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria y se dictan otras disposiciones.

Innovación agropecuaria. Introducción de productos, bienes, servicios, procesos y métodos nuevos en el ámbito productivo, de transformación o adecuación de la producción, administrativo, organizacional, financiero y crediticio, informático, de mercadeo y comercialización, que incorporen mejoras significativas en el desempeño del sector agropecuario. (Ley N° 1876, 2017).

- **Ley 1286 de 2009.**

“Por la cual se modifica la Ley 29 de 1990, se transforma a Colciencias en Departamento Administrativo, se fortalece el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Colombia y se dictan otras disposiciones.”

ARTÍCULO. 1°. Objetivo general. El objetivo general de la presente ley es fortalecer el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología y a Colciencias para lograr un modelo productivo sustentado en la ciencia, la tecnología y la innovación, para darle valor agregado a los productos y servicios de nuestra economía y propiciar el desarrollo productivo y una nueva industria nacional. (Ley N° 1286, 2009).

1.7. Propuesta de solución

1.7.1. Aspectos conceptuales

La solución se basa en un servicio centralizado de notificaciones el cual consiste en disponer de un servidor “broker” central que se encarga de recibir los mensajes de todos los dispositivos emisores y distribuirlos a los receptores, filtrando los destinatarios según criterio. El criterio se basa en un *publish* que se encarga básicamente de enviar o publicar información hacia el servidor, mientras que el *subscribe* inscribe algún tipo de categoría “topic” e informa el router qué tipo de información desea recibir. El servidor genera una cola de mensajes única para cada uno de los clientes que inicia la suscripción, cada cliente emplea un identificador único que el servidor utiliza para generar el filtrado de información para su posterior envío. Para ello el cliente envía un mensaje que contiene información necesaria (nombre de usuario, contraseña, client-id...). El broker responde con otro mensaje de recepción, que contiene el resultado de la

conexión (aceptada, rechazada, etc). Para enviar los mensajes el cliente emplea mensajes de publicación, que contienen el topic y el payload.

Por otro lado, para asegurar que la conexión está activa los clientes mandan periódicamente un mensaje de supervivencia que es respondido por el servidor. Finalmente, el cliente se desconecta enviando un mensaje de desconexión.

El protocolo de comunicación utilizado para el desarrollo es MQTT (Message Queing Telemetry Transport) se basa en protocolo TCP/IP, en la ilustración 1 se representa la arquitectura de red.

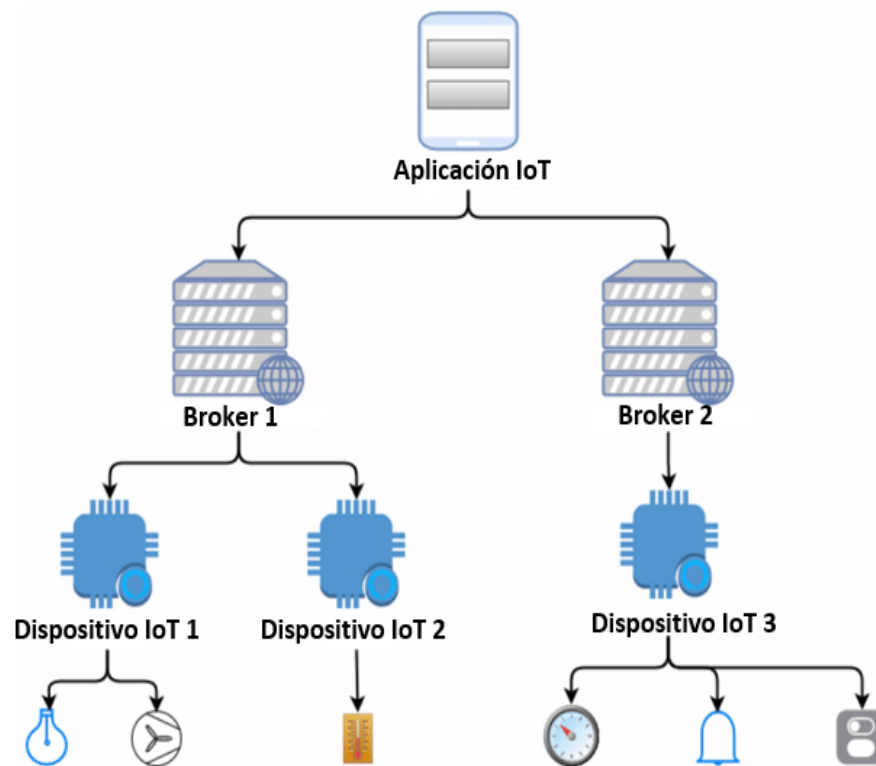


Ilustración 1. Arquitectura protocolo de comunicación MQTT.

Los clientes inician una conexión TCP/IP con el broker, el cual mantiene un registro de los clientes conectados. Esta conexión se mantiene abierta hasta que el cliente la finaliza. Por defecto, MQTT emplea el puerto 1883 y el 8883 cuando funciona sobre TLS.

A continuación, ilustración 2 muestra el diagrama de flujo basado en la arquitectura de red empleando el funcionamiento de la plataforma o del sistema de monitoreo correlacionando los sensores, base de datos y servidor de aplicación.

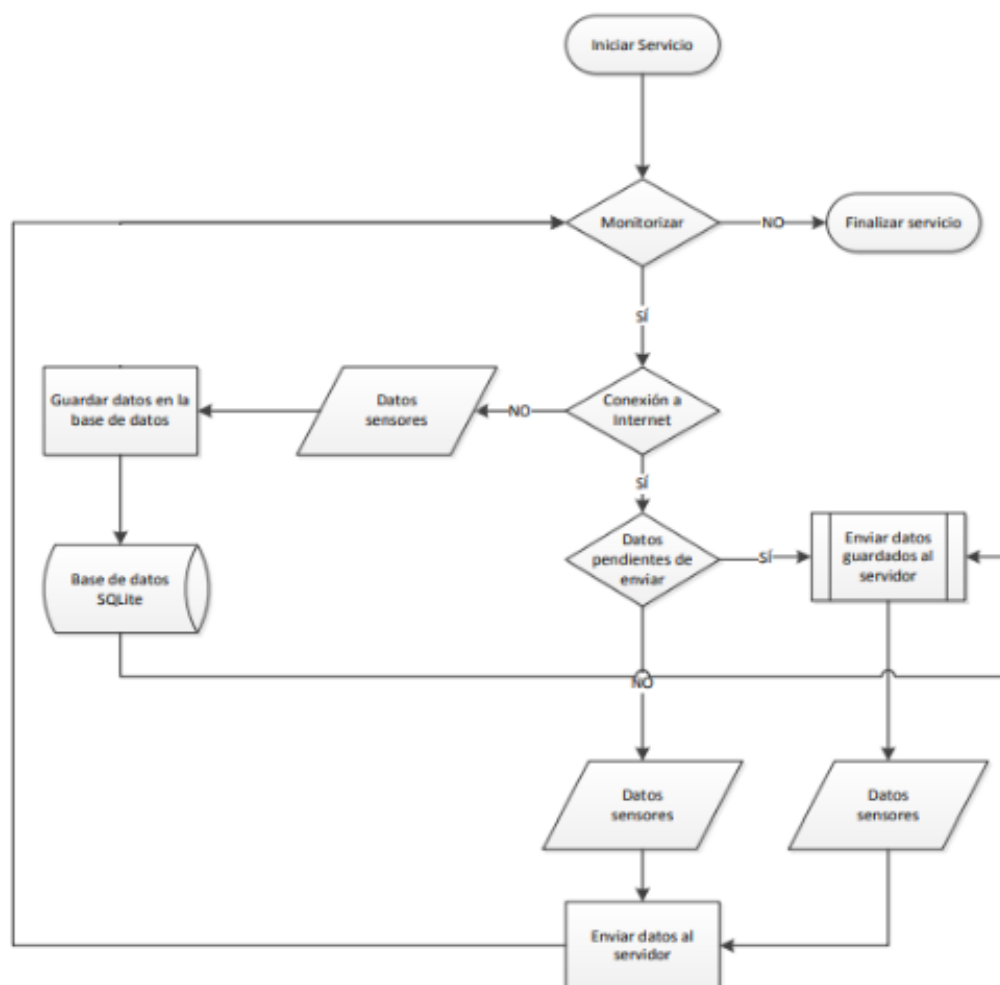


Ilustración 2. Diagrama de flujo sistema de monitoreo.

Los recursos necesarios para la implementación del sistema monitoreo se muestran a continuación:

- Tarjeta de adquisición de datos ESP – ROOM 3200.
- Sensor de humedad y temperatura DHT11.
- Sensor de pH analógico.
- Servidor mosquito (MQTT).
- Máquina virtual con sistema operativo Linux – Ubuntu.

- Servidor en la nube AWS.
- Sensor de nivel de agua KS0048.

A continuación se describe el funcionamiento de la plataforma:

- Inicializa el servicio de la plataforma de monitoreo.
- La tarjeta de adquisición de datos establece la conexión a internet.
- La tarjeta de adquisición toma los datos de los sensores humedad, temperatura, Ph, nivel de agua y los estructura en formato JSON.
- Los datos son almacenados en la base de datos SQLite.
- Los datos son enviados al servidor *mosquitto*.
- Se realiza la publicación de resultados en la plataforma web.
- Se realiza el análisis de información para toma de decisiones.

1.7.2. Planeación metodológica

Para el desarrollo del plan de trabajo se identifican cuatro fases fundamentales, cada una de las fases contempla una serie de actividades, tareas o procesos para su respectiva planificación dentro del marco del proyecto.

a) Identificación

- Consultar el tipo de software libre existente en el mercado.
- Consultar tipo de Hardware (Tarjetas de adquisición de datos) existente en el mercado.
- Consultar módulos que se adapten a la tarjeta de adquisición de datos y soporten el protocolo de comunicación MQTT existente en el mercado.
- Consultar acerca de los sensores que midan variables físicas como humedad relativa, temperatura, nivel de pH y nivel de agua.
- Consultar diferentes diseños de prototipos de cultivo vertical para plantas orgánicas.
- Consultar información sobre la fisiología taxonomía de la lechuga *lactuca sativa*.

b) Diseño

- Diseño del algoritmo para medir parámetros físicos como temperatura, humedad, nivel de pH y nivel de agua según la tarjeta de adquisición de datos y módulo de comunicación.
- Diseñar la base de datos con control de usuarios y adquisición de datos de los sensores.
- Realización de planos para el prototipo.
- Realizar el esquema técnico del proyecto.
- Cotización y compra de materiales (prototipo y hardware).
- Diseño de Frontend y Backend de la plataforma web.

c) Desarrollo

- Realizar la construcción del prototipo de la estructura vertical del cultivo orgánico.
- Realizar la construcción del prototipo integrando sensores, módulos de comunicación y sensores.
- Implementación de frontend y backend de la plataforma web.
- Integrar prototipos, protocolo de comunicación, algoritmo y plataforma web.
- Migración del desarrollo a servidores en entornos cloud.

d) Evaluación

- Identificar las fases que se deben cumplir en el estándar de calidad IEEE 1012.
- Validación del software mediante el estándar de calidad IEEE 1012.
- Evaluar el prototipo mediante los parámetros del estándar IEEE 1012.
- Realizar mejoras de acuerdo a los resultados de evaluación.

Para el diseño del calendario de trabajo se contempla 4 horas de trabajo diario de lunes a viernes, 20 horas semanales y 20 días por mes. La duración del proyecto tiene un tiempo de 6 meses bajo metodología “scrum” con el objetivo de organizar flujos de trabajo optimizados y flexibles. En la ilustración 2 se muestra una simulación empleando el diagrama de Gantt y en la ilustración 3 la matriz EDT del proyecto se desarrolló bajo el software libre ProjectLibre.

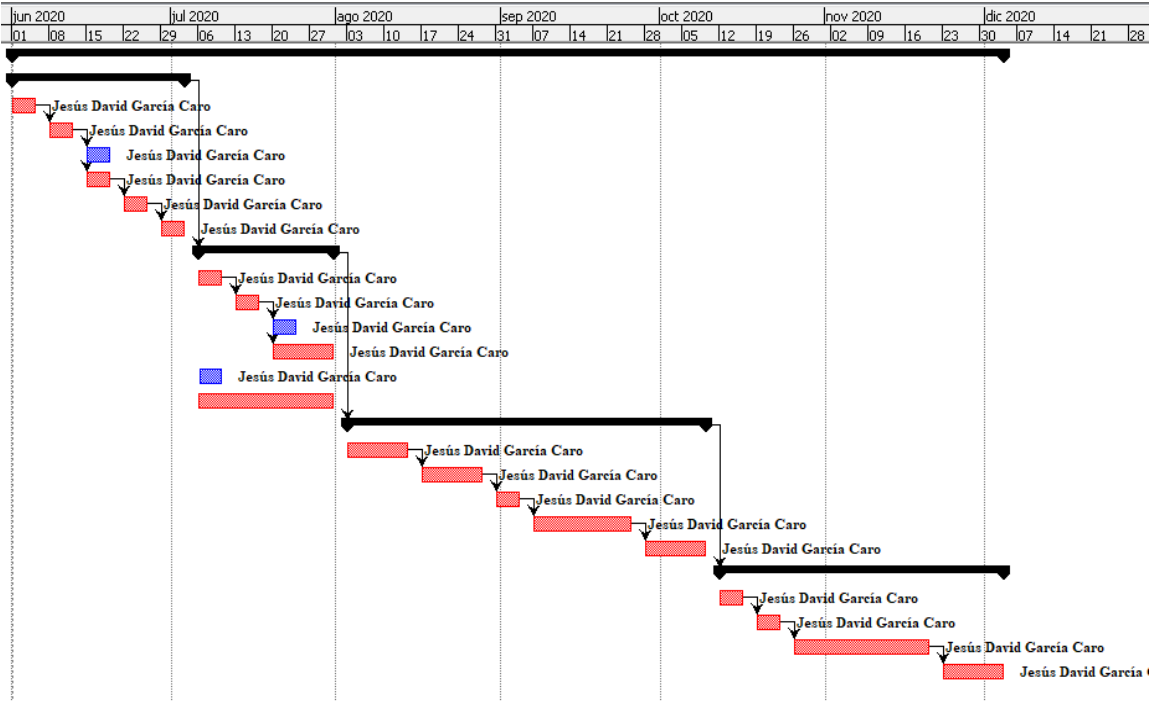


Ilustración 3. Diagrama de Gantt.

		Nombre	Duracion	Inicio	Terminado	Predecesores
1		Sistema de monitoreo para inverna...	270 days	1/06/20 08:00 AM	4/12/20 05:00 PM	
2		Identificación	50 days	1/06/20 08:00 AM	3/07/20 05:00 PM	
3		Consultar tipo de software libre existe...	10 days	1/06/20 08:00 AM	5/06/20 05:00 PM	
4		Consultar tipo de Hardware (Tarjetas ...	10 days	8/06/20 08:00 AM	12/06/20 05:00 PM	3
5		Consultar módulos que se adaptan a l...	10 days	15/06/20 08:00 AM	19/06/20 05:00 PM	4
6		Consultar acerca de los sensores que ...	10 days	15/06/20 08:00 AM	19/06/20 05:00 PM	4
7		Consultar diferentes diseños de proto...	10 days	22/06/20 08:00 AM	26/06/20 05:00 PM	6
8		Consultar información sobre la fisiologí...	10 days	29/06/20 08:00 AM	3/07/20 05:00 PM	7
9		Diseño	40 days?	6/07/20 08:00 AM	31/07/20 05:00 PM	2
10		Diseño del algoritmo para medir parám...	10 days	6/07/20 08:00 AM	10/07/20 05:00 PM	
11		Diseñar la base de datos con control d...	10 days	13/07/20 08:00 AM	17/07/20 05:00 PM	10
12		Realización de planos para el prototipo.	10 days	20/07/20 08:00 AM	24/07/20 05:00 PM	11
13		Realizar el esquema técnico del proyect...	20 days	20/07/20 08:00 AM	31/07/20 05:00 PM	11
14		Cotización y compra de materiales (pr...	9,25 days?	6/07/20 11:00 AM	10/07/20 05:00 PM	
15		Diseño de Frontend y Backend de la pl...	40 days	6/07/20 08:00 AM	31/07/20 05:00 PM	
16		Desarrollo	100 days	3/08/20 08:00 AM	9/10/20 05:00 PM	9
17		Realizar la construcción del prototipo ...	20 days	3/08/20 08:00 AM	14/08/20 05:00 PM	
18		Realizar la construcción del prototipo i...	20 days	17/08/20 08:00 AM	28/08/20 05:00 PM	17
19		Implementación de frontend y backen...	10 days	31/08/20 08:00 AM	4/09/20 05:00 PM	18
20		Integrar prototipos, protocolo de co...	30 days	7/09/20 08:00 AM	25/09/20 05:00 PM	19
21		Migración del desarrollo a servidores e...	20 days	28/09/20 08:00 AM	9/10/20 05:00 PM	20
22		Evaluación IEEE 1012	80 days	12/10/20 08:00 AM	4/12/20 05:00 PM	16
23		Identificar las fases que se deben cu...	10 days	12/10/20 08:00 AM	16/10/20 05:00 PM	
24		Validación del software mediante el es...	10 days	19/10/20 08:00 AM	23/10/20 05:00 PM	23
25		Evaluar el prototipo mediante los pará...	40 days	26/10/20 08:00 AM	20/11/20 05:00 PM	24
26		Realizar mejoras de acuerdo a los res...	20 days	23/11/20 08:00 AM	4/12/20 05:00 PM	25

Ilustración 4. Matriz EDT.

1.7.3. Desarrollo tecnológico

Para el desarrollo del plan de trabajo tecnológico se identifican cuatro fases fundamentales, cada una de las fases contempla una serie de actividades, tareas o procesos para su respectiva planificación dentro del marco tecnológico del proyecto.

Identificación

- Consultar protocolo de comunicación MQTT y entender su funcionamiento.
- Consultar acerca de servidores mosquitto, procesos de instalación y requerimientos técnicos.
- Consultar máquinas virtuales con sistema operativo Open Source y mínimas características.
- Consultar implementación de servidores en la nube como Amazon Web Services, Google Cloud Plataform, Azure y Oracle Cloud.
- Selección de tarjeta de adquisición de datos con módulo WIFI y sensores para medición de variables como: temperatura, humedad, ph y nivel de agua dependiendo el fabricante o proveedor que mejor se ubica en el cuadrante de gartner.

Diseño

- Diseño de arquitectura de red para envío y transmisión de información con protocolo MQTT.
- Requerimientos mínimos técnicos a nivel de capacidad del servidor y la infraestructura en la nube para un correcto funcionamiento de hardware como: un vCPU desde 1.6Ghz, memoria RAM de 4GB y disco duro de 120GB.
- Realización de diagramas de flujo funcionamiento técnico del sistema de monitoreo.
- Diseño del entorno gráfico Frontend y Backend de la plataforma web para la interfaz de usuario programando en Javascript, HTML, python, php y C++.
- Canal de internet con un ancho de banda de mínimo 2MB para la transferencia de información e interacción del usuario con los servicios en la nube.

Desarrollo

- Implementación de frontend y backend de la plataforma web para la interfaz de usuario.
- Integrar prototipo, protocolo de comunicación, algoritmo, base de datos y plataforma web.
- Migración del desarrollo a servidores en entornos en la nube con las plataformas anteriormente descritas.

Verificación

- Pruebas de funcionalidad del servidor virtual instalado en una plataforma nube.
- Pruebas de conectividad entre el servidor virtual, el protocolo de comunicación MQTT y tarjeta de adquisición.
- Pruebas de funcionamiento de los sensores de humedad, pH, temperatura y nivel de agua.
- Pruebas de estrés y de carga de datos por 2 dos horas para revisar el comportamiento de la plataforma física.
- Pruebas de adquisición de datos en forma Online y offline.

1.8. Plan de costos

A continuación se evidencia el plan de costos de acuerdo con la implementación del sistema de monitoreo Del Huerto acorde con la realización del proyecto.

CONCEPTO	VALOR UNITARIO	UNIDAD	SUB TOTAL	RECURSO: PROPIO/UNIVERSIDAD
Prototipo Estructural	\$ 300.000	1	\$ 300.000	P
Hardware	\$ 300.000	1	\$ 300.000	P
Plataforma Web	\$400.000	1	\$ 400.000	P
Mano de Obra	\$ 26.000 / hora	480	\$ 12.480.000	P

Capacitación	\$ 26.000 / hora	20	\$520.000	P
Servidor	\$25.000 / mes	6	\$150.000	P
Licencias Software	\$0	3	\$0	U
Servicios (Internet, luz)	\$100.000 / mes	6	\$600.000	P
Transporte	\$100.000	1	\$100.000	P
Base de datos para revisión de literatura	\$0	1	\$0	U
Holgura	\$300.000	1	\$300.000	P
TOTAL			\$ 15.150.000	

Tabla 8. Plan de costos.

1.9. Conclusiones

- El uso de tecnología moderna como MQTT es indispensable al momento de tecnificar la agricultura para asegurar mayor productividad en los cultivos y eficiencia en la toma de decisiones y aprovechamiento de los recursos naturales.
- Del Huerto permite plantaciones a pequeña escala de cultivos orgánicos, con el objetivo de un mínimo consumo de recursos y la máxima eficiencia. Con el diseño del prototipo, se fomenta el uso eficaz de los recursos hídricos, el ahorro de tiempo, abastecimiento de productos orgánicos de la canasta familiar y tener cada vez más plantas en la misma área horizontal, por todo esto aumentar la eficacia y el uso de materiales reciclables.

- Basándose en los antecedentes obtenidos a lo largo de los artículos científicos y trabajos de grado se desarrollan diferentes sistemas de monitoreo y control para diferentes tipos de cultivos orgánicos enfocados áreas urbanas. Los sistemas de monitoreo y control para invernaderos permiten a las plantaciones de pequeña y gran escala maximizar de forma eficiente el consumo de recursos naturales y potenciar el uso de TICs. Con el diseño del prototipo, se fomenta el uso eficaz de los recursos hídricos, el ahorro de tiempo, abastecimiento de productos orgánicos y tener cada vez más plantas en la misma área horizontal, por todo esto aumentar la eficacia y el uso de materiales reciclables.
- La automatización en procesos de producción garantiza la ejecución de las actividades en el momento adecuado, lo cual influye directamente en la calidad del producto y disminuye las horas de trabajo empleadas en la producción de productos orgánicos. Los cuales utilizan diferentes tarjetas de adquisición de datos (Arduino, Raspberry, Pi, Texas Instruments), tipos de sensores (Humedad, Temperatura, pH, Tensiómetros), varios protocolos de comunicación (MQTT, Zigbee) enfocados al internet de las cosas (IoT), se crean un sistemas de administración remota utilizando software de código abierto y servicios de comunicación de bajo ancho de banda.

1.10. Recomendaciones

- Entre mayor calidad tengan los instrumentos de medición aumentara la precisión en la medición de los datos y así mismo la calidad información para su respectivo análisis.
- Escoger la plataforma en la nube que garantice la menor latencia posible para con esto disminuir los tiempos de respuesta.
- Seleccionar la tarjeta de programación si garantiza la cantidad suficiente de entradas, procesamiento de información, interfaces de comunicación como WIFI o LAN.
- Se recomienda tener una transferencia de conocimiento antes de la interacción con las plataformas.
- Realizar el trámite de patentes para obtener las certificaciones de los entes de control.

Lista de referencias

- Nyoman Kusuma Wardana, Padma Nyoman Crisnapati, I Wayan Aditya Suranata. (2018). *IoT-based Drip Irrigation Monitoring and Controlling System using NodeMCU and Raspberry Pi* (Bali, 2018).
- Hashimoto, Y., Arita, D., Shimada, A., Yoshinaga, T., Okayasu, T., Uchiyama, H., & Taniguchi, R.-I. (2018). *Yield Visualization Based on Farm Work Information Measured by Smart Devices*.
- Rodríguez Ramírez, J. A. (2006). *Diseño de un sistema inalámbrico para el monitoreo en tiempo real de temperatura y humedad relativa bajo invernadero*.
- Mamani, M., Villalobos, M., & Herrera, R. (2017). *Sistema web de bajo costo para monitorear y controlar un invernadero agrícola*. *Ingeniare*. Revista chilena de ingeniería, 25(4), 599-618.
- Bustos Palacios, D. A. (2017). *Propuesta de un sistema de control y automatización con administración remota a través de un smartphone android para el riesgo del cultivo de lechuga en la finca los almendros del departamento de Jinotega en el año 2017 (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua)*.
- Suárez Barón, J. C., & Suarez Baron, M. J. (2014). *Monitoreo de variables ambientales en invernaderos usando tecnología ZIGBEE*. In *XLIII Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa (43JAIIO)-VI Congreso Argentino de AgroInformática (CAI)*. (Buenos Aires, 2014).
- Kennedy, A., Bertao, D., Arrúa, J., & Ayala, K. (2016). *Prototipo de sistema de monitoreo y control para producción de tomate en invernadero*.
- Hashimoto, Y., Arita, D., Shimada, A., Yoshinaga, T., Okayasu, T., Uchiyama, H., & Taniguchi, R.-I. (2018). *Yield Visualization Based on Farm Work Information Measured by Smart Devices*.

Kaori Uehara, Hiromichi Ikeda, Akashi Satoh. (2019). "*Sistema de gestión de fertilizantes para una sembradora hidropónica compacta*", Consumer Electronics (GCCE) IEEE 8th Global Conference on , pp. 1018-1022.

Francisco Javier Ferrández-Pastor, Juan Manuel García-Chamizo, Mario Nieto-Hidalgo, Jerónimo Mora-Pascual, and José Mora-Martínez. (2016). *Developing Ubiquitous Sensor Network Platform Using Internet of Things: Application in Precision Agriculture*.

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: *Diccionario de la lengua española*, 23.^a ed., [versión 23.3 en línea]. <<https://dle.rae.es>> [20-05-2020].

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, «EL MANEJO DEL SUELO EN LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS CON BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS,» FAO, 2013.

Congreso de la República. Ley N° 101. Diario Oficial No. 41.149, de 23 de diciembre de 1993 Colombia.

Congreso de la República. Ley 1876. Diario Oficial No. 50.461 de 29 de diciembre de 2017 Colombia.

Congreso de la República. ley 1286. Diario Oficial No. 47.241 de 23 de enero de 2009. Colombia.

Congreso de la República. Ley 1581. Diario Oficial No. 48.587 de 18 de octubre de 2012. Colombia.

Zhang, Q. (2016). Precision Agriculture Technology for Crop Farming. Qin Zhang. <https://library.oapen.org/viewer/web/viewer.html?file=/bitstream/handle/20.500.12657/41698/9781482251081.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

AHLSTRÖM, L., & Zahra, M. (2012). Integrating a Greenhouse in an Urban Area. Chalmers University of technology. <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/154595.pdf>