

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

SISTEMA AUTOMATIZADO IOT PARA RIEGO Y MONITOREO DE
PLANTACIÓN DE PLÁTANO MEDIANTE TECNOLOGÍA MESH WIFI

INGE-2742

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Telecomunicaciones

Presentado por:

David Fernando Durazno Tinizhañay

Washington Fabián Muñoz Zúñiga

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

A Dios, mi mayor agradecimiento, por permitirme llegar hasta aquí.

A mi mamá, Victoria, mi pilar y fuente de fortaleza, por su amor incondicional, por enseñarme a luchar siempre y a nunca rendirme.

A mi papá, Fabián, por su apoyo constante, su fe en mí y por siempre brindarme su confianza.

A mis hermanas, Vicky, Roxanna y Fabiana, y a mis queridas sobrinas, Geraldine y Sheena, por su cariño, sus sonrisas que siempre me levantan el ánimo y por ser mi fuente de motivación.

A a todos mis demás familiares, primos, tías y tíos, gracias por estar siempre presentes, por su confianza y por ser parte fundamental de este logro. Este éxito es tanto mío como suyo.

Washington Fabián Muñoz Zúñiga

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico, en primer lugar, a Dios, por darme el talento, la claridad y la sabiduría para avanzar y no rendirme ante todas las adversidades. A mis padres, José Durazno y María Tinizhañay, quienes han sido parte fundamental de mi crecimiento personal y por los buenos valores que me inculcaron desde temprana edad.

David Fernando Durazno Tinizhañay

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a todas las personas que fueron parte de este proceso de convertirme en ingeniero.

A mi madrina, Marianita, que siempre estuvo pendiente de mí, dándome su cariño, sabiduría y apoyo incondicional.

A todos los docentes y mentores que, con su conocimiento y dedicación, me guiaron y me inspiraron a seguir aprendiendo y creciendo.

A Ing. Braulio Castillo, gracias por tu colaboración en este proyecto.

A mis valiosos amigos, quienes siempre me ofrecieron su apoyo y buenos deseos.

Y a todos mis compañeros de ESPOL, con los cuales pasamos grandiosos momentos y nos apoyamos mutuamente.

Washington Fabián Muñoz Zúñiga

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a todos mis compañeros y amigos que formaron parte de mi vida académica. A mi jefe, y compañeros de trabajo de la empresa Xtrim, quienes colaboraron a su manera para que pueda continuar ejerciendo mi vida universitaria de la mano de mi vida laboral. Finalmente, y no menos importante, quiero agradecer a la persona que siempre se mostró dispuesta a colaborar en lo mínimo y en lo máximo con tal de solventar cualquier problema que se presentara. Gracias, Mabel López.

David Fernando Durazno Tinizhañay

Declaración Expresa

Nosotros Durazno Tinizhañay David Fernando y Muñoz Zúñiga Washington Fabián acordamos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

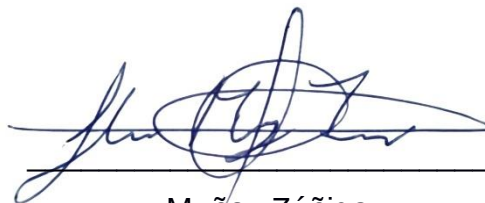
La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autores/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 13 de octubre del 2024.

A stylized handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the end.

Durazno Tinizhañay
David Fernando

A handwritten signature in blue ink, featuring a large circular loop and a long horizontal stroke extending to the right.

Muñoz Zúñiga
Washington Fabián

Evaluadores

Ph.D Álvarez Villanueva María

Antonieta

Profesor de Materia

Ph.D Avilés Castillo Juan Carlos

Tutor de proyecto

RESUMEN

El proyecto de titulación propone el desarrollo de un sistema IoT automatizado para el riego y monitoreo remoto de una plantación de plátano ubicada en la parroquia Roberto Astudillo, cantón Milagro, provincia del Guayas. El objetivo es optimizar el uso de recursos hídricos mediante el control en tiempo real del riego. El sistema, basado en sensores de humedad, precipitaciones y radiación UV, activa automáticamente una bomba hidráulica cuando detecta niveles mínimos de humedad en el suelo, evitando el riego innecesario en caso de lluvias o radiación UV elevada. Se utilizaron tecnologías IoT y una red Mesh Wifi para la recopilación y transmisión de datos de los sensores hacia el servidor, lo que permite el monitoreo remoto de las variables ambientales. Además, el sistema se alimenta con baterías recargadas por energía solar, lo que lo convierte en una solución sostenible. Los principales resultados demostraron que el sistema es capaz de regular de manera eficiente el riego, mejorando el uso del agua en la plantación de plátano. En conclusión, el uso de herramientas tecnológicas facilita un control ambiental más eficiente, promoviendo una gestión hídrica consciente y responsable en el sector agrícola.

Palabras Clave: IoT, riego automatizado, Mesh WiFi, sostenible.

ABSTRACT

The graduation project proposes the development of an automated IoT system for irrigation and remote monitoring of a banana plantation located in the Roberto Astudillo parish, Milagro canton, Guayas province. The objective is to optimize the use of water resources through real-time irrigation control. The system, based on humidity, rainfall, and UV radiation sensors, automatically activates a hydraulic pump when it detects minimum moisture levels in the soil, preventing irrigation in case of rain or high UV radiation. IoT technologies and a Mesh WiFi network were used for the collection and transmission of sensor data to the server, enabling remote monitoring of environmental variables. Additionally, the system is powered by solar-recharged batteries, making it a sustainable solution. The main results showed that the system efficiently regulates irrigation, improving water usage in the banana plantation. In conclusion, the use of technological tools facilitates more efficient environmental control, promoting conscious and responsible water management in the agricultural sector.

Keywords: IoT, automated irrigation, Mesh WiFi, sustainable.

ÍNDICE

Resumen	I
Abstract	II
Abreviaturas	VI
Simbología.....	VII
Índice de figuras	VIII
Capítulo 1	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del Problema.....	2
1.2 Justificación del Problema	3
1.3 Objetivos	5
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	5
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	5
1.4 Marco teórico	6
1.4.1 <i>Agricultura Tradicional</i>	6
1.4.2 <i>Agricultura 5.0</i>	7
1.4.3 <i>Riego en la Agricultura</i>	8
1.4.4 <i>Internet de las Cosas (IoT)</i>	11
1.4.5 <i>Tecnologías de comunicación inalámbricas</i>	13
Capítulo 2	15
2. Diseño del sistema.....	15
2.1 Alternativas de solución del problema.....	15
2.2 Diseño conceptual del sistema	16
2.3 Esquema de bloque del sistema.....	17
2.4 Componentes electrónicos	19

2.4.1	<i>Módulo Esp32 Wi-Fi Bluetooth Devkit (V1)</i>	19
2.4.2	<i>Sensor de Humedad de suelo YL-69</i>	20
2.4.3	<i>Sensor de luz ultravioleta (Guva-s12sd)</i>	21
2.4.4	<i>Sensor de lluvia YL-83</i>	22
2.4.5	<i>Raspberry Pi 4 Model B</i>	23
2.5	<i>Diagrama de comunicaciones</i>	24
2.5.1	<i>Diagrama de bloques de comunicación Mesh Wi-Fi</i>	24
2.5.2	<i>Comunicación del ESP32 con los nodos sensor</i>	26
2.5.3	<i>Comunicación del ESP32 con el nodo actuador</i>	27
2.5.4	<i>Comunicación Raspberry Pi 4 (Gateway)</i>	28
2.5.5	<i>Diagrama de suministro energético mediante energía solar</i>	29
2.6	<i>Placa PCB</i>	30
Capítulo 3		32
3.	<i>Resultados y análisis</i>	32
3.1	<i>Distribución de nodos estratégicos</i>	32
3.1.1	<i>Nodos sensores</i>	33
3.1.2	<i>Nodo actuador</i>	37
3.1.3	<i>Nodo Gateway</i>	38
3.2	<i>Resultados</i>	41
3.2.1	<i>Humedad del suelo</i>	41
3.2.2	<i>Radiación UV</i>	44
3.2.3	<i>Comunicación y conectividad de los nodos</i>	45
3.3	<i>Impacto en la eficiencia del riego</i>	45
3.3.1	<i>Reducción del consumo de agua</i>	45
Capítulo 4		47

4.	Conclusiones y recomendaciones	47
4.1	Conclusiones.....	47
4.2	Recomendaciones	48
	Referencias	49
	Apéndices.....	52

ABREVIATURAS

AE	Agricultura Empresarial
AFC	Agricultura Familiar Campesina
AI	Inteligencia Artificial
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
IoT	Internet of Things / Internet de las cosas
MAGAP	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
ONU	Organización de Naciones Unidas
PCB	Printed Circuit Board / Placa de circuito impreso
TIC	Tecnologías de la Información y Comunicación

SIMBOLOGÍA

°C	Grados Centígrados
A	Amperio
am	Ante meridiano
bar	Presión en barias
d.C	Después de cristo
dB	Decibelios
Hz	Hertz
L	Litros
L/h	Litros por hora
m	Metro
mm	Milímetro
pm	Post meridiano
V	Voltio
W	Watts

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 <i>Esquema de riego por surcos</i> [9].....	10
Figura 1.2 <i>Esquema del riego por goteo automatizado</i> [10].....	11
Figura 1.3 <i>Etapas del funcionamiento IoT</i> [12]	12
Figura 1.4 <i>Tecnologías de comunicación inalámbricas</i> [13].....	13
Figura 1.5 <i>Despliegue de una red mesh Wifi avanzada</i> [14].....	14
Figura 2.1 <i>Sistema IoT de riego y monitoreo remoto de huertos agrícolas</i>	17
Figura 2.2 <i>Esquema visual de funcionamiento del sistema IoT (etapa 1-4)</i>	18
Figura 2.3 <i>Módulo Esp32 Wi-Fi Bluetooth Devkit</i> [15]	19
Figura 2.4 <i>Sensor YL-69</i> [16]	20
Figura 2.5 <i>Sensor Guva-s12sd</i> [17]	21
Figura 2.6 <i>Sensor YL-83</i> [18]	22
Figura 2.7 <i>Módulo Raspberry Pi 4 Model B</i> [19]	23
Figura 2.8 <i>Diagrama de bloque de comunicación</i>	24
Figura 2.9 <i>Esp-mesh nodo sensor</i>	26
Figura 2.10 <i>Esp-mesh nodo actuador</i>	27
Figura 2.11 <i>Esp-mesh gateway</i>	28
Figura 2.12 <i>Diagrama de suministro energético</i>	29
Figura 2.13 <i>Vista 3D de la placa nodo sensor</i>	30
Figura 2.14 <i>Vista 3D de la placa nodo actuador</i>	30
Figura 2.15 <i>Vista 3D de la placa esp32-gateway</i>	31
Figura 3.1 <i>Vista satelital de la hacienda y los nodos implementados</i>	32
Figura 3.2 <i>Distancia entre nodos</i>	32
Figura 3.3 <i>Nodos sensores</i>	33
Figura 3.4 <i>Nodo sensor y caja plástica</i>	34
Figura 3.5 <i>Estructura Nodo sensor</i>	35
Figura 3.6 <i>Instalación nodo sensor 1 y 2</i>	35
Figura 3.7 <i>Instalación nodo sensor 3 y 4</i>	36
Figura 3.8 <i>Instalación nodo sensor 5</i>	36
Figura 3.9 <i>Nodo actuador pcb</i>	37

Figura 3.10 <i>Nodo actuador pcb y caja plástica</i>	38
Figura 3.11 <i>Nodo gateway (esp32 y modulo Raspberry pi 4)</i>	39
Figura 3.12 <i>Nodo gateway en la caja plástica</i>	39
Figura 3.13 <i>Red mesh wifi de trabajo</i>	40
Figura 3.14 <i>Alerta Telegram</i>	41
Figura 3.15 <i>Porcentaje de humedad promedio día 1 (enero 13, 2025)</i>	42
Figura 3.16 <i>Porcentaje de humedad promedio día 2 (enero 14, 2025)</i>	43
Figura 3.17 <i>Porcentaje de humedad promedio semanal (13-19 de enero, 2025)</i>	43
Figura 3.18 <i>Valor promedio de índice UV</i>	44
Figura 3.19 <i>Cantidad en litros de agua utilizada</i>	46

Capítulo 1

1. Introducción

La agricultura en el Ecuador presenta una estructura dividida entre la Agricultura Empresarial (AE) y la Familiar Campesina (AFC). La AE tiene el 80% que se compone de la tierra y el 63% del agua para riego, orientando su producción hacia la agroexportación con un uso intensivo de agroquímicos. En contraste, la AFC con el 84.5% de las Unidades de Producción Agrícolas y produce el 64% del alimento nacional, dedicándose mayormente a la satisfacción de necesidades básicas [1]. La Constitución de 2008 y la Ley de Soberanía Alimentaria priorizan a los pequeños productores y buscan mejorar su acceso a activos productivos, derechos al agua y tecnología, promoviendo políticas que favorezcan a la agricultura campesina con el objetivo de garantizar la disponibilidad de alimentos y disminuir la desigualdad en el acceso a recursos agrarios, según se menciona en [2].

En la comunidad agrícola de Roberto Astudillo, del cantón Milagro, provincia del Guayas, Ecuador, la producción de plátano constituye una de las principales fuentes de ingreso económico para sus habitantes. Sin embargo, los métodos tradicionales de riego en esta región no logran cubrir adecuadamente las necesidades del cultivo, resultando en una distribución ineficiente del agua, lo cual afecta tanto la calidad de la producción como la sostenibilidad local de agua.

A nivel mundial, la implementación de sistemas de riego inteligentes y automatizados ha ganado gran popularidad en la industria agrícola, ya que facilitan aprovechar el agua y optimizar la calidad y producción de los cultivos. Estos sistemas reducen los desperdicios asociados con métodos convencionales, como el riego manual o el uso excesivo de fertilizantes, y contribuyen al medio ambiente, un aspecto cada vez muy crucial en la agricultura sostenible.

Por estas razones, la implementación de un método de riego automático basado en tecnologías de la información y comunicación (TIC) y dispositivos de Internet de las Cosas (IoT) representa una ocasión para innovar en la gestión del agua en las plantaciones de plátano de Roberto Astudillo. Este proyecto busca desarrollar una solución tecnológica que permita aumentar la eficiencia en los sistemas de riego, reduciendo el uso excesivo de agua y, al mismo tiempo, aumentando la productividad y sostenibilidad de esta actividad económica clave para la región.

1.1 Descripción del Problema

El sector agrícola en el Ecuador es vital para el desarrollo del país, en lo económico representa un 8,04% del producto interno bruto (PIB) en cuanto a lo laboral esta actividad llega a ofrecer hasta más de un 30% de empleos con relación a la población económicamente activa se indica en [3]. Sin embargo, se estima que los procesos de riego en plantaciones son ineficientes, dado que no se dispone de una medición precisa de los recursos hídricos destinados a esta actividad, ni se toma en cuenta con mayor exactitud como los factores ambientales intervienen directamente en

la problemática al no poseer instrumentos modernos que permitan establecer dichas mediciones y correlacionar con el correcto uso de los medios, de tal manera que, se pueda obtener mejores resultados que representan mayores ingresos económicos en estas actividades agropecuarias minimizando el impacto ambiental.

En la actualidad, el país sufre un estiaje de gran magnitud, el volumen de agua de los ríos más importantes del país se encuentra en niveles muy por debajo de lo habitual, por lo que los recursos hídricos que se usan para actividades agrícolas se ven afectados, por tal motivo, es importante tener consciencia sobre buenas prácticas de riego, que permitan optimizar este recurso no renovable que es muy importante para el progreso de las actividades agrícolas y de la vida misma.

Fincas de todo el país, pequeños productores y jornaleros se han visto afectados en el devenir histórico por el mal uso, inconsciente muchas veces. Este es el caso, que el cliente propietario de la locación agrícola en la que damos solución a las prácticas tradicionales de riego se mostró con total apertura y un apoyo total por la solución implementada.

1.2 Justificación del Problema

Los procesos agrícolas han evolucionado a la par con la forma de vida del ser humano, hasta la actualidad, que incluso se han integrado soluciones tecnológicas para mejorar el sector agroindustrial y la eficiencia de producción de los alimentos. Sin embargo, en muchos países en vía de desarrollo, aunque se ha buscado la mejora de los procesos, se siguen usando métodos tradicionales o que no conllevan uso de

tecnología de ninguna forma. Por ello, es de vital importancia entender que buscar administrar los recursos de manera eficiente y mejorar los procesos agrícolas puede resultar mejor integrando tecnologías actuales que ayudan en este ámbito.

Tener un sistema de monitoreo automatizado que incluya IoT es de gran importancia y permite optimizar los recursos, además de tener un mejor control sobre las plantaciones agrícolas. Los pequeños productores, como lo son aquellos que poseen fincas menores a la extensión de 2 hectáreas, usan métodos de riego análogos y sin tomar en cuenta las cantidades precisas de agua que requieren sus plantaciones, por lo que el sistema brinda muchos beneficios tanto económicos como ambientales, que se representan en ahorro monetario al manejar de forma más eficiente los recursos hídricos y disminución del impacto medioambiental, más aún, teniendo en cuenta que el agua, si no se controla su uso, tratamiento y liberación podría llegar a convertirse en un recurso no renovable.

El sistema brinda la oportunidad para aquellos agricultores que muchas veces se ven afectados por condiciones ambientales adversas como lo son las sequías y los estiajes, y lo hace mediante el control automático de riego en plantaciones a partir de la humedad necesaria requerida por los cultivos. Además, es importante indicar que el sistema permite acceder al historial de los datos arrojados por los sensores en dichas plantaciones, lo cual permite entonces tener un mejor control sobre estos y tomar mejores decisiones acerca del cuidado de las plantaciones en función de las nuevas formas de agricultura sostenible que usan tecnologías innovadoras para un mejor control en el proceso de producción de productos agrícolas.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general*

- Diseñar un sistema IoT automatizado que controle el riego en una plantación de plátano mediante el uso de sensores de humedad, precipitaciones y radiación ultravioleta, y que transmita los datos en tiempo real a través de una red Mesh Wifi, con el propósito de regular de manera eficiente el uso del agua.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- Investigar sistemas IoT y tecnologías de control ambiental disponibles en el mercado, con la intención de señalar las soluciones óptimas para implementar en la plantación de plátano, considerando la eficiencia y viabilidad técnica.
- Diseñar el sistema de monitoreo ambiental más adecuado utilizando sensores de humedad, precipitaciones y radiación ultravioleta, así como una red Mesh Wifi para la transmisión de datos en vivo, asegurando la conectividad del sistema.
- Disminuir las pérdidas de los recursos hídricos por la poca eficiencia en el sistema de riego, mediante la integración de una bomba hidráulica controlada automáticamente por el sistema IoT, activando el riego solo cuando los sensores detecten condiciones necesarias, mejorando así la gestión del agua en la plantación de plátano.

1.4 Marco teórico

1.4.1 *Agricultura Tradicional*

La agricultura tradicional existe desde hace mucho tiempo, desde aquel entonces, los campesinos han adaptado la agricultura tradicional para lidiar con la incertidumbre climática, implementando prácticas como el cultivo en diferentes parcelas, la rotación de cultivos, la elección de semillas resistentes y labores como la caza y la pesca para complementar su sustento [4]. Estas medidas buscan asegurar la subsistencia frente a riesgos imprevisibles. No obstante, a partir del siglo XX, la revolución verde y la presión por transformar la agricultura en una actividad comercial han llevado a muchos agricultores a dejar de lado sus conocimientos tradicionales y optar por monocultivos, lo que ha alterado sus sistemas ambientales y, frecuentemente, ha tenido consecuencias desfavorables.

El cultivo de banano es la columna vertebral de la economía ecuatoriana. En 2010, el país exportó más de 4 millones de toneladas de esta fruta, convirtiéndose en el principal proveedor mundial. Estas exportaciones generan ingresos anuales cercanos a los 2 mil millones de dólares, aportando significativamente al PIB nacional y al empleo [5]. Asimismo, se habla acerca del impacto económico y social:

PIB: La actividad bananera representa casi el 4% del PIB total de Ecuador y más del 50% del PIB agrícola.

Exportaciones: El banano ecuatoriano se exporta a diversos mercados, siendo Estados Unidos, la Unión Europea y Rusia los principales destinos.

Empleo: La industria bananera genera nuevos empleos en distintas áreas para aproximadamente el 17% de la población ecuatoriana, beneficiando a más de un millón de familias.

El banano es un cultivo estratégico para Ecuador, impulsando su economía, generando empleo y posicionando al país como el principal productor y exportador mundial de esta fruta.

1.4.2 Agricultura 5.0

La Agricultura 5.0 representa una nueva era en el sector agrícola que se basa en la adopción de la robótica y de la inteligencia artificial (IA) para optimizar la industria alimentaria. Más allá de maximizar la cantidad de productos, esta visión se centra en la agricultura de precisión: un modelo basado en datos que permite asignación exacta de recursos para fortalecer la salud pública, aumentar la sostenibilidad y hacer que las operaciones agrícolas sean más eficientes y rentables. Con la consolidación de datos y el uso de sensores avanzados, los agricultores pueden monitorizar el suelo, los cultivos y las condiciones ambientales en tiempo real, lo cual facilita una gestión de recursos más cuidadosa y reduce la necesidad de insumos como pesticidas y herbicidas.

La Agricultura es especialmente relevante para América Latina, una región donde el sector agrícola es fundamental para la economía y el empleo. Países como Argentina, Colombia, Brasil y México ya son líderes en producción agrícola global, y la adopción de estas nuevas tecnologías podría fortalecer aún más su competitividad en el mercado mundial. Frente a la proyección de crecimiento poblacional estimada por la ONU, que

prevé más de 10 mil cuatrocientos millones de personas para el año 2100 [6], la Agricultura 5.0 busca asegurar un suministro suficiente de alimentos mientras se siguen pautas de producción sostenible y se protege el medio ambiente. Así, este modelo no solo se enfoca en la implementación de IoT y digitalización, como lo hizo la Agricultura 4.0, sino en la creación de sistemas autónomos que realicen labores agrícolas con mínima intervención humana, elevando la producción a un nuevo nivel de eficiencia y sostenibilidad.

Cuando se habla de integrar mejoras tecnológicas en la agricultura, se ofrecen una variedad de aplicaciones. Una de las tecnologías clave es el sistema Mesh WiFi, que permite una comunicación eficiente y continua entre los dispositivos IoT desplegados en el campo. A través de este sistema, los sensores distribuidos en las parcelas agrícolas recogen datos en tiempo real sobre el estado del suelo, los cultivos y las condiciones ambientales. Esta información se envía mediante la red Mesh WiFi, que facilita una cobertura amplia y estable en zonas rurales, incluso en áreas con infraestructura de red limitada [7].

1.4.3 Riego en la Agricultura

El riego en la agricultura es un procedimiento clave para el crecimiento adecuado de los cultivos, sobre todo en regiones con lluvias insuficientes para abastecer el agua que necesitan las plantas. La gestión eficiente del agua es crucial, ya que este recurso es limitado y debe utilizarse de manera óptima para maximizar la producción agrícola sin afectar negativamente al medio ambiente.

En el Ecuador, el riego tecnificado está transformando la agricultura, especialmente para pequeños y medianos productores, al optimizar el recurso hídrico. Aunque un 93% de estos productores aún utilizan métodos tradicionales de riego con baja eficiencia [8], por ello el uso de nuevos métodos en sistemas de riego que busquen minimizar este impacto, son esenciales si se busca evolucionar en una agricultura sostenible.

Los métodos de riego tradicionales en Ecuador, como el riego por gravedad, han sido utilizados durante siglos en la agricultura. En estos métodos, el agua se distribuye por acequias, surcos o canteros, y se infiltra en la tierra de manera superficial. Aunque estos sistemas son económicos, su eficiencia es limitada, ya que requieren gran cantidad de agua y tiempo, y en muchos casos, la distribución no es uniforme, lo que puede llevar al desperdicio de recursos hídricos. Además, la dependencia de las estaciones, especialmente en climas secos, hace que los agricultores tengan que esperar a la temporada de lluvias para cultivar.

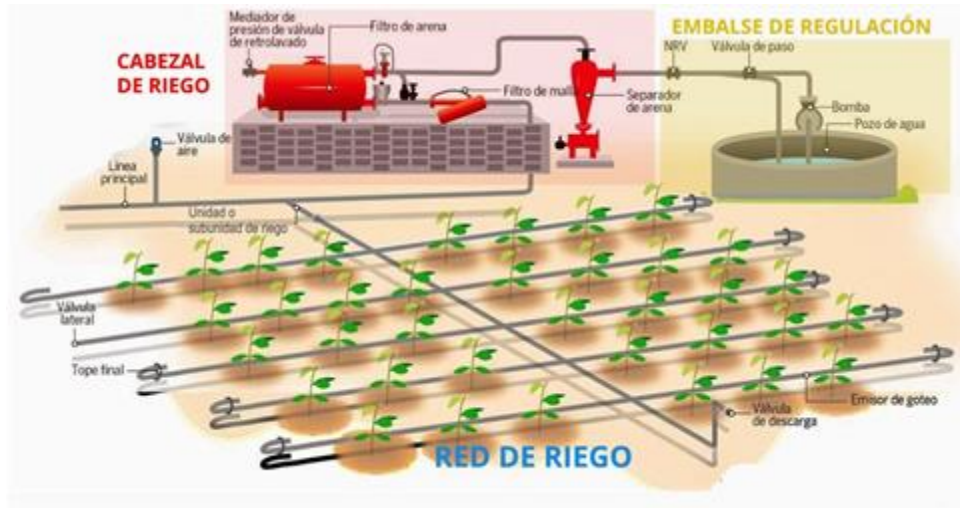
Figura 1.1

Esquema de riego por surcos [9]



En la figura 1.1 se aprecia el riego por surco, donde el agua corre en todos los surcos o canales, y se distribuye a lo largo de las hileras de cultivo, este sistema es simple y económico.

En contraste, los métodos de riego automáticos, como los sistemas por goteo, aspersión y microaspersión están revolucionando la manera en que los agricultores gestionan el agua. Estos sistemas están diseñados para optimizar el uso del agua, dirigiéndola directamente a las raíces de las plantas de manera eficiente. Los sistemas automatizados, a través de sensores y controladores, facilitan la programación del riego en función de las necesidades particulares de cada cultivo, lo que asegura un uso más racional del recurso hídrico y contribuye a la sostenibilidad agrícola.

Figura 1.2*Esquema del riego por goteo automatizado [10]*

La implementación de riego tecnificado como se aprecia en la figura 1.2 ha demostrado ser una solución eficaz para mejorar la producción y rentabilidad en la agricultura. Mediante la modernización de técnicas de irrigación, los productores no solo han logrado incrementar sus rendimientos, sino también diversificar sus cultivos y garantizar la producción durante todo el año.

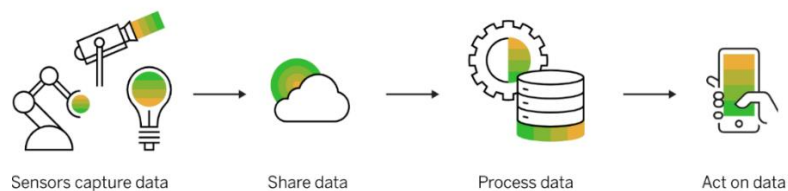
1.4.4 Internet de las Cosas (IoT)

Cuando se habla del Internet de las Cosas (IoT) se hace referencia al vínculo entre los objetos físicos cotidianos y la internet, permitiendo a los dispositivos como electrodomésticos, vehículos, dispositivos médicos o sistemas de ciudades inteligentes se comuniquen y transmitan datos. IoT facilita la conexión de varios dispositivos que recogen y procesan datos de manera constante, facilitando la automatización y optimización de tareas [11].

El funcionamiento del Internet de las Cosas (IoT) consta de cuatro etapas clave que se visualiza en la figura 1.3, lo que permite capturar, procesar y actuar sobre los datos generados por los dispositivos conectados:

Figura 1.3

Etapas del funcionamiento IoT [12]



- **Captura de datos:** Los dispositivos de IoT, equipados con sensores, capturan información de los alrededores. Esto incluye información, de humedad de suelos y espacios, o datos más complejos, como imágenes en tiempo real para un control vehicular.
- **Compartir los datos:** Una vez que los datos son capturados, se envían a través de conexiones de red (como Wi-Fi, 5G, etc.) a un sistema en la nube, a otro dispositivo o se almacenan localmente para su procesamiento.
- **Procesamiento de los datos:** Los datos recopilados se analizan mediante software que puede ejecutar acciones basadas en los resultados. Por ejemplo, puede activar una bomba de riego o enviarse una alerta si se detecta una condición específica.
- **Acción a partir de los datos:** Los datos procesados son analizados en conjunto con los de otros dispositivos dentro de la red de IoT. Esto permite tomar decisiones

informadas y realizar acciones automatizadas, como ajustar la temperatura, gestionar el consumo de energía o activar una alarma de seguridad.

1.4.5 Tecnologías de comunicación inalámbricas

En la actualidad, existen diversas tecnologías inalámbricas utilizadas en sistemas de comunicación. Estas tecnologías ofrecen ventajas como la conectividad en tiempo real, el ahorro de costos y la flexibilidad en su implementación, lo que las convierte en herramientas clave en la era digital. Cada tecnología tiene características propias, alcance, consumo de energía y capacidad de transmisión, lo que las hace más o menos adecuadas según las necesidades específicas de la aplicación.

Figura 1.4

Tecnologías de comunicación inalámbricas [13]



En la figura 1.4 se nombra los 4 principales sistemas utilizados para diversos campos de la información, dos de estos sistemas Wifi y Lora son utilizados de manera muy frecuente para el campo de la agricultura a nivel mundial.

Las redes Wi-Fi Mesh son sistemas de conexión que distribuyen la señal en el hogar a través de varios puntos de acceso, conocidos como nodos. Esto permite una

cobertura uniforme y evita zonas sin conexión o con señal débil, especialmente en hogares grandes o con múltiples paredes y pisos. Cada nodo se comunica de manera dinámica y optimiza la ruta de la señal hacia los dispositivos conectados.

Figura 1.5

Despliegue de una red mesh Wifi avanzada [14]



A diferencia de los repetidores tradicionales, los sistemas Mesh expuesto en la figura 1.6 proporciona una red continua sin interrupciones. Además, suelen ser fáciles de gestionar mediante aplicaciones móviles, lo que facilita la configuración, el monitoreo de dispositivos y el ajuste de preferencias de red.

CAPÍTULO 2

2. Diseño del sistema.

2.1 Alternativas de solución del problema

Para abordar la problemática del manejo ineficiente de recursos hídricos y monitoreo en la plantación de plátano, se formularon las siguientes alternativas:

- **Sistema de riego manual supervisado:** Consiste en la intervención directa de operarios para activar y supervisar el riego basado en observaciones visuales o herramientas básicas, como tensiómetros manuales agrícolas. Aunque esta alternativa minimiza costos iniciales, no asegura una distribución óptima del recurso hídrico ni facilita el monitoreo en tiempo real.
- **Sistema automático basado en temporizadores:** Implica la programación de tiempos fijos para la activación del riego. Aunque reduce la intervención humana, no responde dinámicamente a condiciones ambientales variables, como precipitaciones o cambios en la humedad del suelo.
- **Sistema IoT automatizado con red Mesh WiFi:** Esta alternativa utiliza nodos sensores para monitorear parámetros clave (humedad del suelo, lluvia y radiación UV), con comunicación basada en una red Mesh WiFi. Los datos recopilados por los nodos son procesados por un Gateway central (Raspberry Pi 4), que controla la activación del riego mediante un nodo actuador. Este sistema asegura una gestión eficiente y adaptable de los recursos hídricos, con monitoreo remoto y acceso a los datos.

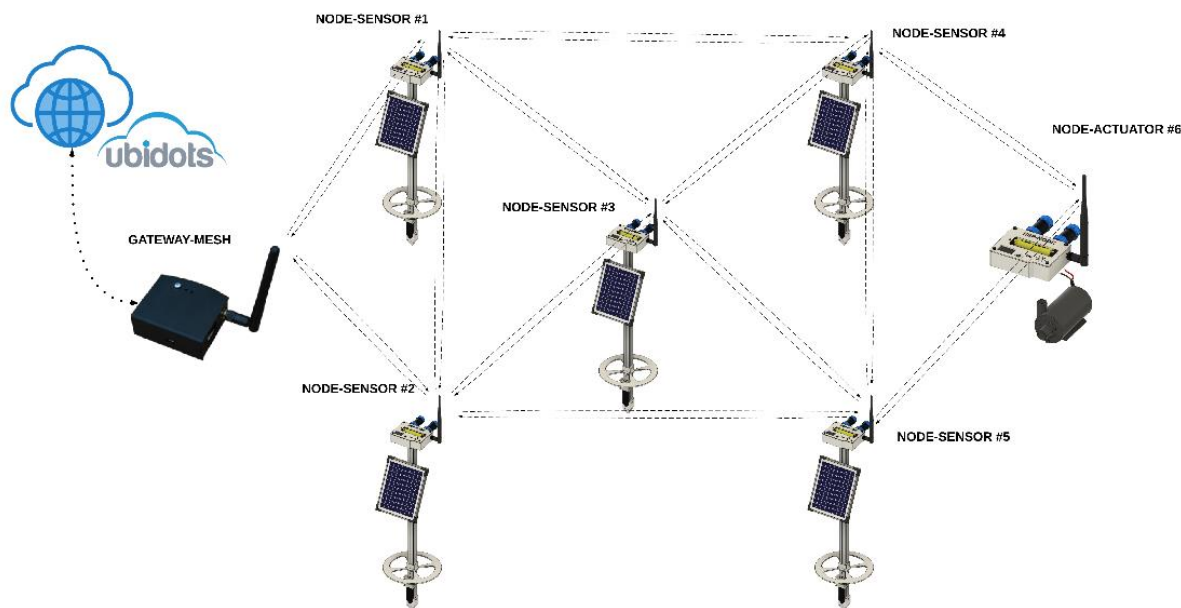
Finalmente, se seleccionó la tercera alternativa debido a su capacidad para optimizar el uso del agua al adaptarse a condiciones ambientales en tiempo real, reducir costos operativos a largo plazo, y ofrecer una plataforma remota para la toma de decisiones informadas.

2.2 Diseño conceptual del sistema

El sistema IoT automatizado de riego y monitoreo remoto de la figura 2.1 se fundamentó en la implementación de una red Mesh WiFi para la comunicación entre nodos. Se incluyeron cinco nodos sensores, cada uno equipado con paneles solares, baterías, y sensores de humedad del suelo, lluvia y radiación UV, los cuales transmitieron datos ambientales en tiempo real al Gateway central. Este Gateway, basado en una Raspberry Pi 4, gestionó la recolección y retransmisión de información hacia la plataforma en la nube Ubidots. Adicionalmente, se diseñó un nodo actuador con una bomba de agua que se activó automáticamente según los valores de humedad registrados por los sensores. La autonomía energética de los nodos se garantizó mediante paneles solares, eliminando la necesidad de infraestructura eléctrica externa.

Figura 2.1

Sistema IoT de riego y monitoreo remoto de huertos agrícolas



2.3 Esquema de bloque del sistema

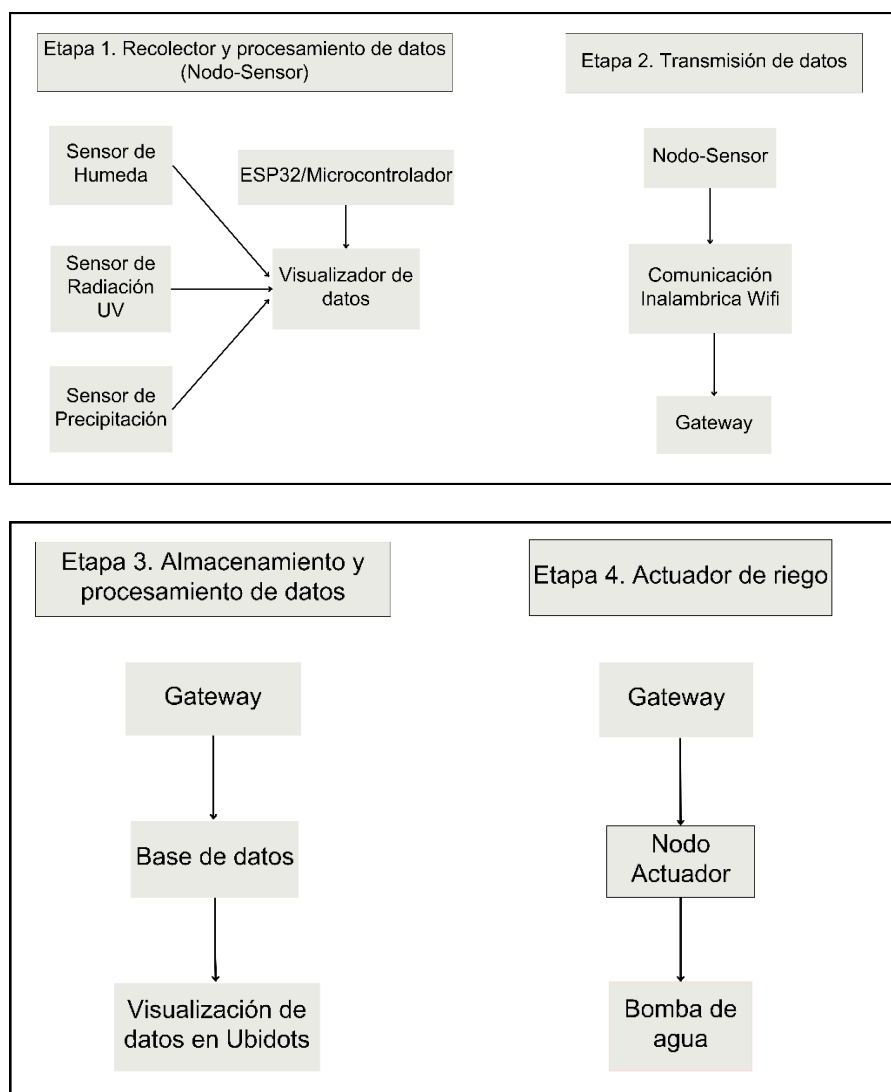
En la figura 2.2 se evidencia una representación gráfica del diagrama de bloques que define el funcionamiento completo del sistema. Este esquema sigue una metodología basada en cuatro etapas fundamentales para el monitoreo y control:

- **Etapas 1:** Se utilizaron sensores especializados para medir con precisión los parámetros ambientales de la humedad del suelo, precipitación y la radiación UV.
- **Etapas 2:** Los datos recopilados se transmitieron de forma inalámbrica mediante tecnología Wifi desde los nodos sensores hacia el Gateway, el cual actuó como intermediario para conectar el sistema con la red.

- **Etapa 3:** La información de los sensores fue gestionada a través de un Gateway y almacenada en la nube, permitiendo el registro de cada parámetro. Esta información se visualizó mediante la plataforma web Ubidots, ofreciendo una interfaz accesible para el monitoreo remoto de las condiciones del huerto.
- **Etapa 4:** En función de los datos recibidos, el nodo actuador controló una bomba hidráulica que se activó automáticamente para regular el riego.

Figura 2.2

Esquema visual de funcionamiento del sistema IoT (etapa 1-4)



2.4 Componentes electrónicos

2.4.1 Módulo Esp32 Wi-Fi Bluetooth Devkit (V1)

El módulo ESP32 DevKit V1, como se muestra en la figura 2.3 es un microcontrolador diseñada para proyectos IoT, ofreciendo conectividad Wi-Fi y Bluetooth en modo dual, además de un microcontrolador de bajo consumo y alto rendimiento. Basado en el chip ESP-WROOM-32, integra un procesador de 32 bits con doble núcleo que opera hasta a 240 MHz, proporcionando una capacidad de procesamiento avanzada para aplicaciones complejas como domótica, robótica y monitoreo remoto. Su diseño compacto y facilidad de programación con entornos como Arduino IDE hacen que sea ideal para prototipos y proyectos portátiles, además su capacidad para manejar operaciones en modo de ultra bajo consumo y su conectividad inalámbrica lo convierten en una opción destacada para dispositivos alimentados por baterías [15].

Figura 2.3

Módulo Esp32 Wi-Fi Bluetooth Devkit [15]



El módulo Esp32 funciona con las siguientes características principales:

- Procesador: Tensilica Xtensa LX6 [15].
- Conectividad: Wi-Fi 802.11 b/g/n.

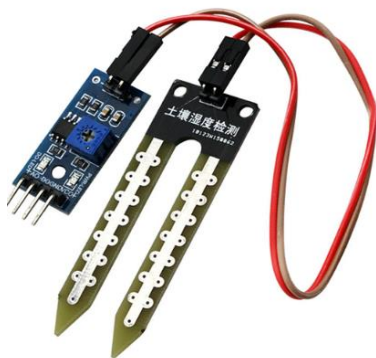
- Pines GPIO: 30 pines, 24 digitales.
- Frecuencia: 2,4 GHz.
- Rango de conexión: hasta 200m.
- Potencia de salida: 22dBm.
- Alimentación: 5V (USB) o 4-12V (VIN).
- Consumo de corriente: activo 160-260mA y en suspensión 5uA.

2.4.2 Sensor de Humedad de suelo YL-69

El sensor YL-69 de la figura 2.4 es una solución económica y sencilla si se requiere conocer la humedad de un espacio de suelo, ideal para aplicaciones de agricultura y sistemas automatizados de riego. Su funcionamiento se fundamenta en la conductividad eléctrica, la cual varía dependiendo del contenido de agua en el suelo. Este sensor proporciona dos tipos de salida: una analógica que refleja el nivel exacto de humedad y una digital que indica si la humedad está por encima o por debajo de un umbral configurable mediante un potenciómetro [16].

Figura 2.4

Sensor YL-69 [16]



El módulo YL-69 funciona con las siguientes características principales:

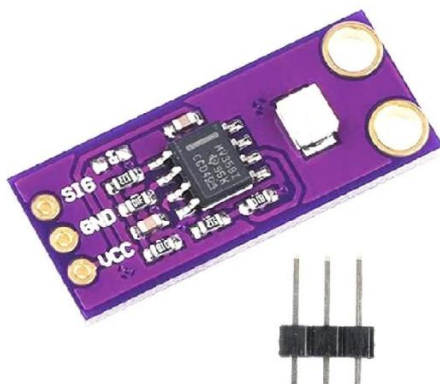
- Voltaje: 3.3V.
- Corriente: 35 mA.
- Salidas: Analógica (AO): Proporciona un rango de voltaje entre 0 y VCC según el nivel de humedad. Digital (DO): Señal TTL (3.3V o 5V) que se activa con base en el umbral definido [16].
- Material de los electrodos: Estaño.

2.4.3 Sensor de luz ultravioleta (Guva-s12sd)

El módulo Guva-s12sd de la figura 2.5 es un sensor de luz ultravioleta que fue diseñado para medir la cantidad de luz UV que detecta. Este sensor es adecuado para sistemas destinados al censo de las condiciones ambientales, como la medición de los rayos ultravioletas, lo que resulta muy útil en la agricultura para monitorear los niveles de radiación que influyen en la fotosíntesis [17].

Figura 2.5

Sensor Guva-s12sd [17]



El módulo de luz ultravioleta funciona con las siguientes características principales:

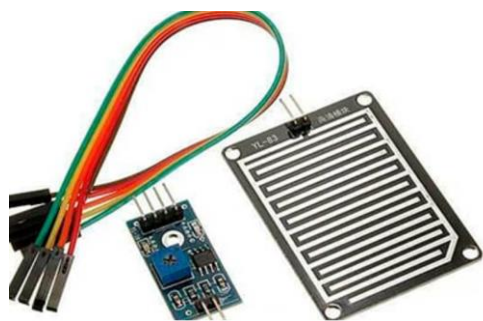
- Rango de medición de radiación UV-A: 240nm a 320nm [17].
- Rango de medición de radiación UV-B: 320nm a 370nm.
- Voltaje de alimentación: 2.5V - 5V.
- Corriente: 1 mA.
- Salida: Analógica.

2.4.4 Sensor de lluvia YL-83

El sensor de lluvia de la figura 2.6 fue diseñado para controlar dispositivos en función de las precipitaciones, es ideal para aplicaciones en invernaderos, huertas y sistemas afectados por el clima. Su superficie niquelada mejora su resistencia a la oxidación, de esta manera alarga su vida útil. A través de un potenciómetro digital ajustable, se puede modificar su sensibilidad. El sensor detecta la presencia de gotas de lluvia creando un corto circuito entre las pistas cuando se mojan, lo que permite generar señales analógicas y digitales para ser procesadas por microcontroladores como la ESP32 [18].

Figura 2.6

Sensor YL-83 [18]



El módulo sensor de lluvia presenta las siguientes características:

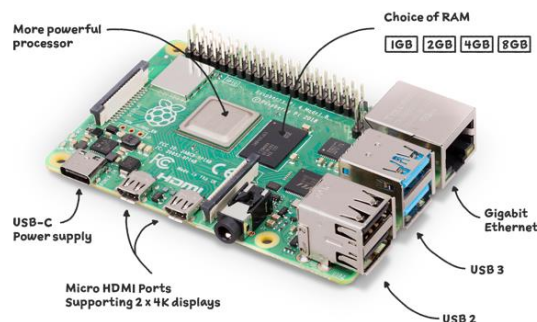
- Voltaje: 3.3V.
- Corriente: 15 mA.
- Salida: Analógica y digital
- Sensibilidad ajustable por: potenciómetro

2.4.5 Raspberry Pi 4 Model B

La Raspberry Pi 4 Model B de la figura 2.7 es una computadora diseñada para facilitar el aprendizaje de programación y computación, con capacidad para realizar tareas típicas de una PC, como navegar por internet y programar. Además, funciona como una plataforma de desarrollo, permitiendo interactuar con sensores y actuadores a través de sus pines GPIO, lo que la hace ideal para proyectos de electrónica y robótica. Incorpora un procesador ARMv8 de cuatro núcleos, 4GB de RAM, y soporta resoluciones 4K y conectividad avanzada como Wi-Fi y Bluetooth [19].

Figura 2.7

Módulo Raspberry Pi 4 Model B [19]



La Raspberry Pi 4 cuenta con las principales características para su funcionamiento óptimo:

- CPU: 1.5GHz Quad-core ARM Cortex-A72 (ARMv8-A instruction set) [19].
- Memoria RAM: 4GB.
- Slot para tarjeta Micro SD.
- Wi-Fi mejorado: Doble banda de 2.4GHz y 5GHz (IEEE 802.11 b/g/n/ac).
- Alimentación: 5.1V.

2.5 Diagrama de comunicaciones

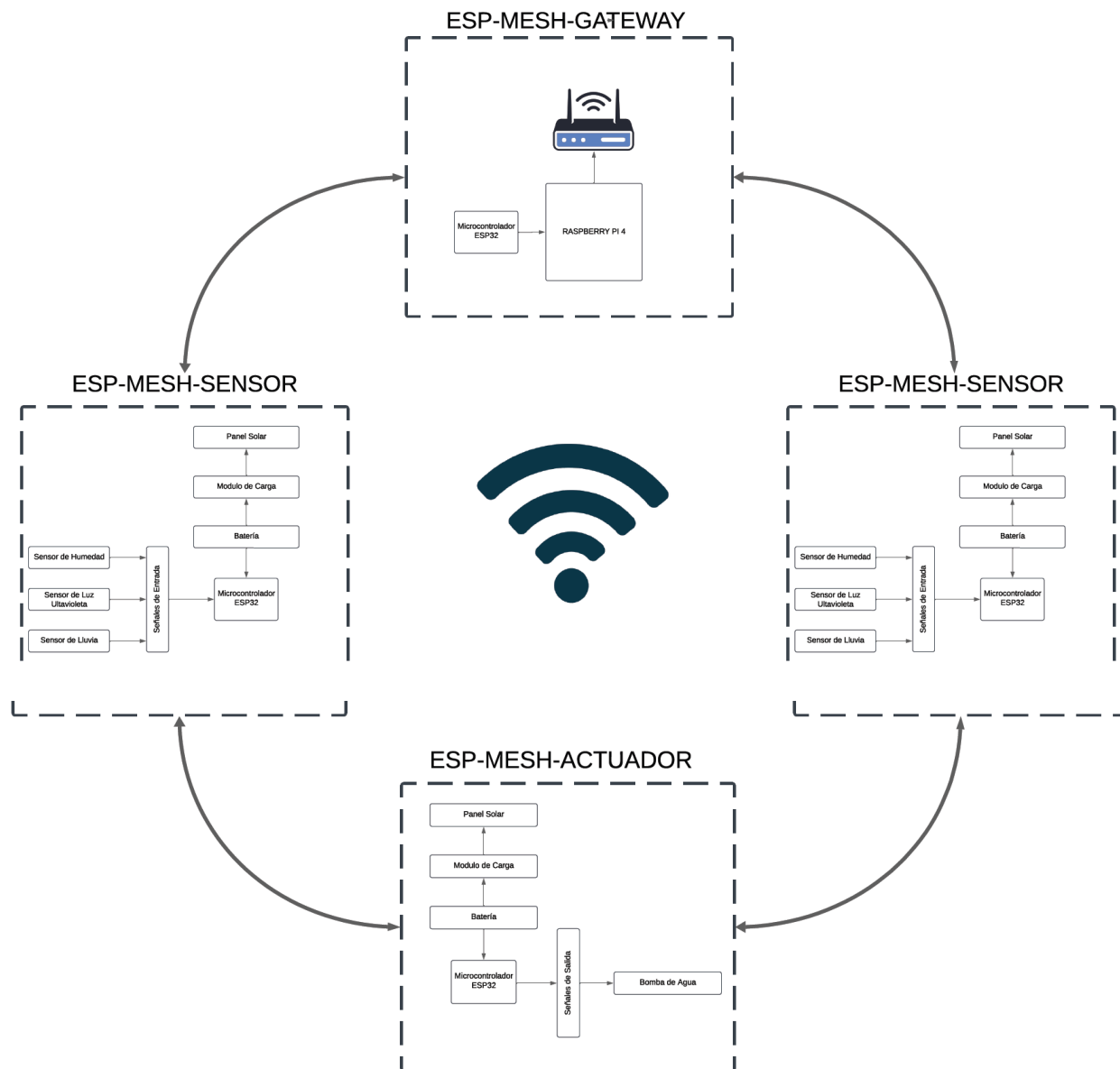
El diagrama de comunicaciones que se muestra a continuación presenta el funcionamiento por etapas del sistema mesh wifi implementado en la plantación de plátano.

2.5.1 Diagrama de bloques de comunicación Mesh Wi-Fi

El diagrama de bloques de la figura 2.10 indica el proceso del sistema IoT que integra cinco nodos sensores, un nodo actuador y un Gateway para monitorear y controlar cada una de las variables agrícolas propuestas. Cada nodo sensor está compuesto por un ESP32 con alimentación solar de respaldo y sensores de humedad, lluvia y radiación UV, distribuidos en cinco zonas a lo largo del cultivo. Los datos recolectados se transmiten vía WiFi al nodo actuador (que controla una bomba de agua mediante un relé) y al Gateway central, una Raspberry Pi 4. Con un alcance de 200m por nodo, la conexión en malla mediante la red Wifi garantiza que los datos enviados simultáneamente lleguen a todos los nodos interconectados.

Figura 2.8

Diagrama de bloque de comunicación



Cuando los datos son obtenidos de cada nodo sensor, los valores son enviados mediante un Gateway conectado a una red 4G a la plataforma tipo iCloud Ubidots para la respectiva interpretación e interacción por parte del usuario, quien puede de manera visual inspeccionar los diferentes parámetros obtenidos y la activación de la bomba de riego.

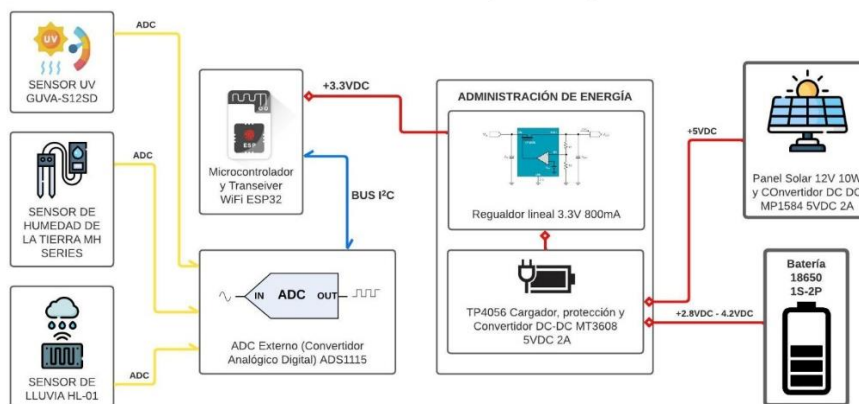
2.5.2 Comunicación del ESP32 con los nodos sensor

Cada nodo sensor funciona como un módulo autónomo diseñado para capturar datos ambientales de la figura 2.11. El sistema consta de tres sensores principales: un sensor UV (GUVA-S12SD), un sensor de humedad del suelo (MH) y un sensor de lluvia (HL-01), conectados al microcontrolador ESP32-WiFi. Cada sensor entrega datos analógicos procesados por el ADC externo ADS1115 para mejorar la precisión al momento de la captura de datos.

Los nodos sensores son alimentados mediante un panel solar de 2W que carga un par de baterías de iones de litio (1S2P 18650) a través de un módulo TP4056. Este módulo también maneja la protección y el regulador boost DC-DC, entregando 5VDC-2A constantes para la carga de las baterías. Adicional, la energía se gestiona correctamente mediante un regulador LDO integrado en el módulo TP4056 para proveer 3.3V constantes al ESP32.

Figura 2.9

Esp-mesh nodo sensor



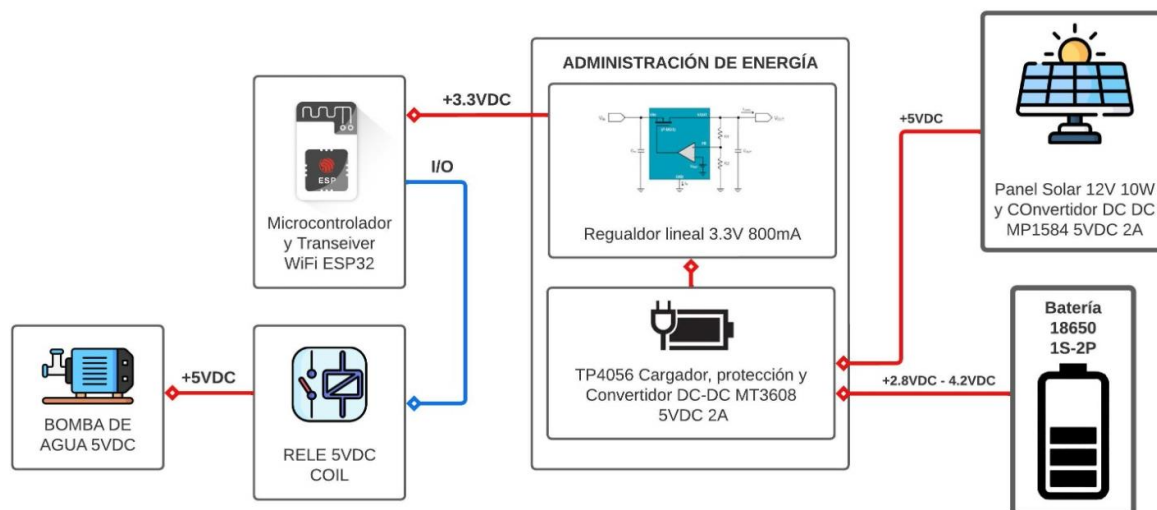
2.5.3 Comunicación del ESP32 con el nodo actuador

El nodo actuador de la figura 2.12 fue diseñado para activar una bomba de agua. Este nodo funciona con un ESP32 como controlador principal, alimentado a 3.3 V constantes alimentados por un panel solar de 2W y gestionado por el módulo TP4056 de la misma manera que en los nodos sensores.

El ESP32 controla un relé de 5V, encargado de activar la bomba hidráulica cuando es necesario. Este relé recibe señales de entrada/salida del ESP32 y utiliza la alimentación de 5V para operar, permitiendo activar o desactivar la bomba dependiendo de las instrucciones del sistema o las condiciones externas.

Figura 2.10

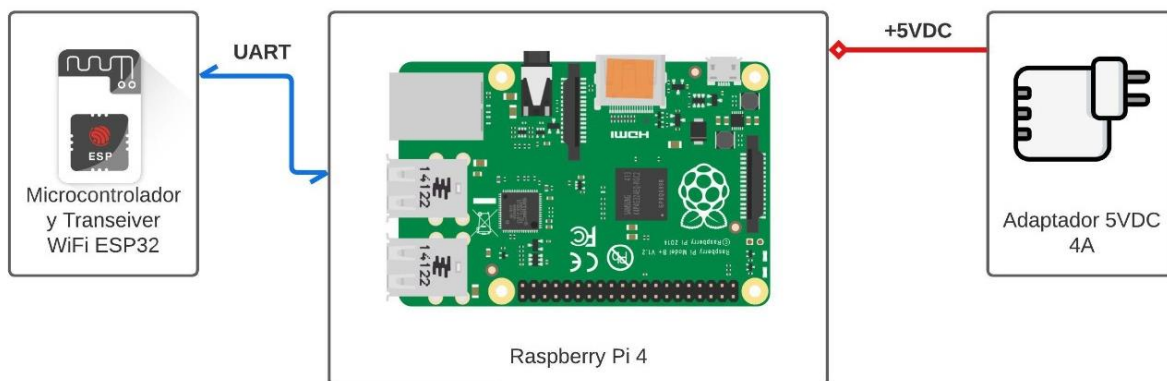
Esp-mesh nodo actuador



2.5.4 Comunicación Raspberry Pi 4 (Gateway)

Figura 2.11

Esp-mesh gateway



En esta red ESP-MESH de 2.4 GHz de la figura 2.13, la Raspberry Pi 4 actúa como una puerta de enlace (Gateway) que se conecta al nodo ESP a través de protocolo de comunicación UART para intercambiar datos con la red. La Raspberry Pi está configurada para funcionar a velocidades entre 9600 y 115200 bps usando pines GPIO para comunicación en serie (Rx, Tx y GND) mientras se alimenta con un adaptador de 5V a un máximo de 4A. Los nodos ESP organizan una red con nodos conectados a bloques de retransmisión Raspberry o eventos de la red. La Raspberry procesa estos datos, gestiona la red MESH mediante comandos y actúa como puente hacia redes externas (LAN/Wi-Fi), permitiendo conexiones a servicios en la nube u otros dispositivos para lograr una solución escalable, flexible y económica.

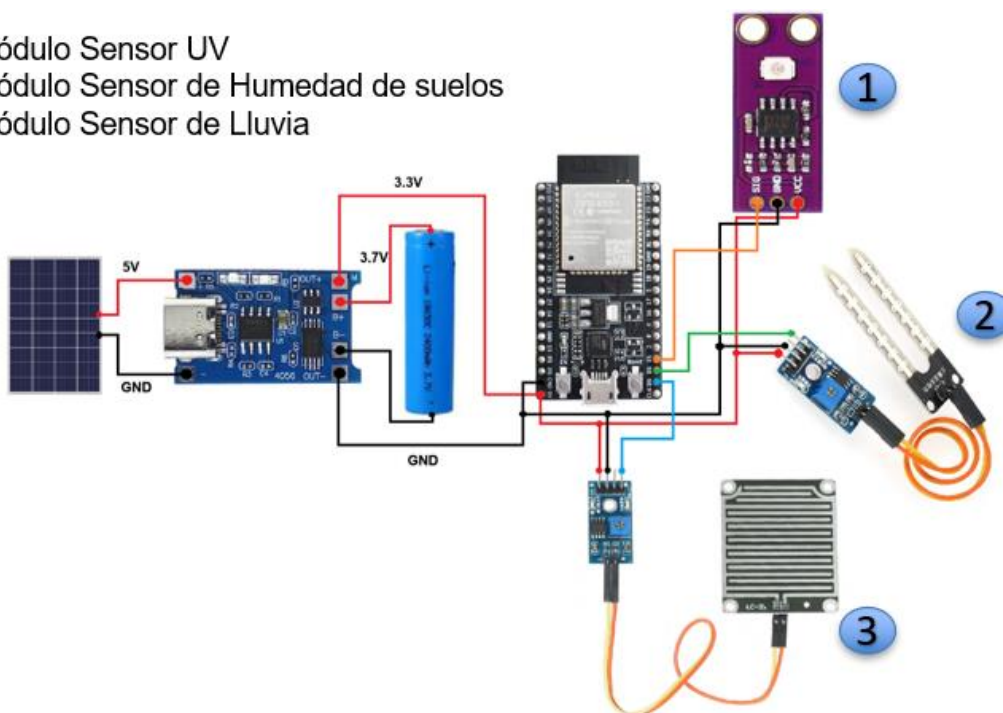
2.5.5 Diagrama de suministro energético mediante energía solar

Se observa en la figura 2.14, la interconexión del suministro eléctrico para los diferentes elementos del sistema. El diagrama muestra como la red de sensores en conjunto con el nodo Esp-mesh es alimentado mediante una batería de litio de 2600 mAh, a su vez, es respaldada por una celda fotovoltaica que de ser necesario, entrega la energía que requieran cualquiera de estos equipos, ya sea el sensor de humedad, de precipitación o de radiación UV. Un módulo cargador es el puente que une al panel solar con el resto de los elementos y la batería, permitiendo que esta última se cargue de forma autónoma usando energía renovable como la que proviene de la fuente solar.

Figura 2.12

Diagrama de suministro energético

1. Módulo Sensor UV
2. Módulo Sensor de Humedad de suelos
3. Módulo Sensor de Lluvia



2.6 Placa PCB

Se realizó el diseño del circuito para el prototipo tanto para los nodos sensores, como para el nodo actuador y el gateway, además, se lo imprimió en placas PCB para su correcto montaje, con el fin de establecer las conexiones necesarias entre elementos. Las figuras 2.15 y 2.16 muestran las placas desarrolladas y configuradas con las dimensiones adecuadas para el acomodo de los componentes electrónicos necesarios para cada una de ellas.

Figura 2.13

Vista 3D de la placa nodo sensor

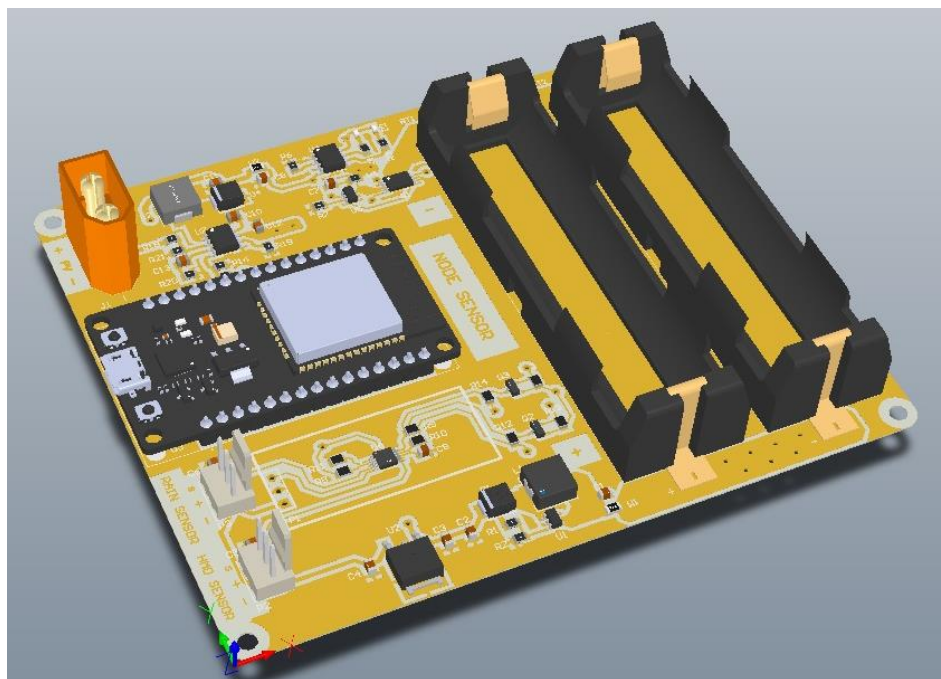
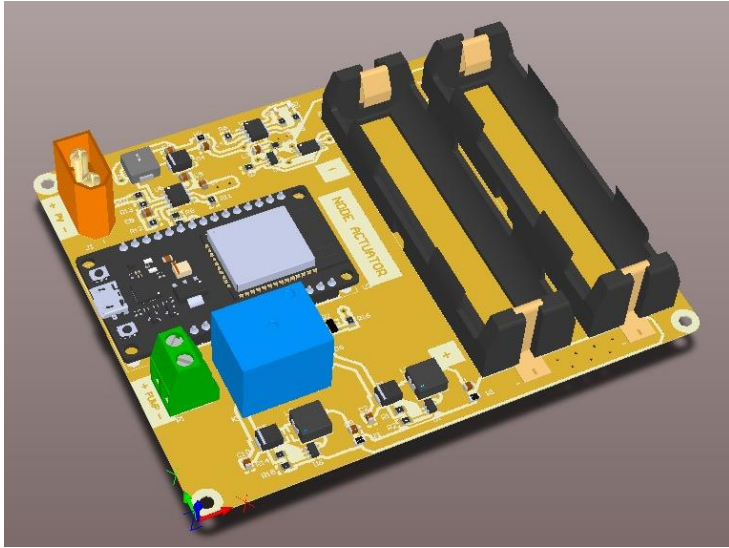


Figura 2.14

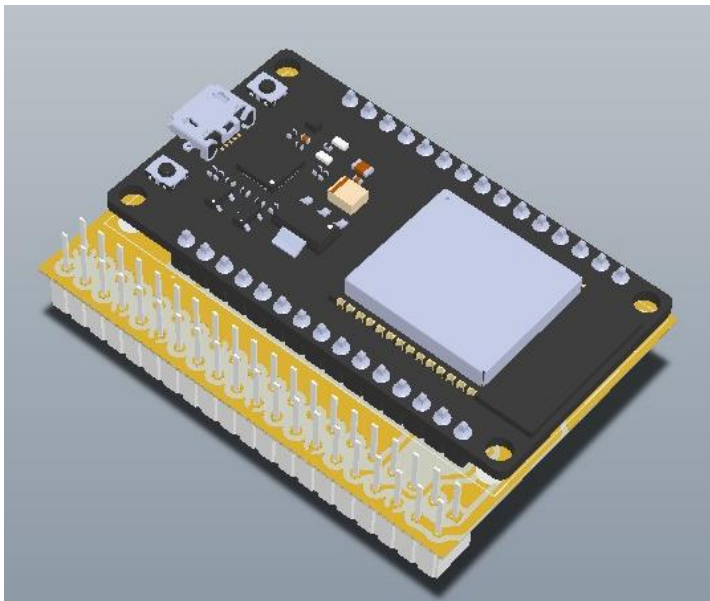
Vista 3D de la placa nodo actuador



La figura 2.17 muestra la pcb que se implemento para el acomodo del microcontrolador esp32 en la raspberry pi 4, que sirvio de puente de comunicación entre los nodos sensores y actuador hacia la red y posteriormente su correcta visualizacion en la plataforma ubidot y los diferentes mensajes de alerta (SMS) para el usuario.

Figura 2.15

Vista 3D de la placa esp32-gateway



CAPÍTULO 3

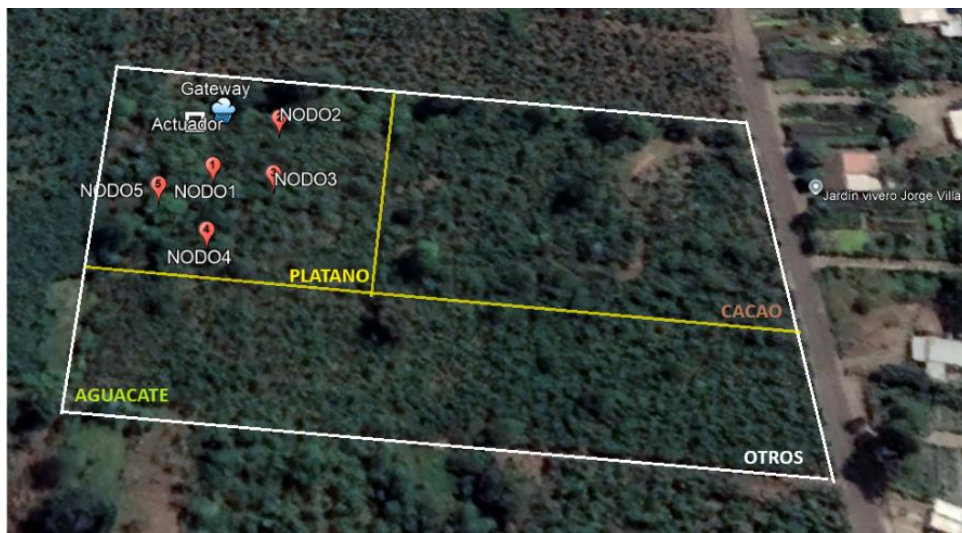
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se presentan los resultados de diseño e instalación del sistema IoT automatizado de riego y monitoreo en la plantación de plátano ubicada en la parroquia Roberto Astudillo. El propósito de este análisis es valorar la eficiencia del sistema en la gestión del agua y el efecto en la productividad del cultivo.

3.1 Distribución de nodos estratégicos

Figura 3.1

Vista satelital de la hacienda y los nodos implementados



En la figura 3.1 se presenta mediante el software Google Maps con actualización de imágenes 2025, la vista satelital de la hacienda y el mapeo de las posiciones de los 5 nodos sensores, el nodo actuador y el gateway.

Para la implementación de cada uno de los nodos sensores se consideró la altura promedio de 1 metro para obtener línea de vista entre nodos, conociendo previamente



llegar a alcanzar con una línea de vista apropiada sin obstáculos es de 60 a 70 metros aproximadamente y con obstáculos es de 25 a 35 metros aproximadamente; por tales motivos y mediante pruebas realizadas en campo se escogió una distancia prudente de 25 metros máximo entre nodos para poder alcanzar una cobertura de conexión sin interrupciones. El gateway con el nodo actuador alcanza una distancia de 5 metros aproximadamente.

3.1.1 Nodos sensores

En la figura 3.3 se presenta las tarjetas electrónicas de cada nodo sensor para su respectivo ensamblaje, ubicando cada tarjeta pcb dentro de una caja plástica como se aprecia en la figura 3.4, herméticamente sellada para prevenir futuras averías por insectos, agua del riego o lluvia y de esta manera poder garantizar que los equipos electrónicos utilizados puedan seguir manteniendo el funcionamiento correcto.

Figura 3.3

Nodos sensores

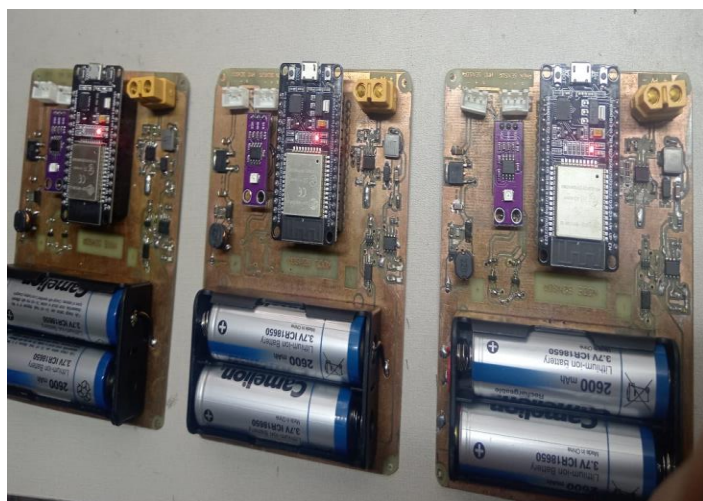
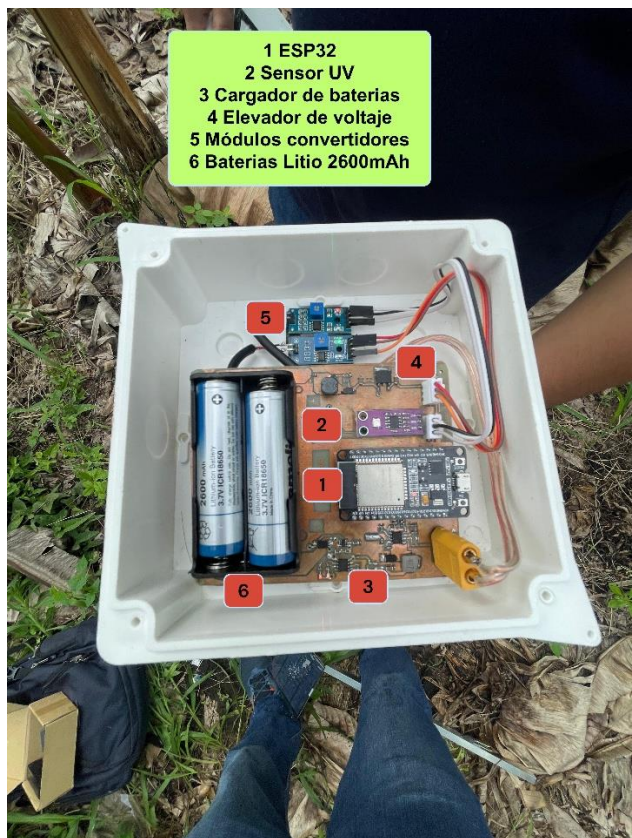


Figura 3.4

Nodo sensor y caja plástica



En la figura 3.5 se observa cómo está compuesto cada nodo sensor previa a su instalación a lo largo de la plantación, donde se ubica el sensor de lluvia, el sensor de humedad de suelos, el panel solar y la caja plástica que en su interior alberga la placa pcb.

Figura 3.5*Estructura Nodo sensor***Figura 3.6***Instalación nodo sensor 1 y 2*

Figura 3.7*Instalación nodo sensor 3 y 4***Figura 3.8***Instalación nodo sensor 5*

En las figuras 3.6, 3.7 y 3.8 se puede apreciar la instalación de la estructura de los cinco nodos sensores a lo largo de la plantación escogida, donde se registra la altura

promedio de la estructura de cada nodo y la altura promedio del tallo principal de cada árbol de plátano.

3.1.2 *Nodo actuador*

En la figura 3.9 se presenta la tarjeta electrónica del nodo actuador para su respectiva ubicación en la caja plástica como se observa en la figura 3.10, misma que se encuentra herméticamente sellada para prevenir futuras averías por insectos, agua del riego o lluvia y de esta manera poder garantizar que los equipos electrónicos utilizados puedan seguir manteniendo el funcionamiento correcto, la ubicación de la caja del nodo actuador está a unos 5 metros de distancia aproximada del nodo gateway y a 1.5 metros de distancia de la bomba de riego de la plantación.

Figura 3.9

Nodo actuador pcb

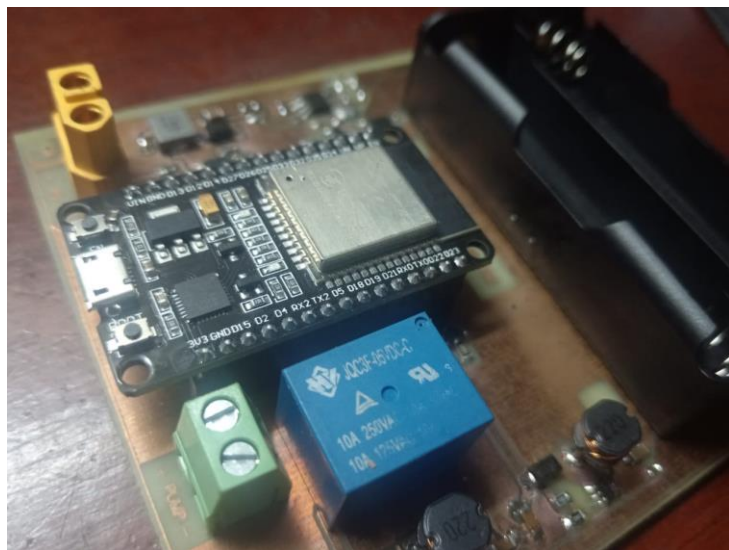
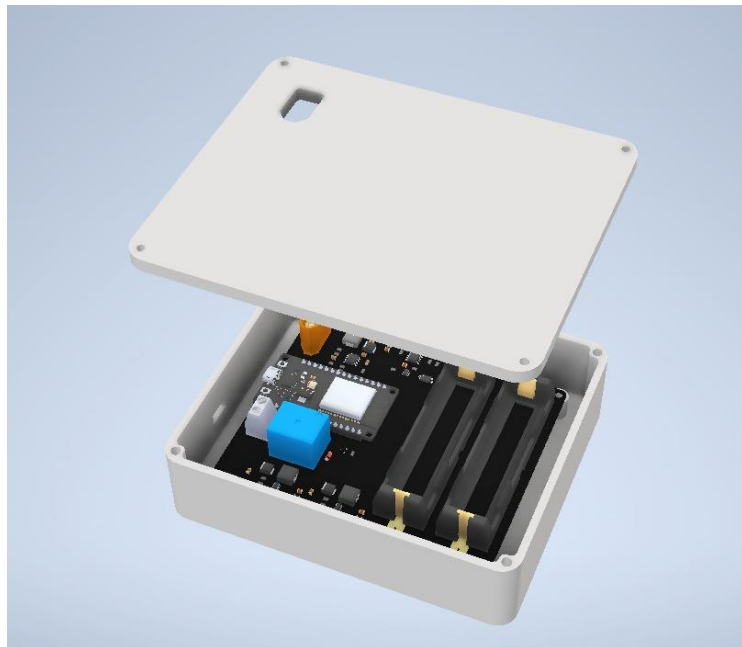


Figura 3.10

Nodo actuador pcb y caja plástica



3.1.3 Nodo Gateway

En la figura 3.11 se visualiza el montaje de la esp32 con la placa Raspberry pi 4, ambos componentes actúan en conjunto como un nodo gateway que establecen comunicación con la internet para el envío de los datos censados hacia la plataforma Ubidots y de esta manera el usuario puede visualizar los parámetros de humedad, lluvia y radiación UV de la plantación. Además, el nodo gateway tiene el código principal del sistema encargado de la toma de decisiones para la activación del nodo actuador.

Figura 3.11

Nodo gateway (esp32 y modulo Raspberry pi 4)



Para su debida protección como se lo aprecia en la figura 3.12, el nodo gateway cuenta con una caja plástica herméticamente sellada para evitar futuras averías con el paso del tiempo

Figura 3.12

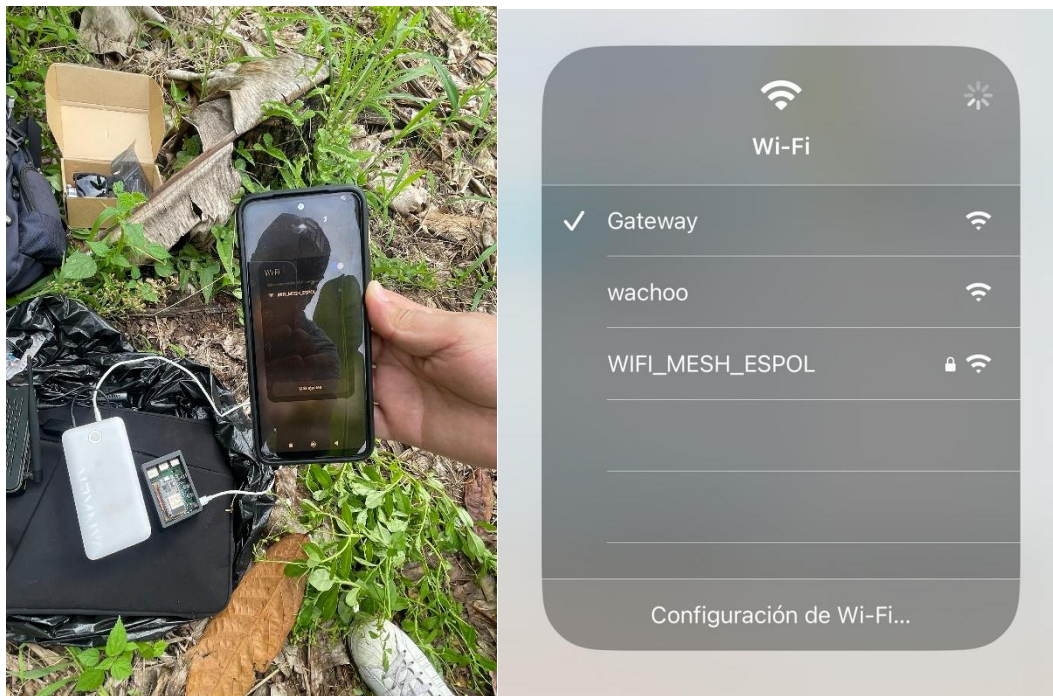
Nodo gateway en la caja plástica



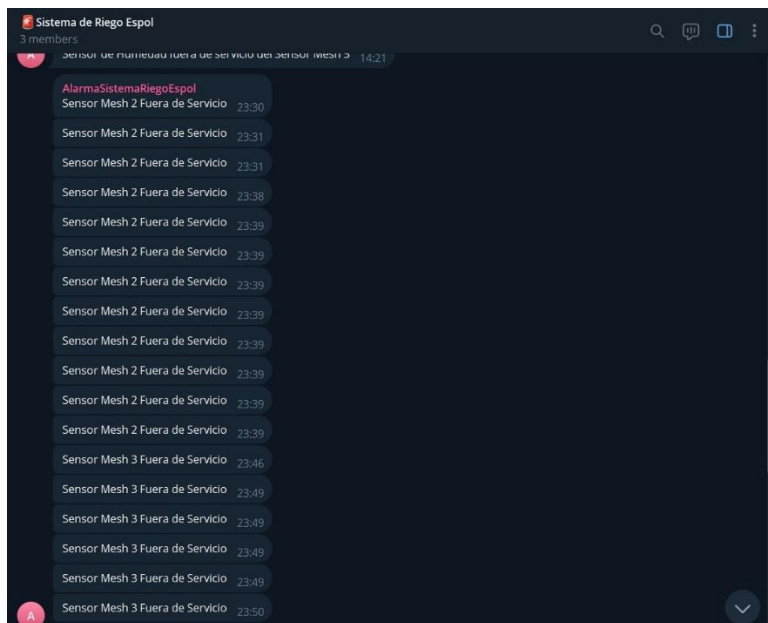
Una vez que los nodos sensores se activan y el nodo gateway entra en funcionamiento se genera una red mesh de nombre WIFI_MESH_ESPOL como se aprecia en la figura 3.13, que servirá de enlace entre todos los nodos que se encuentren instalados en la plantación; de esta manera se establece una comunicación total para el envío de información de cada nodo con los nodos vecinos, hasta llegar al nodo gateway encargado de la toma de decisiones.

Figura 3.13

Red mesh wifi de trabajo



El nodo gateway que establece la comunicación a la internet de todo el sistema tiene la función adicional de enviar un mensaje de alerta para el usuario al centro de mensajería Telegram como la figura 3.14, indicando si uno de los nodos sensores pierde comunicación, este mensaje indicativo alerta al usuario la avería de comunicación o de infraestructura de cada nodo sensor que presente problema; el usuario podrá decidir la inspección inmediata del nodo reportado.

Figura 3.14*Alerta Telegram*

3.2 Resultados

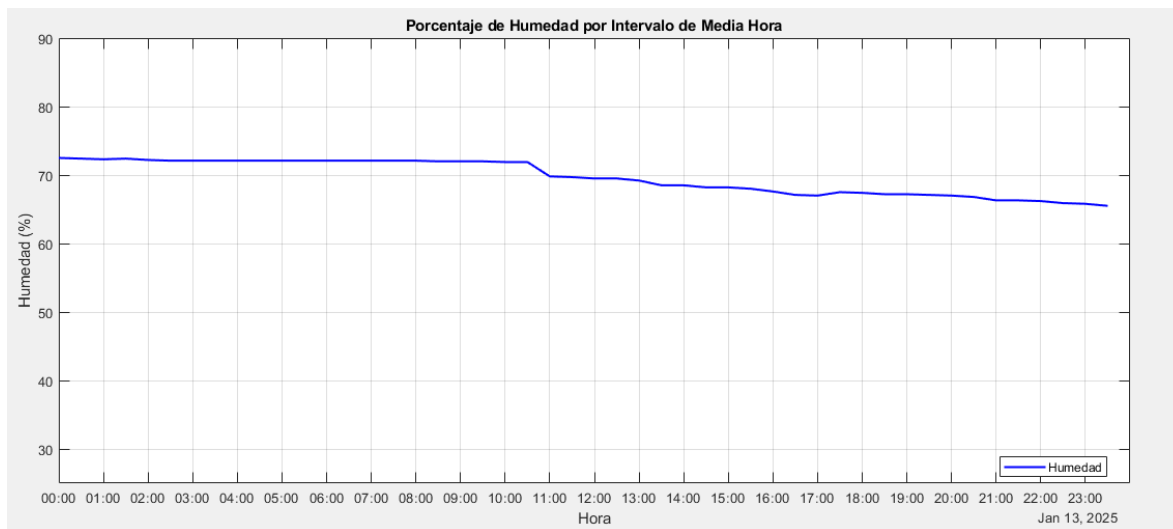
Los resultados permitieron evaluar la eficacia de las tecnologías utilizadas en el monitoreo y riego de la plantación de plátano. A continuación, se resume los principales datos a lo largo de una semana de pruebas de los nodos sensores y su impacto en la optimización del uso de recursos hídricos.

3.2.1 Humedad del suelo

En tiempo real mediante sensores instalados en cinco zonas estratégicas de la plantación. Los datos censados indicaron que los niveles de humedad oscilaron por día entre un 7% y 10%, dependiendo de las condiciones climáticas y del relieve del terreno.

Figura 3.15

Porcentaje de humedad promedio día 1 (enero 13, 2025)

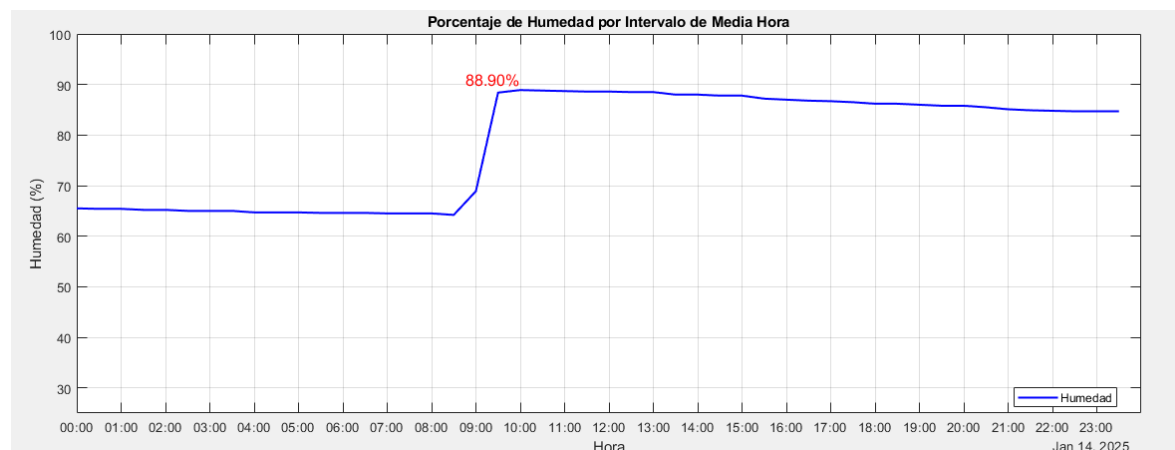


La humedad de suelo promedio para el lunes 13 de enero del 2025 como se muestra en la figura 3.15 se aprecia una disminución a lo largo del día, con bajas considerables en las horas pico del día cuando la radiación UV es la más alta registrada, se debe mencionar que se empieza las pruebas previos a días no regados por parte del dueño de la finca, por tal motivo la humedad promedio registrada a inicios es de 72% disminuyendo a lo largo del día a una baja de 65.5%, alertando al sistema y procediendo a activar el nodo actuador para dar aviso del riego inmediato.

Una vez alertado del riego inminente, el propietario procede al riego de la plantación en horas de la mañana (8:00 am) por un lapso de 1 hora y media y se aprecia en la figura 3.16 como el rango de humedad comienza a subir a medida que los sensores van recopilando dicha información, el tope de humedad máxima registrada es de 88.9%, luego a lo largo del día comienza la disminución promedio normal en zonas tropicales.

Figura 3.16

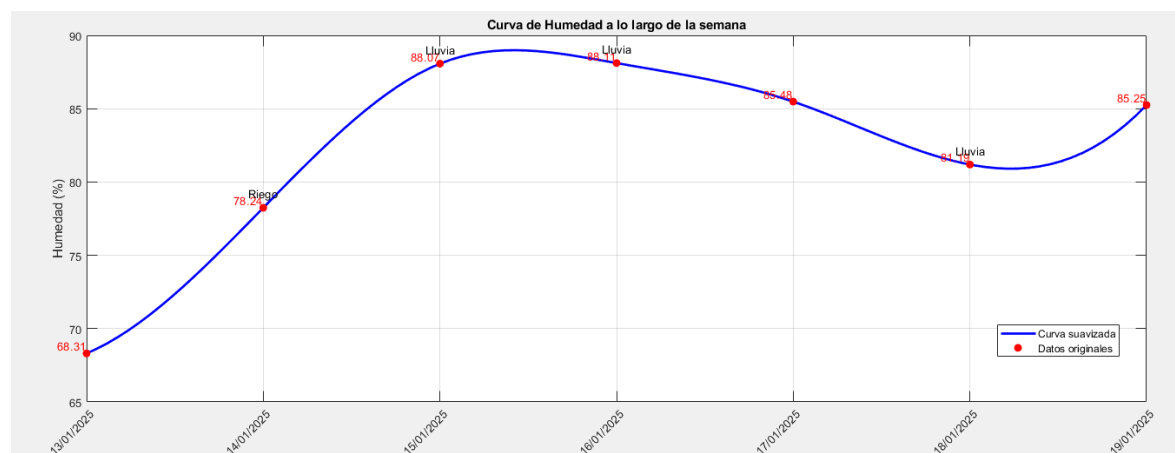
Porcentaje de humedad promedio día 2 (enero 14, 2025)



En la figura 3.17 se muestra el promedio semanal del porcentaje de humedad de suelos registrado a lo largo de la semana de pruebas en la finca, donde los días 15, 16 y 18 se registraron lluvias en el sector por lo cual la humedad se logra estabilizar en un promedio entre 82 - 88%, adecuado para la plantación de plátano.

Figura 3.17

Porcentaje de humedad promedio semanal (13-19 de enero, 2025)



Según el MAGAP, el rango óptimo de humedad para el cultivo de plátano está entre el 70% y el 90%. En este contexto, se logró mantener un promedio del 80% de

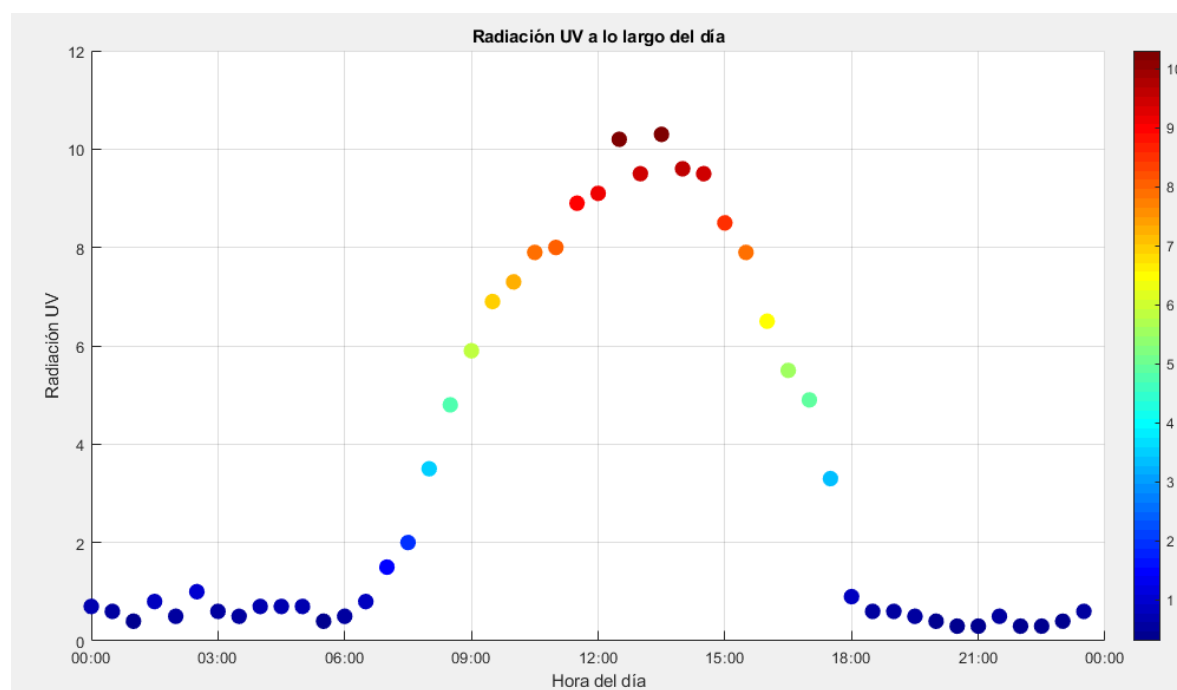
humedad en las áreas intervenidas, cumpliendo con los estándares recomendados para garantizar un desarrollo adecuado del cultivo.

3.2.2 Radiación UV

El sensor de radiación UV registró índices promedio de 1.2, con valores máximos de 10.2 como indica la figura 3.18, durante las horas de mayor incidencia solar. Este monitoreo permitió identificar momentos en los que el riego no es necesario debido a la evaporación rápida del agua, alertando al propietario los horarios específicos en donde el riego puede ser aprovechado de mejor manera.

Figura 3.18

Valor promedio de índice UV



3.2.3 Comunicación y conectividad de los nodos

La red Mesh WiFi implementada en la plantación garantizó una comunicación estable entre los nodos sensores y el gateway central. La zona de trabajo de la figura 3.2 aseguro una transferencia de datos eficiente y sin interrupciones.

Además, al utilizar paneles solares como fuente de energía permitió que los nodos funcionaran de manera autónoma, incluso en condiciones climáticas adversas. Este diseño sostenible eliminó la necesidad de infraestructura eléctrica adicional, reduciendo costos y minimizando el impacto ambiental.

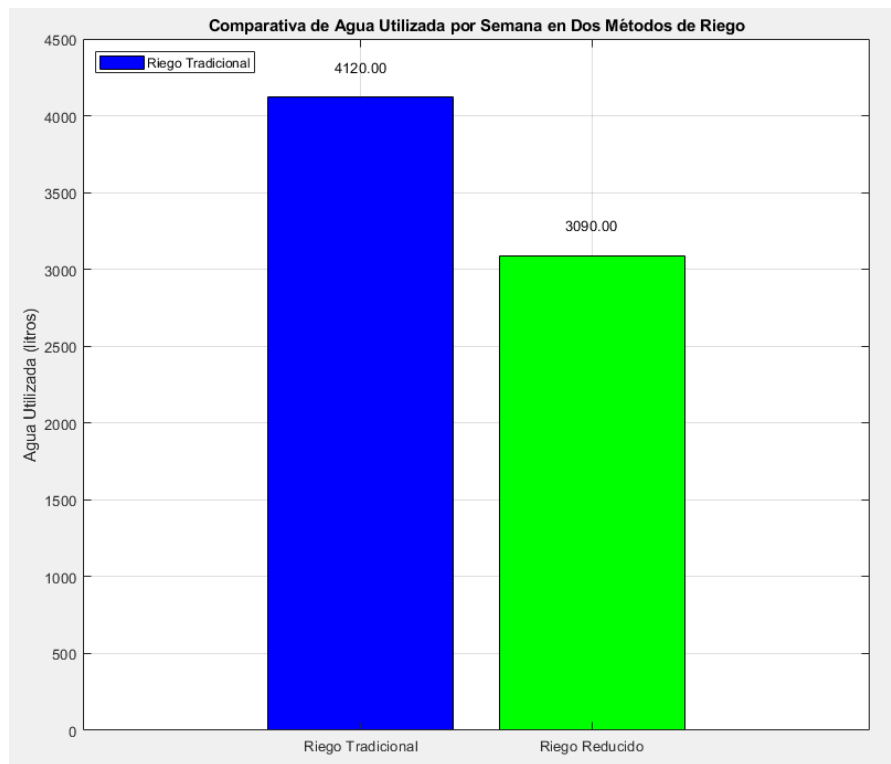
3.3 Impacto en la eficiencia del riego

La implementación del sistema IoT generó beneficios significativos y se espera una mejora futura en la gestión hídrica y la productividad de la plantación en base a los datos que se le proporcionan al cliente.

3.3.1 Reducción del consumo de agua

El cliente riega un promedio de 2 veces por semana la plantación de plátano por las altas temperaturas que experimenta la provincia del Guayas y a la baja humedad que esto implica en el cultivo, pero a principios del año 2025 el promedio de riego baja a 1 vez cada semana.

Cuenta con un riego por aspersores alimentado por una motobomba Honda GX160 de 24000 L/h. En base a las especificaciones técnicas de la motobomba y los aspersores se obtiene los siguientes resultados:

Figura 3.19*Cantidad en litros de agua utilizada*

La motobomba tiene un caudal de 24000 L/h [32] suficiente para alimentar dos aspersores D-Net 8550 con un caudal de 1030 L/h [33] cada uno de acuerdo con sus boquillas de 3.5 mm y bar de 3.0, dando como resultado 4120 L por las dos horas de funcionamiento regular para ambos aspersores. Por otra parte, el sistema mesh actúa para que la motobomba solo se active por el lapso de 1 hora y media hasta que la humedad del suelo de la plantación llegue a un nivel óptimo de cultivo por lo que el consumo de agua se reduce un 25% como indica la figura 3.19.

Finalmente, se espera un ahorro promedio del 25%, disminuyendo los costos operativos asociados al riego.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- A partir de la investigación realizada sobre sistemas IoT y tecnologías de monitoreo ambiental disponibles en el mercado, se logró identificar y seleccionar una solución óptima de riego en la plantación de plátano.
- La elección de una red mesh WiFi como tecnología principal demostró ser una alternativa eficiente y técnicamente viable para interconectar una red de sensores distribuidos en el terreno. El envío de datos de los parámetros de una plantación usando una red mesh WiFi es seguro y fiable. Además, el uso de sensores de humedad, radiación UV y precipitación permiten preservar plantaciones de otro tipo de cultivos más sensibles a cambios climáticos.
- La implementación del sistema IoT automatizado de riego y monitoreo en la plantación de plátano demostró ser una solución efectiva para optimizar el uso de recursos hídricos. Gracias a este sistema, se logró reducir el consumo de agua en un **25%**, comparado con el método de riego tradicional previamente utilizado por el agricultor. Mientras que el método anterior requería aproximadamente **4120 litros** de agua, el sistema automatizado redujo esta cifra a **3090 litros**, sin comprometer la calidad del riego ni el desarrollo del cultivo.

4.2 Recomendaciones

- Considerar sustituir las motobombas de combustible por modelos eléctricos, a fin de reducir el impacto ambiental. Se debe considerar el costo adicional de implementar un circuito controlador adecuado para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro. Este cambio no solo favorece al medio ambiente, sino que también mejora la sostenibilidad del sistema.
- Hacer uso de una conexión a internet confiable para minimizar intermitencias y asegurar la estabilidad de la red mesh. Esto puede incluir el uso de routers de alta calidad, puntos de acceso adicionales o incluso respaldos de conectividad mediante redes móviles para garantizar la comunicación entre nodos en todo momento.
- Integrar paneles solares de mayor capacidad para aumentar la autonomía del sistema, especialmente en condiciones de alta demanda energética. Adicionalmente, emplear microcontroladores con mayor capacidad de procesamiento que permitan gestionar tareas de manera eficiente, evitando saturaciones y posibles fallos en el sistema.

REFERENCIAS

- [1] FAO, «FAO en Ecuador,» FAO, [En línea]. Available: <https://www.fao.org/ecuador/fao-en-ecuador/ecuador-en-una-mirada/es/>. [Último acceso: 14 Noviembre 2024].
- [2] República del Ecuador, «Ministerio de Defensa,» 25 Enero 2021. [En línea]. Available: https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf. [Último acceso: 14 Noviembre 2024].
- [3] Superintendencia de Competencia Económica, «SCE,» 31 Octubre 2023. [En línea]. Available: <https://www.sce.gob.ec/sitio/no-012-la-superintendencia-de-competencia-economica-concluyo-el-estudio-de-mercado-sobre-las-cadenas-agroalimentarias-del-ecuador/>. [Último acceso: 12 Noviembre 2024].
- [4] M. I. G. G. F. D. & M. R. D. O. Vallejo Nieto, «Agricultura comercial, tradicional y vulnerabilidad en campesinos. Política y cultura,» *SciELO*, nº 36, pp. 71-98, 2011.
- [5] G. Cedeño, «Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias,» [En línea]. Available: <https://www.iniap.gob.ec/banano-platano-y-otras-musaceas/>. [Último acceso: 14 Noviembre 2024].
- [6] Naciones Unidas, «Naciones Unidad,» 15 Noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.un.org/es/global-issues/population>. [Último acceso: 12 Noviembre 2024].
- [7] TOTVS, «TOTVS,» 02 Junio 2023. [En línea]. Available: <https://es.totvs.com/blog/cat-agroindustria/agricultura-5-0-los-impactos-de-la-tecnologia-aplicada-en-el-sector/>. [Último acceso: 14 Noviembre 2024].
- [8] Grupo Banco Mundial, «Banco Mundial,» 14 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2021/07/14/en-ecuador-el-riego-tecnificado-equivale-a-cultivos-m-s-sostenibles-y-mejor-alimentaci->

n#:~:text=En%20Ecuador%2C%20de%20las%2038,los%20alimentos%20que%
20se%20cultivan... [Último acceso: 14 Noviembre 2024].

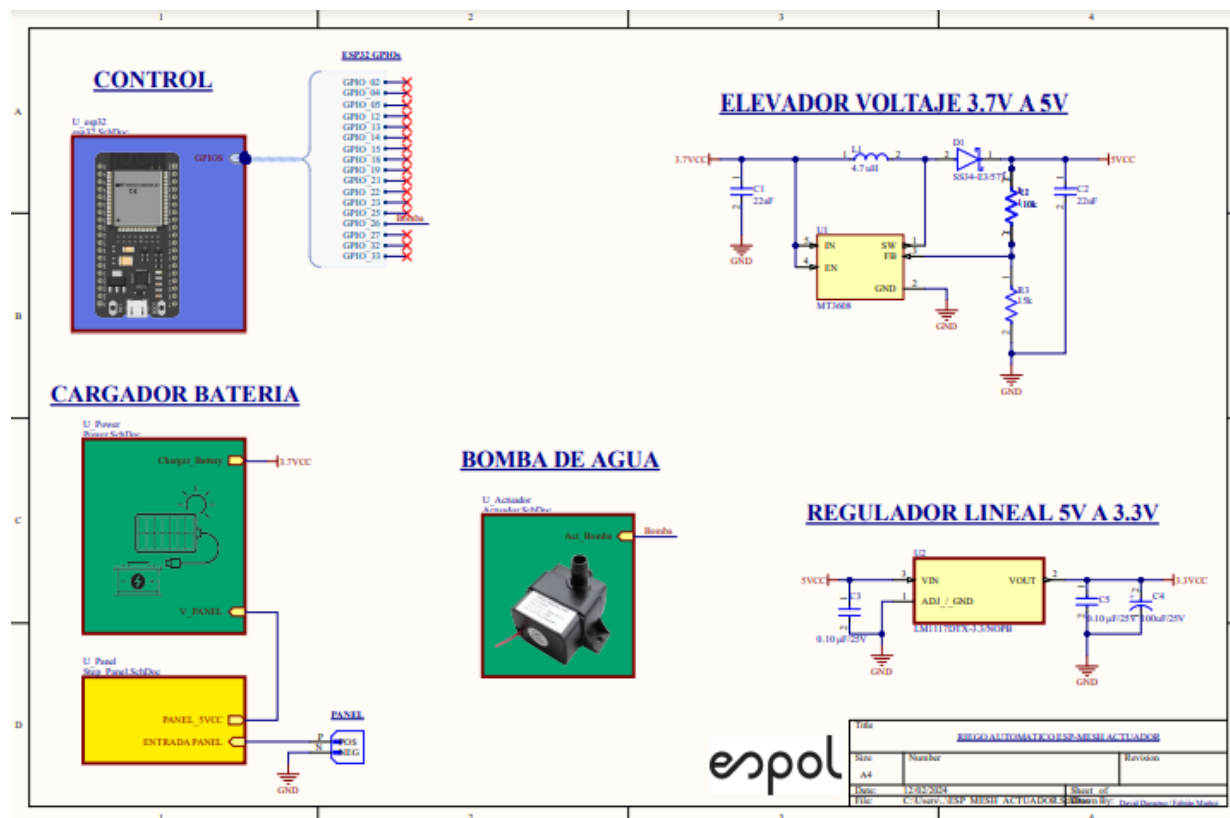
- [9] CENICAÑA, «CENICANA,» 06 Abril 2015. [En línea]. Available: <https://www.cenicana.org/riego-por-surcos/>. [Último acceso: 14 Noviembre 2024].
- [10] PRAKOR, «PRAKOR,» 22 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://prakor.com/componentes-de-un-sistema-de-riego-localizado/>. [Último acceso: 14 Noviembre 2024].
- [11] TELCEL, «TELCEL,» [En línea]. Available: <https://www.telcel.com/empresas/tendencias/notas/conocer-objetivo-de-iot>. [Último acceso: 14 Noviembre 2024].
- [12] SAP, «SAP LATAM,» [En línea]. Available: <https://www.sap.com/latinamerica/products/artificial-intelligence/what-is-iot.html>. [Último acceso: 14 Noviembre 2024].
- [13] SOS Electronic, «soselectronic,» 05 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.soselectronic.com/en-es/articles/sos-supplier-of-solution/top-9-technologies-for-wireless-communication-2398>. [Último acceso: 14 Noviembre 2024].
- [14] OSAO, «OSAO,» 24 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://osao.com.mx/herramientas-para-mejorar-la-senal-wifi-en-el-hogar/>. [Último acceso: 14 Noviembre 2024].
- [15] Electrostore, «Electrostore,» 2020. [En línea]. Available: <https://grupoelectrostore.com/shop/placas-para-programacion/esp/modulo-esp32-esp-32-wifi-bluetooth-devkit-v1/>. [Último acceso: 21 11 2024].
- [16] J. Fuller, «Datasheet Hub,» 14 08 2022. [En línea]. Available: <https://www.datasheethub.com/fc-28-soil-moisture-sensor-module/>. [Último acceso: 21 11 2024].
- [17] Iduino, «Iduino,» 2020. [En línea]. Available: https://iduino.co.in/product/s12sd-uv-sensor/?srsltid=AfmBOoqDT7H_9DxoQai6ieRGp2ar4r37EgUOnXhgJVzP-MnPPBSKHu2D. [Último acceso: 21 11 2024].

- [18] S. Catalogo, «Suministros Catalogo,» 27 08 2023. [En línea]. Available: <https://suministrosenmetrologia.com/sensores-de-lluvia/>. [Último acceso: 21 11 2024].
- [19] R. Pi, «Raspberry Pi,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>. [Último acceso: 21 11 2024].

APÉNDICES

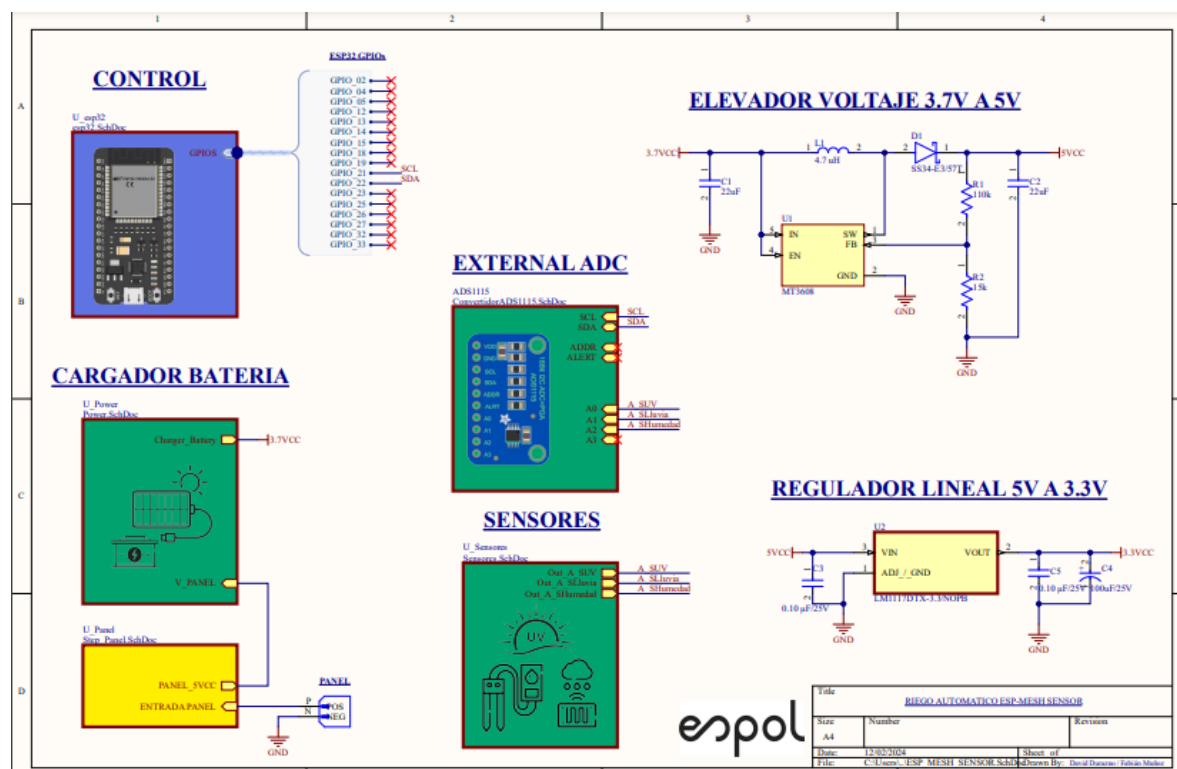
Apéndice 1

Diagrama esquemático de Nodo Actuator



Apéndice 2

Diagrama esquemático de Nodo Sensor



Apéndice 3

Diagrama esquemático de conexión a Gateway

