



INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA AGRICULTURA SOSTENIBLE IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA LORA

Luis Carlos Triviño Torres



INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA AGRICULTURA SOSTENIBLE: IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA LORA

INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA AGRICULTURA SOSTENIBLE: IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA LORA

Luis Carlos Triviño Torres



Triviño Torres, Luis Carlos. *Inteligencia artificial para la agricultura sostenible: implementación de la tecnología LoRa* / Luis Carlos Triviño Torres; editor académico no aplica. Bogotá, D.C.: Universidad Santo Tomás, Ediciones USTA, 2024.

69 páginas.

Incluye referencias bibliográficas e índice de autores y analítico.

E-ISBN: 978-958-782-667-8

Herramientas 2. Maquinaria 3. Aparatos 4. Agricultura inteligente 5. IoT en agricultura 6. Tecnología LoRa 7. Innovación agrícola I. Universidad Santo Tomás (Colombia).

CDD 631.3

CO-BoUST

© Luis Carlos Triviño Torres, autor, 2024

© Universidad Santo Tomás, 2024

Ediciones USTA

Bogotá, D. C., Colombia

Carrera 9 n.º 51-11

Teléfono: (+571) 587 8797, ext. 2991

editorial@usta.edu.co

<http://ediciones.usta.edu.co>

Corrección de estilo:

Ludwing Cepeda Aparicio

Diagramación y diseño de cubierta:

Patricia Montaña D.

Hecho el depósito que establece la ley

e-ISBN: 978-958-782-667-8

Primera edición, 2024

Universidad Santo Tomás

Vigilada MinEducación

Reconocimiento personería jurídica:

Resolución 3645 del 6 de agosto de 1965,

MinJusticia

Acreditación Institucional de Alta Calidad

Multicampus: Resolución 014525 del 28 de julio de 2022, 8 años, MinEducación

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio, sin la autorización expresa del titular de los derechos.

CONTENIDO

Introducción	11
La agricultura inteligente	11
 Capítulo uno	
Fundamentos de la agricultura inteligente	13
El papel de la tecnología IoT en la agricultura moderna	14
Aplicaciones de IoT en la agricultura	17
Ventajas y desafíos de la agricultura inteligente	19
 Capítulo dos	
Tecnología LoRa en detalle	23
¿Qué es LoRa? (Long range, baja potencia)	24
Comparación con otras tecnologías de comunicación	26
Arquitectura y componentes de una red LoRa	27
Alcance y eficiencia energética de LoRa	29
 Capítulo tres	
Implementación del dispositivo IoT Agro Llanos Tec	31
Construyendo el dispositivo LoRa Emisor	31
Diagrama esquemático dispositivo LoRa emisor con panel solar	32
Programación del dispositivo LoRa emisor	33
Construyendo el dispositivo LoRa receptor	34
Diagrama esquemático dispositivo LoRa receptor	35
Programación del dispositivo LoRa receptor	36
 Capítulo cuatro	
Monitoreo y Control de Cultivos con IoT y LoRa	37
Sistema de riego automático para el cultivo de maíz mediante el dispositivo IoT Agro Llanos Tec	37
Estación meteorológica para el cultivo de plátano con el dispositivo IoT Agro Llanos Tec	44

Evaluación de la calidad del agua para cultivos de piña con el dispositivo IoT Agro Llanos Tec	47
Casos de éxito en la agricultura inteligente en Colombia	49
Arma tu propio sistema IoT para agricultura inteligente	51
Definir objetivos	51
Seleccionar sensores y actuadores	52
Elegir plataforma de IoT	54
Desarrollar o configurar el hardware	56
Programar el dispositivo	60
Recopilar y analizar datos	62
Visualización y control	64
Automatización, mantenimiento y actualizaciones	65
Seguridad y escalabilidad	66
Conclusiones	68
Referencias	69
Agradecimientos	69

Lista de figuras

Figura 1-1. Cultivo de maíz en la región de Acacias, Meta, Colombia	13
Figura 1-2. Monitoreo cultivo de piña, Acacias, Meta	14
Figura 1-3. Control de riego cultivo de piña, Acacias, Meta	15
Figura 1-4. Automatización a través del microcontrolador ESP32 en cultivo de maíz. Acacias, Meta	15
Figura 1-5. Toma de decisiones sobre el rendimiento del cultivo de maíz, Acacias, Meta	16
Figura 1-6. Monitoreo del cultivo de plátano a través del dispositivo IoT Agro llanos LoRa	16
Figura 1-7. Control del cultivo de maíz a través del dispositivo IoT Agro llanos	17
Figura 1-8. Monitoreo del cultivo de banano a través del dispositivo IoT Agro llanos Tec	18
Figura 1-9. Gestión de cultivo de piña a través del dispositivo IoT Agro llanos Tec	18
Figura 1-10. Cultivo de maíz, plátano y piña gestionado con IoT	19
Figura 1-11. Calidad de los productos a través de la tecnología IoT	20
Figura 2-1. Promotores del proyecto Agro llanos Tec	23
Figura 2-2. Tecnología LoRa en cultivos de maíz municipio de Acacias, Meta	25
Figura 2-3. Frecuencias LoRa para América del Sur, Colombia	25
Figura 2-4. Protocolos de comunicación	27
Figura 2-5. Arquitectura de una red LoRa	28
Figura 2-6. Transmisión de lecturas del sensor de humedad desde el emisor al receptor	29
Figura 2-7. Sistema Agro llanos Tec alimentado con energía solar	30
Figura 3-1. Diagrama esquemático dispositivo LoRa emisor con panel solar	32
Figura 3-2. Representación del funcionamiento dispositivo IoT Lora ESP32 con panel solar	34
Figura 3-3. Diagrama esquemático dispositivo IoT LoRa receptor	35
Figura 4-1. Sistema de riego para cultivo de maíz con Raspberry Pi	37
Figura 4-2. Broker - MQTT con Raspberry Pi y ESP32	41
Figura 4-3. Estación meteorológica Agro llanos Tec	44
Figura 4-4. Sistema de riego por goteo cultivo de plátano	45

Figura 4-5. Sensores para monitoreo de condiciones ambientales	46
Figura 4-6. Sensores detectores de movimiento	46
Figura 4-7. Eficiencia y ahorro de energía dispositivo IoT lora	47
Figura 4-8. Fuente de agua cultivo de piña Granada, Meta	47
Figura 4-9. Sensores para medir turbidez del agua y pH en cultivos	48
Figura 4-10. Cultivo de piña, Acacias, Meta con tecnología IoT	48
Figura 5-1. Soluciones IoT en agricultura	52
Figura 5-2. Sensores y actuadores para cultivos inteligentes	53
Figura 5-3. Plataformas IoT para agricultura inteligente	55
Figura 5-4. Sensor de velocidad del viento	57
Figura 5-5. Circuito impreso en PCB	57
Figura 5-6. Leguajes de programación para IoT	58
Figura 5-7. Software para diseño esquemático IoT	58
Figura 5-8. Medios de comunicación del ESP32	59
Figura 5-9. Arquitectura IoT AWS	63
Figura 5-10. Dashboard del ecosistema IoT ciberondas	64
Figura 5-11. Plataformas IoT para control, análisis y visualización	65

Lista de tablas

Tabla 1-1. Desafíos y oportunidades en agricultura inteligente de los Llanos Orientales	21
Tabla 2-1. Características de la tecnología LoRa	24
Tabla 2-2. Comparación de LoRa con otras tecnologías de comunicación	26
Tabla 2-3. Descripción de la arquitectura LoRa	28
Tabla 3-1. Elementos para construir el dispositivo IoT LoRa emisor	31
Tabla 3-2. Elementos para construir el dispositivo IoT LoRa receptor	35
Tabla 4-1. Características de una Raspberry Pi	38
Tabla 4-2. Pasos para configurar la Raspberry Pi y el ESP32 al bróker	41
Tabla 4-3. Casos de éxito en IoT y LoRa en Colombia	49
Tabla 5-1. Actividades del primer paso: objetivos claros	51
Tabla 5-2. Actividades para seleccionar los sensores y actuadores	52
Tabla 5-3. Tipos de sensores y sus características	54
Tabla 5-4. Plataforma en la nube de internet para gestionar dispositivos IoT	55
Tabla 5-5. Ventajas de usar la tecnología LoRa	59
Tabla 5-6. Descripción del código dispositivo emisor	60
Tabla 5-7. Descripción del código del receptor Lora	61
Tabla 5-8. Plataformas IoT para control, análisis y visualización de datos	65

Introducción

La agricultura inteligente

En el siglo XXI, la agricultura se encuentra en medio de una revolución tecnológica que está transformando la manera en que se cultivan los alimentos. La creciente demanda de alimentos, la necesidad de una gestión más eficiente de los recursos naturales y el cambio climático han impulsado el desarrollo de soluciones innovadoras en el campo de la agricultura. Una de estas soluciones, que está emergiendo como un pilar fundamental de la agricultura inteligente, es la tecnología IoT (internet de las cosas) en combinación con la tecnología LoRa (*long range*, baja potencia).

Este libro es una guía exhaustiva que explora el emocionante mundo de la agricultura inteligente, centrándose en la aplicación de la tecnología IoT y LoRa en el monitoreo y control de cultivos. Con el apoyo y la colaboración de la Universidad Santo Tomás, sede de Villavicencio, y su destacado semillero de investigación Ciberondas, así como la valiosa experiencia de agricultores dedicados al cultivo de maíz, piña y plátano en la región de los Llanos Orientales, junto con un grupo diverso de estudiantes investigadores, se examinará de cerca cómo la tecnología está revolucionando la agricultura en esta región única.

En las páginas que siguen, se explorará en detalle cómo la tecnología IoT permite la recopilación de datos en tiempo real a partir de una variedad de sensores y dispositivos dispersos por los campos y cultivos. Para ello, se utilizará el microcontrolador ESP32, electrónica y módulos LoRa RFM95W, asegurando una comunicación confiable y de largo alcance entre los sensores en el campo y la estación central (Triviño, 2023).

Además, para medir las condiciones específicas del suelo y el entorno, se incorporarán sensores de humedad de tierra y sensores de humedad DS18B20, permitiendo la recopilación de datos precisos para la toma de decisiones agrícolas. La energía necesaria para alimentar estos dispositivos provendrá de paneles solares y baterías recargables, asegurando la autonomía y la sostenibilidad de la estación meteorológica.

Dentro de las investigaciones, también se abordará el crucial aspecto del riego, mediante la utilización de una electroválvula para el control del riego por goteo, optimizando así el uso del agua y contribuyendo a la conservación de este recurso valioso.

Para la gestión de datos y la visualización, se implementará un servidor web y se utilizarán servicios como Arduino Cloud y un VPS (Servidor Privado Virtual) para garantizar el acceso y análisis centralizado de los datos recopilados. La comunicación entre dispositivos será posible gracias a un emisor LoRa y un receptor LoRa que formarán parte de este sistema integral.

A lo largo de este libro, se aprenderá sobre los sensores y dispositivos específicos utilizados en la agricultura inteligente, el diseño de redes LoRa, la electrónica necesaria, la integración de datos, las plataformas de gestión y la aplicación de la inteligencia artificial en la toma de decisiones agrícolas. También se explorarán casos de estudio reales que ilustran el impacto positivo que esta tecnología está teniendo en la agricultura de todo el mundo.

El dispositivo LoRa Agro Llanos, desarrollado por los integrantes del Semillero Ciberondas en el primer semestre del 2023, es una prueba viva de que la agricultura inteligente no es solo un concepto futurista; es una realidad que ya está transformando la forma en que se cultivan los alimentos. Este libro está diseñado para proporcionar a agricultores, ingenieros agrónomos, estudiantes y entusiastas de la tecnología agrícola una comprensión profunda de cómo la combinación de IoT, el dispositivo LoRa Agro Llanos y la tecnología en general están allanando el camino hacia una agricultura más eficiente, sostenible y productiva, en colaboración con los expertos y agricultores de la región de los Llanos Orientales de Colombia (Pereira, 2022).

Capítulo uno

Fundamentos de la agricultura inteligente



13

Figura 1-1. Cultivo de maíz en la región de Acacias, Meta, Colombia

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

En la región de los Llanos Orientales, en particular en las ciudades de Acacias, San Martín, Granada y Villavicencio, la producción agrícola se centra principalmente en cultivos como el plátano, el maíz, la piña y otros productos característicos de la zona. Sin embargo, es importante destacar que el uso de tecnologías IoT (internet de las

cosas) y la automatización en la agricultura es aún incipiente, lo que plantea desafíos significativos en términos de sostenibilidad y eficiencia en la producción.

En este capítulo, se abordan temas de gran relevancia, entre los que se incluyen el papel fundamental de la tecnología IoT en la agricultura moderna, ejemplos destacados de su aplicación en el sector agrícola de los lugares mencionados antes y un análisis detallado de las ventajas y desventajas de la agricultura inteligente.

El papel de la tecnología IoT en la agricultura moderna

En la agricultura moderna, la tecnología IoT ha emergido como un catalizador transformador. La conectividad y la recopilación de datos en tiempo real son componentes esenciales para impulsar la eficiencia, la sostenibilidad y la productividad en los sistemas agrícolas. A continuación, se exploran algunos aspectos clave del papel de la tecnología IoT en la agricultura (Marín-García, 2023).

Monitorización de condiciones: los sensores IoT permiten a los agricultores monitorear de manera precisa y en tiempo real una amplia gama de condiciones, como la humedad del suelo, la temperatura, la calidad del aire y la humedad atmosférica. Esta información ayuda a tomar decisiones informadas y a optimizar el crecimiento de los cultivos.

14

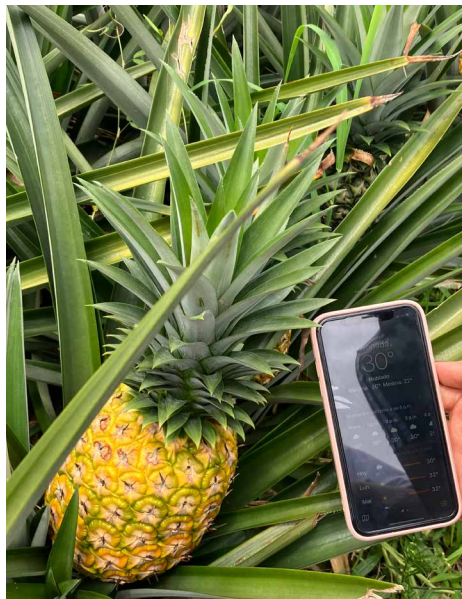


Figura 1-2. Monitoreo cultivo de piña, Acacias, Meta

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

Gestión de recursos: la tecnología IoT facilita la gestión eficiente de recursos críticos, como el agua y los fertilizantes. Los sistemas de riego inteligente pueden ajustar la cantidad de agua en función de las necesidades reales de los cultivos, reduciendo el desperdicio y mejorando el rendimiento (Fortes, 2020).



Figura 1-3. Control de riego cultivo de piña, Acacias, Meta

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

Automatización: los dispositivos IoT permiten la automatización de tareas agrícolas, desde la siembra y el monitoreo de plagas hasta la recolección. Esto reduce la dependencia de la mano de obra y agiliza los procesos.

15



Figura 1-4. Automatización a través del microcontrolador ESP32 en cultivo de maíz. Acacias, Meta

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

Toma de decisiones precisas: los datos recopilados por sensores IoT proporcionan información detallada que respalda la toma de decisiones precisas. Los agricultores pueden ajustar las prácticas agrícolas en función de datos en tiempo real, lo que conduce a una gestión más efectiva.



Figura 1-5. Toma de decisiones sobre el rendimiento del cultivo de maíz, Acacias, Meta

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

16

Conectividad: la conectividad IoT permite la comunicación instantánea entre dispositivos, agricultores y expertos agrícolas. Esto facilita la resolución rápida de problemas y la colaboración en tiempo real.



Figura 1-6. Monitoreo del cultivo de plátano a través del dispositivo IoT Agro llanos LoRa

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

La tecnología IoT desempeña un papel vital en la agricultura moderna, y la Universidad Santo Tomás, a través de su programa de Ingeniería Informática y la participación activa de los estudiantes en el semillero Ciberondas, está a la vanguardia de la promoción del conocimiento, la investigación y la aplicación práctica de esta tecnología en beneficio de la región de los Llanos Orientales de Colombia.

Aplicaciones de IoT en la agricultura

En los municipios de Villavicencio, Acacias, Guamal, San Martín y Granada, se cultivan una variedad de productos que incluyen plátano, piña, maíz, arroz, yuca, así como pasto para la ganadería. A continuación, se presentan ejemplos concretos de cómo la optimización del riego y el control de cultivos se ha mejorado significativamente a través del uso de dispositivos IoT, sensores y actuadores, contribuyendo así a la mejora en la producción agrícola en esta región.



Figura 1-7. Control del cultivo de maíz a través del dispositivo IoT Agro llanos

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

Como se observa en la figura 1-7, en el municipio de Acacías, Meta, se ha implementado una solución innovadora para el cultivo de maíz que involucra el uso del microcontrolador ESP32 y los sensores de humedad y temperatura DHT11. Estos dispositivos se utilizan para monitorear de manera precisa las variables climáticas, lo que, además, facilita el control y la automatización del riego. La información recopilada puede ser fácilmente visualizada a través de una plataforma de monitoreo en celulares, tablet y computador, proporcionando así una gestión más eficiente de los cultivos de maíz en la región.



Figura 1-8. Monitoreo del cultivo de banano a través del dispositivo IoT Agro llanos Tec

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

Como se observa en la figura 1-8, en la región de Granada, Meta, se destaca la eficacia del dispositivo IoT, el cual desempeña un papel fundamental en la gestión integral de los cultivos de banano. Desde la fase de siembra hasta el control del crecimiento y el monitoreo de variables climáticas, este dispositivo permite tomar decisiones informadas para cada procedimiento y proceso involucrado en la producción de banano, abarcando áreas que superan una hectárea de cultivo, por medio de la tecnología LoRa.

18

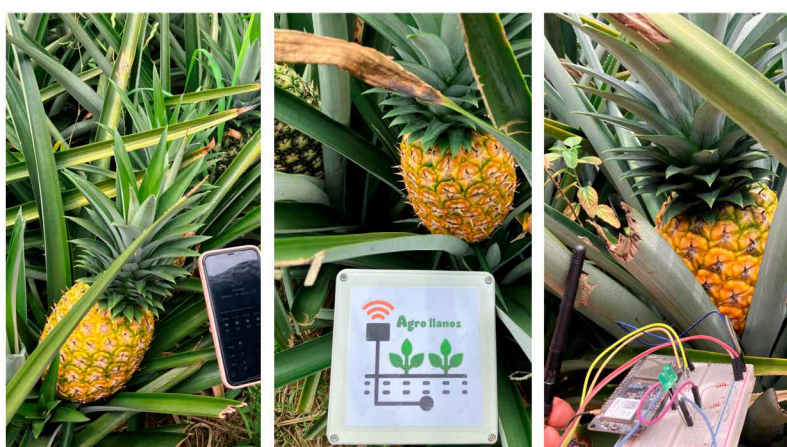


Figura 1-9. Gestión de cultivo de piña a través del dispositivo IoT Agro llanos Tec

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

En la figura 1-9 se muestra un cultivo de piña en la región de Acacias y San Martín, Meta, allí la agricultura inteligente se apoya en diversas fases que involucran el uso

de microcontroladores, sensores y sistemas de monitoreo. Esto permite supervisar las condiciones climáticas y el crecimiento de los cultivos de piña, y, en algunos casos, incluso controlar el riego. Además, la información recopilada se visualiza de manera accesible a través de una plataforma o panel de control en dispositivos como teléfonos celulares, tabletas y computadoras. Esta gestión se realiza de manera remota a través de Internet, en tiempo real, lo que brinda al agricultor un control total y efectivo sobre su cultivo.

Ventajas y desafíos de la agricultura inteligente



Figura 1-10. Cultivo de maíz, plátano y piña gestionado con IoT

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

El uso eficiente de la tecnología IoT en la región de los Llanos Orientales de Colombia, incluyendo los municipios de Villavicencio, Acacias y Granada, ha demostrado ser altamente beneficioso para mejorar el rendimiento de los cultivos en extensas áreas de tierra y hectáreas. Esta tecnología LoRa se destaca por su capacidad para el control de riego, el manejo de malezas y plagas, así como la gestión del crecimiento de los cultivos, lo que se traduce en resultados significativamente mejorados en términos de productividad, como se puede apreciar en la figura 1-10.



Figura 1-11. Calidad de los productos a través de la tecnología IoT

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

20

Como se observar en la figura 1-11, en la región de los Llanos Orientales de Colombia, la producción de maíz, piña y banano es notablemente alta cuando se incorpora la tecnología IoT para la captura de información a través de sensores y dispositivos que permiten monitorear el estado de los cultivos en tiempo real. En esta región, la producción de maíz abarca alrededor de 3000 hectáreas, mientras que el cultivo de piña se extiende por más de 5000 hectáreas. Además, el banano y el plátano también ocupan un lugar destacado, con aproximadamente 1000 hectáreas destinadas a su producción.

La tabla 1-1 sobre desafíos, soluciones y actividades en la implementación de IoT en la agricultura de piña, plátano y maíz en los Llanos Orientales de Colombia tiene como objetivo principal guiar a los agricultores y profesionales agrícolas en la adopción exitosa de tecnologías avanzadas. En un primer plano, identifica los desafíos clave que pueden surgir, como la inversión inicial y la conectividad limitada, y propone soluciones prácticas, como el acceso a financiamiento y el uso de energías renovables. Luego, presenta actividades concretas, como la búsqueda de capacitación y la colaboración con reguladores, para ayudar a superar estos desafíos y aprovechar al máximo las ventajas de IoT en la agricultura.

En conjunto, esta tabla ofrece una hoja de ruta integral que no solo aborda los obstáculos comunes que enfrentan los agricultores en la región, sino que también brinda soluciones tangibles y actividades específicas para impulsar la implementación exitosa de IoT y mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la producción de piña, plátano y maíz en los Llanos Orientales de Colombia.

Tabla 1-1. Desafíos y oportunidades en agricultura inteligente de los Llanos Orientales

DESAFÍOS	SOLUCIONES	ACTIVIDADES
Inversión Inicial	Acceso a financiamiento agrícola, convenios con instituciones.	Buscar oportunidades de financiamiento. Identificar programas de subsidios disponibles.
Conectividad	Infraestructura de redes locales. Uso de tecnologías de baja potencia. Implementación de redes	Evaluar opciones de infraestructura de redes. Investigar tecnologías de baja potencia.
Capacitación	Programas de capacitación y entrenamiento. Asesoramiento técnico local. Comunidades de práctica agrícola.	Identificar programas de capacitación. Buscar asesoramiento técnico local.
Seguridad de datos	Encriptación de datos. Protección de sistemas con <i>firewall</i> .	Implementar encriptación de datos. Reforzar la seguridad con <i>firewalls</i> . Garantizar el cumplimiento normativo.
Adaptación a Variables Climáticas	Sensores climáticos avanzados. Modelos predictivos mejorados. Actualización regular de algoritmos.	Evaluar la adquisición de sensores avanzados. Mejorar modelos predictivos. Programar actualizaciones periódicas.
Gestión de la Energía	Uso de energía solar y eólica. Baterías de larga duración. Sistemas de gestión de energía eficientes.	Evaluar la viabilidad de fuentes de energía renovable. Adquirir baterías de larga duración. Implementar sistemas de gestión de energía solar

Fuente: elaboración propia.

Capítulo dos

Tecnología LoRa en detalle



Figura 2-1. Promotores del proyecto Agro llanos Tec

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

El objetivo del capítulo dos, “Tecnología LoRa en detalle”, es ofrecer una exploración exhaustiva de la tecnología LoRa (*long range*, baja potencia). A lo largo de este capítulo, se busca proporcionar a los lectores una comprensión completa de LoRa, desde su definición y características distintivas hasta su comparación con otras tecnologías de comunicación. Además, se desglosa la arquitectura y los componentes de una red LoRa, destacando su alcance y su eficiencia energética, elementos esenciales para comprender cómo esta tecnología puede aplicarse eficazmente en contextos agrícolas y otras aplicaciones relacionadas (Ríos Hernández, 2021).

Cabe mencionar que el compromiso de la Universidad Santo Tomás es fundamental en este proceso, ya que busca preparar a los ingenieros informáticos con competencias en esta área. Como se muestra en la figura 2-1 desde semillero Ciberondas, se proponen actividades que llevan a la construcción de dispositivos IoT para implementarlos en los cultivos de la región, lo que proporciona a los estudiantes una comprensión práctica

y significativa de sus aprendizajes, fortaleciendo así su formación en esta tecnología emergente.

¿Qué es LoRa? (Long range, baja potencia)

La tecnología LoRa (*long range*, baja potencia) es una tecnología de comunicación inalámbrica diseñada para transmitir datos a largas distancias con un consumo de energía muy bajo. LoRa se utiliza principalmente en aplicaciones de IoT y permite la comunicación de dispositivos a larga distancia con una vida útil prolongada de la batería.

En la tabla 2-1, se aprecian las principales características de la tecnología LoRa.

Tabla 2-1. Características de la tecnología LoRa

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Alcance prolongado	Transmisión de datos a largas distancias
Bajo consumo de energía	Eficiencia energética para una larga duración
Comunicación bidireccional	Posibilidad de enviar y recibir datos
Conectividad en áreas remotas	Funciona en lugares con cobertura limitada
Adaptabilidad	Adecuado para diferentes frecuencias y regiones
Costo efectivo	Infraestructura económica para implementar

Fuente: elaboración propia.

Para comprender la aplicación de esta tecnología en el cultivo de maíz, se visita la ciudad de Acacias, en el departamento de Meta. Allí se exploró cómo la implementación de esta solución mejoró significativamente los procedimientos y la calidad del producto. Un ejemplo destacado fue la introducción de los módulos transceptores LoRa rfm95w, como se ilustra en la figura 2-1, lo que marcó un avance importante en la optimización de los cultivos de maíz en esta región (Bertoleti, 2019).



Figura 2-2. Tecnología LoRa en cultivos de maíz municipio de Acacias, Meta

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

La técnica de modulación empleada en LoRa habilita la transmisión de pequeñas cantidades de datos a distancias considerablemente extensas, lo que resulta en una limitación en el ancho de banda disponible. Además, su destacada inmunidad a las interferencias y su eficiente consumo de energía permiten llevar a cabo comunicaciones de largo alcance con una demanda energética mínima.

25



Figura 2-3. Frecuencias LoRa para América del Sur, Colombia

Fuente: <https://www.thethingsnetwork.org/>(2023)

De acuerdo con la figura 2-3, LoRa hace uso de frecuencias sin licencia que se encuentran disponibles a nivel global, siendo las más empleadas las siguientes: 868 MHz para Europa, 915 MHz para América del Norte y de 433 MHz para Asia.

Un aspecto significativo de estas bandas radica en que no requieren licencia para su utilización, lo que significa que cualquier individuo o entidad puede emplearlas libremente sin la necesidad de pagar o tramitar una licencia específica. En el contexto de Colombia, corresponde a 915 MHz, lo que resulta especialmente relevante para la región de los Llanos Orientales, que engloba las ciudades de Villavicencio, San Martín, Acacias y Granada en el departamento de Meta.

Comparación con otras tecnologías de comunicación

A continuación, en la tabla 2-2 se presenta una comparación de la tecnología LoRa con otras tecnologías de comunicación inalámbrica, como Wifi, Bluetooth y Sigfox, en varios aspectos clave.

Tabla 2-2. Comparación de LoRa con otras tecnologías de comunicación

ASPECTO	LORA	WIFI	BLUETOOTH	SIGFOX
Alcance	Largo (varios km)	Corto (100 m – 300 m)	Corto (10 m – 100 m)	Largo (vario
Consumo de energía	Bajo	Moderado	Bajo	Muy bajo
Ancho de banda	Bajo	Alto	Bajo	Bajo
Capacidad de datos	Baja a media	Alta	Baja	Baja a media
Conexiones simultáneas	Bajas	Altas	Medias	Bajas
Uso de espectro licenciado	No	Sí	Sí	Sí
Topología de red	Estrella o malla	Estrella o malla	Punto a punto o malla	Estrella o malla
Costo de infraestructura	Bajo	Moderado	Bajo	Moderado
Casos de uso	IoT, agricultura, LPWAN	Redes domésticas, empresariales	Dispositivos personales, periféricos	IoT, monitoreo ambiental

Fuente: elaboración propia.

Al analizar la tabla comparativa de tecnologías de comunicación inalámbrica, es evidente que LoRa destaca como una solución especialmente adecuada para aplicaciones de IoT y agricultura en regiones como los Llanos Orientales de Colombia.

Su notable alcance, bajo consumo de energía y capacidad de operar en frecuencias sin licencia lo convierten en una elección estratégica para los agricultores de esta región.

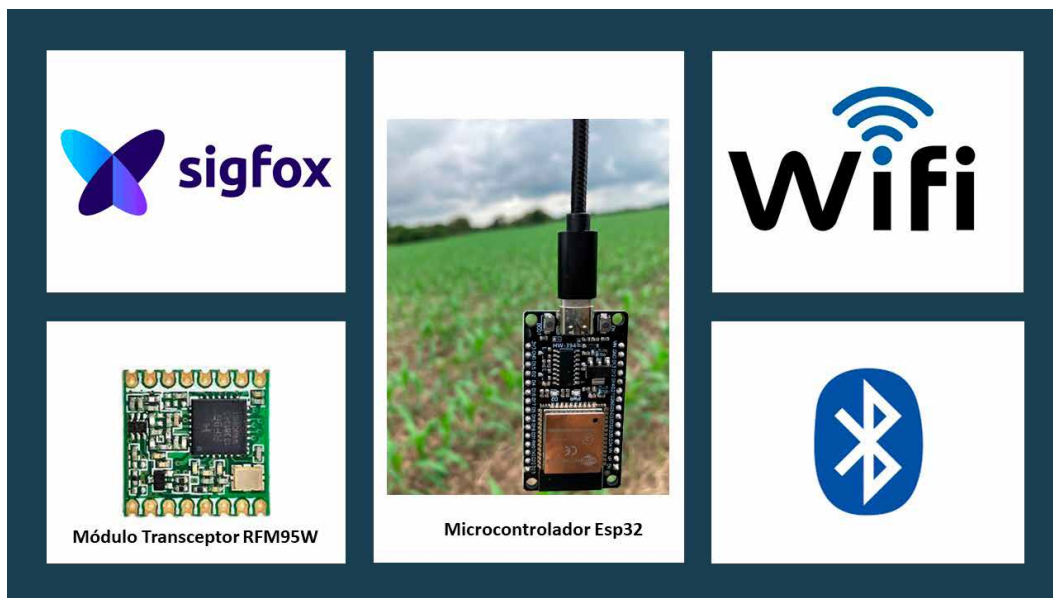


Figura 2-4. Protocolos de comunicación

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

Para los campesinos de los Llanos Orientales de Colombia, la tecnología LoRa ofrece la ventaja de establecer conexiones de larga distancia y monitorear sus cultivos de manera eficiente, incluso en áreas remotas. La capacidad de LoRa para operar en la frecuencia de 915 MHz, específica para esta zona, demuestra ser una solución óptima para abordar los desafíos agrícolas locales y potenciar el crecimiento de la agricultura inteligente (ver figura 2-4).

Arquitectura y componentes de una red LoRa

La arquitectura y los componentes de una red LoRa se conforman de varios elementos clave que trabajan juntos para habilitar la comunicación inalámbrica de largo alcance. En la figura 2-5, se describen estos componentes.

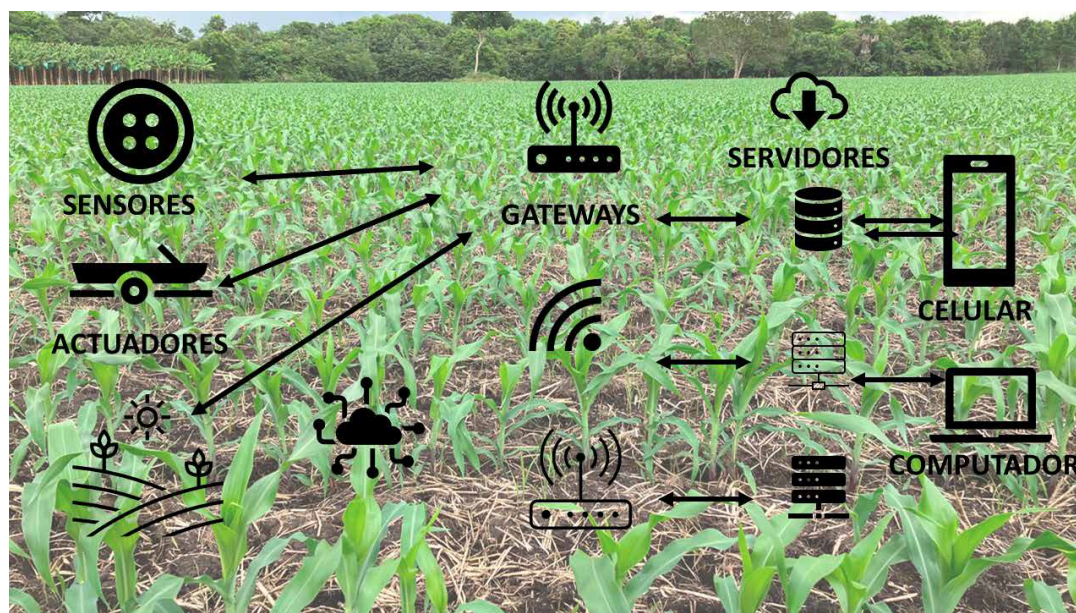


Figura 2-5. Arquitectura de una red LoRa

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

A continuación, en la tabla 2-3 se hace una descripción de cada uno de los componentes de la arquitectura de una red LoRa.

Tabla 2-3. Descripción de la arquitectura LoRa

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
Nodos LoRa	Dispositivos o sensores que recopilan datos del entorno y los transmiten a través de LoRa.
Gateway LoRa	Puntos de acceso que reciben datos de los nodos LoRa y los retransmiten a la red.
Red LoRa	Infraestructura de comunicación que consta de múltiples Gateway LoRa en una zona geográfica.
Servidor de red	Gestiona la comunicación entre Gateway y nodos LoRa, y facilita la transmisión de datos.
Servidor de aplicación	Procesa y almacena los datos recopilados, permitiendo su visualización y análisis.
Aplicaciones de usuario final	Interfaces para que los usuarios accedan y utilicen los datos de la red LoRa.
Conectividad a la nube	Envía datos a la nube para su almacenamiento y análisis adicionales, facilitando el acceso remoto.

Fuente: elaboración propia.

La tabla 2-3 presenta la arquitectura de una red LoRa para habilitar la comunicación inalámbrica de largo alcance en dispositivos IoT. Sus componentes principales incluyen nodos y *gateways* LoRa, una red de comunicación, servidores de red y aplicaciones de usuario final. El objetivo es permitir la recopilación y transmisión eficiente de datos ambientales y su procesamiento para diversas aplicaciones, como agricultura inteligente (Alliance, octubre 11-12 de 2023).

Alcance y eficiencia energética de LoRa

LoRa es conocida por su impresionante alcance y eficiencia energética, lo que la convierte en una tecnología ideal para áreas rurales, como los municipios de Granada, Acacias, San Martín y Villavicencio en el departamento del Meta.

Alcance: (Tovar-Soto, 2021) LoRa es capaz de proporcionar una comunicación de largo alcance, superando fácilmente los obstáculos geográficos y las distancias. En estas zonas rurales, donde la dispersión de tierras es común, LoRa permite la conectividad efectiva a través de extensos campos, a menudo alcanzando diez kilómetros o más (figura 2-6).

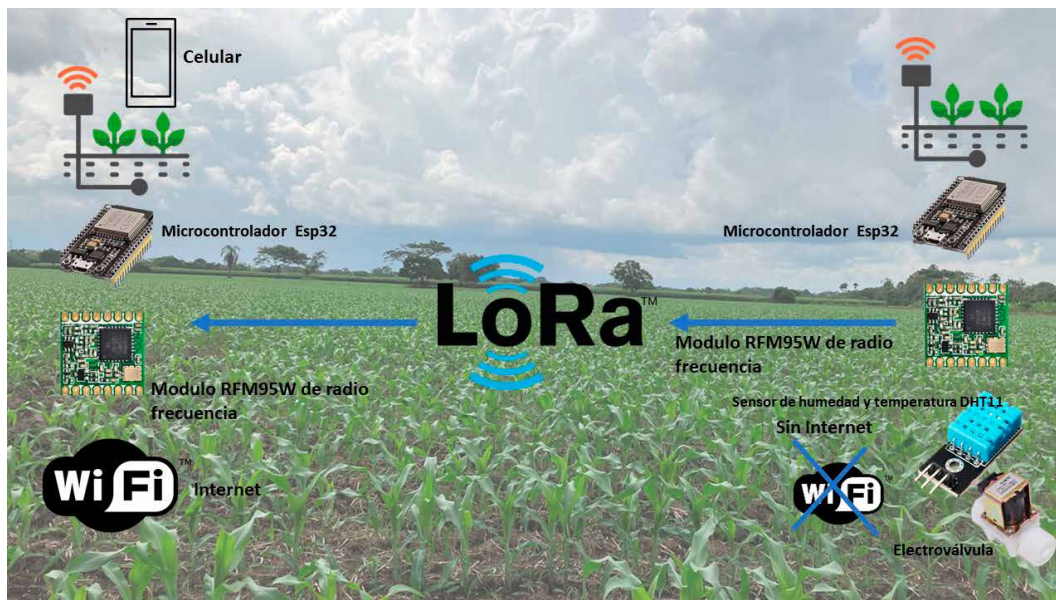


Figura 2-6. Transmisión de lecturas del sensor de humedad desde el emisor al receptor

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

Eficiencia energética: la eficiencia energética de LoRa es fundamental en lugares donde el acceso a fuentes de energía confiables puede ser limitado. En este contexto, la combinación de LoRa con paneles solares y energía eólica permite un funcionamiento sostenible y de bajo consumo, ya que estos sistemas de energía renovable pueden alimentar los dispositivos LoRa de manera continua (figura 2-7).

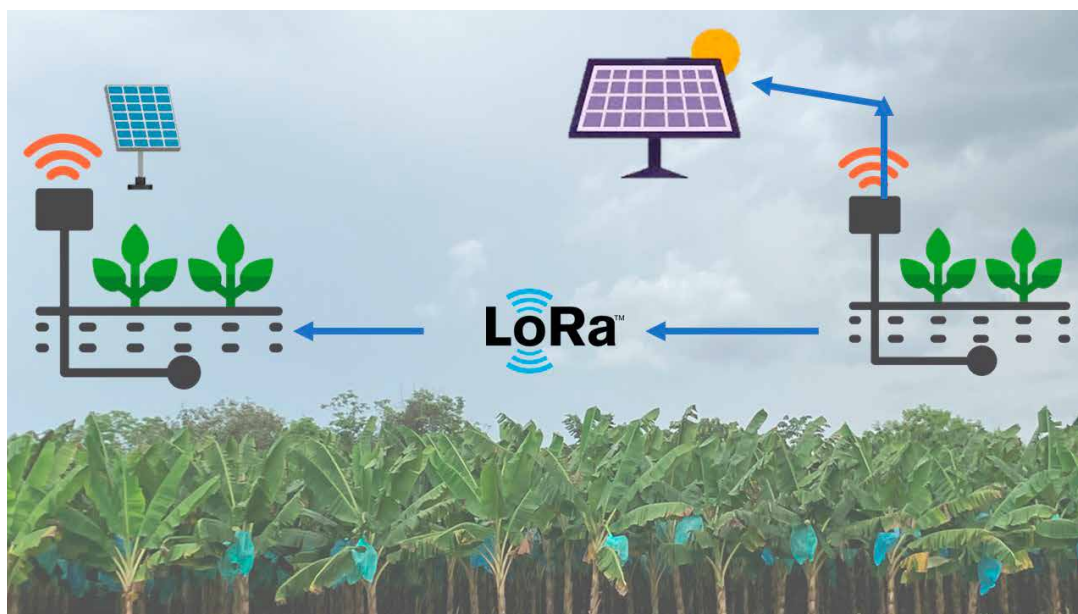


Figura 2-7. Sistema Agro llanos Tec alimentado con energía solar

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

Debido a la ubicación geográfica de los municipios previamente mencionados en la región de los Llanos Orientales, la energía solar es una ventaja significativa que facilita la implementación de sistemas IoT sostenibles. Estos dispositivos IoT pueden ser alimentados eficazmente mediante baterías respaldadas por paneles solares. Un ejemplo concreto es la aplicación en el cultivo de plátano en el municipio de Granada, donde las electroválvulas utilizadas para el riego automático y el sistema agnóstico se alimentan de fuentes de energía renovable, aprovechando así el abundante recurso solar disponible en la región. Esto no solo promueve la sostenibilidad, sino que también demuestra el potencial de la tecnología IoT para optimizar los procesos agrícolas en estas áreas rurales (figura 2-7).

Capítulo tres

Implementación del dispositivo IoT Agro llanos Tec

Construyendo el dispositivo LoRa Emisor

A continuación, se presenta el diseño, la construcción y la implementación de un dispositivo emisor basado en el microcontrolador ESP32, que se integra con la plataforma IoT. Los elementos correspondientes se muestran en la tabla 3-1.

Tabla 3-1. Elementos para construir el dispositivo IoT LoRa emisor

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS
	Dos microcontroladores ESP32 DOIT DEVKIT V1: el ESP2 es un microcontrolador ampliamente utilizado en proyectos de IoT debido a su capacidad de conectividad Wifi y Bluetooth, lo que permite comunicación inalámbrica y control remoto en diversas aplicaciones.
	Dos módulos transceptores LoRa (RFM95w): el módulo transceptor LoRa RFM95 permite la comunicación inalámbrica de largo alcance en aplicaciones de IoT y sensorización.
	Una protoboard: na protoboard es una placa para prototipos electrónicos. Se utiliza para crear y probar circuitos sin necesidad de soldar.

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS
	Cables puente (<i>jumper</i>): los cables jumper son cables cortos con conectores en ambos extremos que se utilizan para conectar componentes electrónicos en protoboards y otros dispositivos sin necesidad de soldar.
	Dos paneles de 5V generan electricidad a 5 voltios utilizando la energía solar. Se utiliza para cargar dispositivos que funcionan a esta tensión, como teléfonos, cámaras y dispositivos IoT

Fuente: [https://www.arduino.cc/\(2023\)](https://www.arduino.cc/(2023))

Diagrama esquemático dispositivo LoRa emisor con panel solar

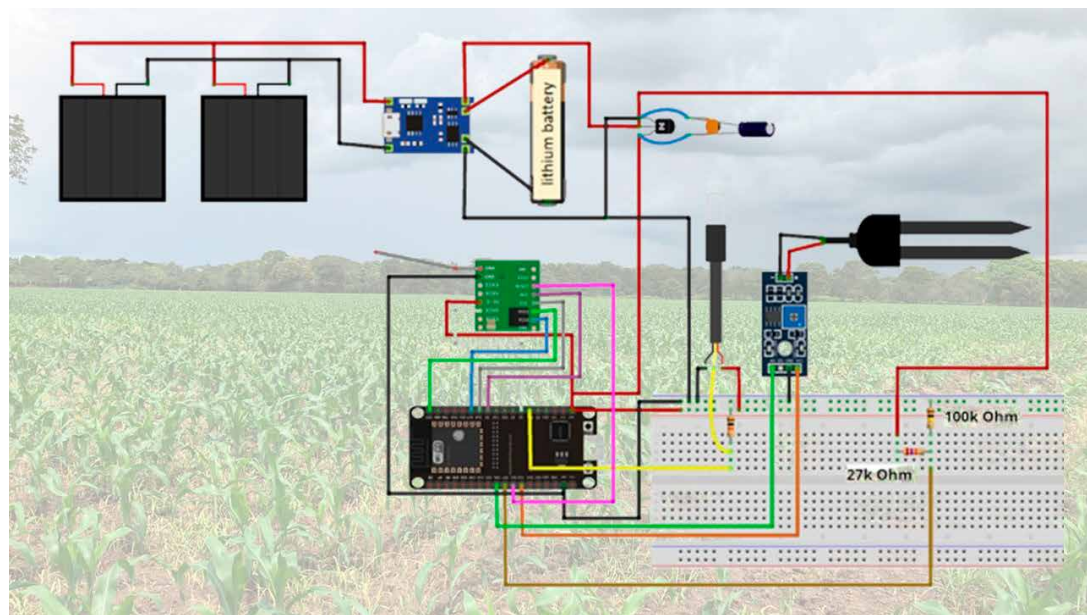


Figura 3-1. Diagrama esquemático dispositivo LoRa emisor con panel solar

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

Programación del dispositivo LoRa emisor

```
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

#define SS_PIN 10
#define RST_PIN 9
#define DIO_PIN 2

// Define el pin del LED
#define LED_PIN 13

// Inicializa el bus OneWire
OneWire oneWire(7); // Conecta el sensor DS18B20 al pin 7
DallasTemperature sensors(&oneWire);
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial);

  Serial.println("LoRa Sender");
  pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(LED_PIN, LOW);

  if (!LoRa.begin(433E6)) {
    Serial.println("LoRa initialization failed. Check your connections.");
    while (true);
  }

  // Inicializa el sensor DS18B20
  sensors.begin();
}

void loop() {
  Serial.println("Sending message...");

  // Lee la temperatura del sensor DS18B20
  sensors.requestTemperatures();
  float temperatureC = sensors.getTempCByIndex(0);

  // Mensaje a enviar
  String message = "Temperature: " + String(temperatureC, 2) + " C";
  LoRa.beginPacket();
```

```

LoRa.print(message);
LoRa.endPacket();

Serial.println(«Message sent!»);
digitalWrite(LED_PIN, HIGH); // Enciende el LED durante la transmisión
delay(5000); // Espera 5 segundos antes de enviar el siguiente mensaje
digitalWrite(LED_PIN, LOW); // Apaga el LED
}

```

Atención: este código lee la temperatura del sensor DS18B20 y la incluye en el mensaje LoRa junto con un LED que se encenderá durante la transmisión del mensaje. Asegúrate de conectar el sensor DS18B20 al pin 7 y de que los pines estén correctamente conectados físicamente en tu circuito (figuras 3-1 y 3-2).

34

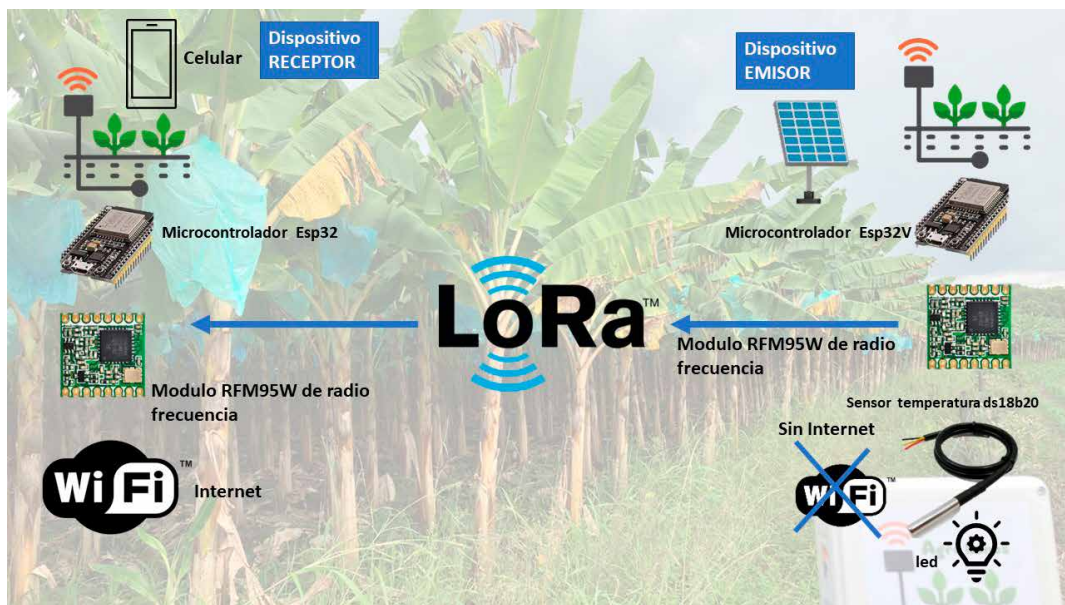


Figura 3-2. Representación del funcionamiento dispositivo IoT Lora ESP32 con panel solar

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

Construyendo el dispositivo LoRa receptor

A continuación, se presenta el diseño, la construcción y la programación de un dispositivo IoT receptor basado en el microcontrolador ESP32, que se integra con la plataforma IoT. Los elementos correspondientes se muestran en la tabla 3-2.

Tabla 3-2. Elementos para construir el dispositivo IoT LoRa receptor

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS
	Dos microcontroladores ESP32 DOIT DEVKIT V1: el ESP2 es un microcontrolador ampliamente utilizado en proyectos de IoT debido a su capacidad de conectividad Wifi y Bluetooth, lo que permite comunicación inalámbrica y control remoto en diversas aplicaciones.
	Dos módulos transceptores LoRa (RFM95w): el módulo transceptor LoRa RFM95 permite la comunicación inalámbrica de largo alcance en aplicaciones de IoT y sensorización.
	Cables puente (<i>jumper</i>): los cables jumper son cables cortos con conectores en ambos extremos que se utilizan para conectar componentes electrónicos en protoboards y otros dispositivos sin necesidad de soldar.
	Una pantalla OLED Arduino es un tipo de pantalla que utiliza diodos orgánicos emisores de luz y puede ser controlada por una placa Arduino. Son populares en proyectos de electrónica debido a su delgadez, bajo consumo de energía y capacidad de mostrar información en tiempo real.

Fuente: elaboración propia.

Diagrama esquemático dispositivo LoRa receptor

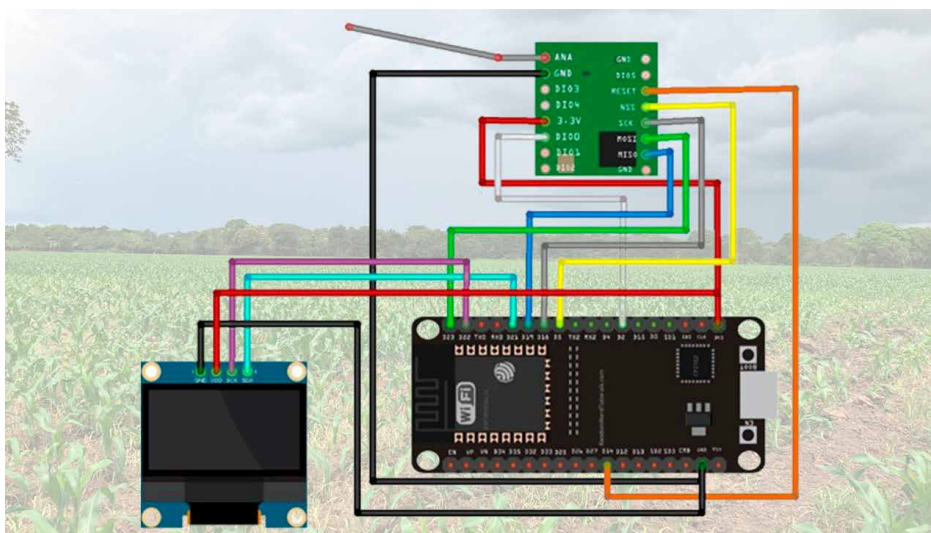


Figura 3-3. Diagrama esquemático dispositivo IoT LoRa receptor

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

Programación del dispositivo LoRa receptor

```
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
#define LORA_FREQUENCY 915E6 // Frecuencia LoRa en Hz

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  // Inicializar LoRa
  if (!LoRa.begin(LORA_FREQUENCY)) {
    Serial.println("Error al iniciar LoRa");
    while (1);
  }
}

void loop() {
  int packetSize = LoRa.parsePacket();
  if (packetSize) {
    Serial.print("Paquete recibido con ");
    Serial.print(packetSize);
    Serial.println(" bytes");

    // Leer y mostrar los datos recibidos
    while (LoRa.available()) {
      char c = LoRa.read();
      Serial.print(c);
    }
    Serial.println();
  }
}
```

Este código configura el microcontrolador ESP32 como receptor LoRa y muestra los datos recibidos por serie. Se debe asegurar de que la frecuencia configurada en el receptor coincida con la configuración del emisor.

Para procesar los datos recibidos, debes ajustar el código en la parte while (LoRa.available()) para interpretar los datos según el formato en el que se enviaron desde el emisor.

Este es un ejemplo básico para comenzar. Dependiendo de la aplicación, se podría guardar los datos en una variable, mostrarlos en una pantalla OLED, enviarlos a una plataforma en línea, etc.

Capítulo cuatro

Monitoreo y control de cultivos con IoT y LoRa

Este capítulo se enfoca en aplicaciones prácticas de IoT y LoRa para mejorar la agricultura en los Llanos Orientales de Colombia. Exploraremos cómo estas tecnologías ofrecen datos en tiempo real sobre condiciones del suelo, clima y crecimiento de cultivos, optimizando el riego y la toma de decisiones agronómicas. Con casos de estudio y proyectos reales, esta información es esencial para agricultores y expertos agrícolas interesados en implementar IoT y LoRa en sus cultivos.

Sistema de riego automático para el cultivo de maíz mediante el dispositivo IoT Agro Llanos Tec

37

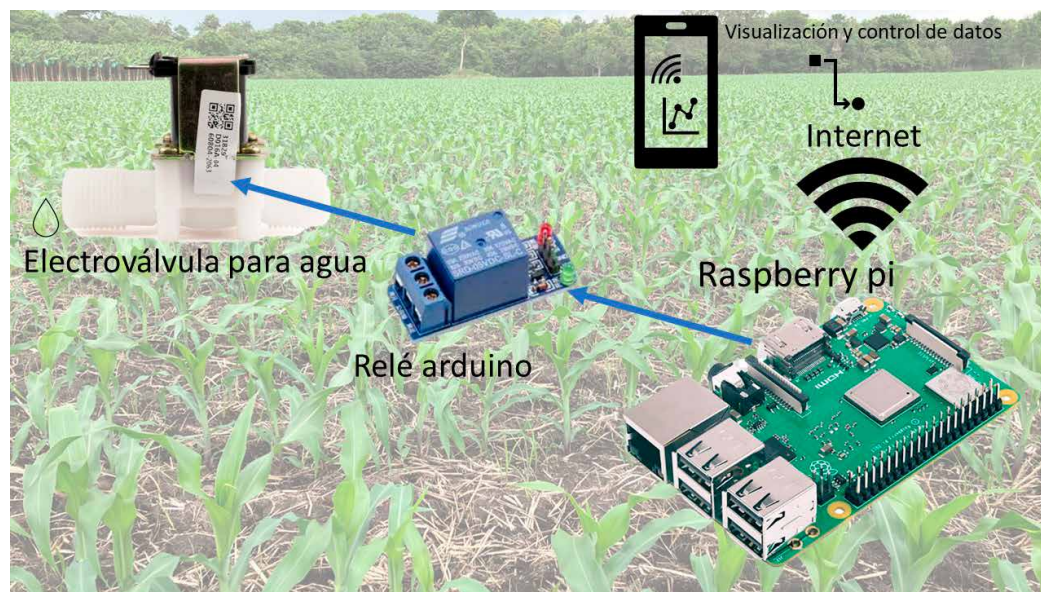


Figura 4-1. Sistema de riego para cultivo de maíz con Raspberry Pi

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

La figura 4-1 presenta un sistema de riego utilizado en el cultivo de maíz en la región de Acacias y San Martín, Meta. La Raspberry Pi es un dispositivo que permite el

almacenamiento y control de datos. Al conectar sensores y actuadores a través de un relé, se logra controlar la electroválvula utilizada para el riego de manera eficiente. Además, una Raspberry Pi se encarga de conectar con un servidor web, lo que posibilita la visualización de datos a través de dispositivos móviles, permitiendo el control del riego tanto desde una interfaz web como mediante una aplicación móvil.

La tabla 4-1 presenta las principales características de una Raspberry Pi.

Tabla 4-1. Características de una Raspberry Pi

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Tamaño	Compacto, cabe en la palma de la mano
Modelos	Varios modelos con diferentes especificaciones
RAM	1 GB a 8 GB, dependiendo del modelo
Puertos	USB, HDMI, GPIO (entrada/salida de propósito general)
Almacenamiento	Tarjeta microSD como medio principal
Conectividad	WiFi y Bluetooth en algunos modelos
Sistema operativo	Ejecuta varios sistemas, como Raspberry Pi OS
Versatilidad	Utilizada en diversos proyectos y aplicaciones IoT
Bajo consumo de energía	Eficiencia energética

Fuente: elaboración propia.

El uso de una Raspberry Pi como Gateway en un sistema de riego para el cultivo de maíz ofrece varias ventajas:

1. **Versatilidad:** la Raspberry Pi es una plataforma versátil que se puede adaptar para realizar diversas tareas, incluido el control de sensores y actuadores en un sistema de riego.
2. **Conectividad:** puede estar equipada con módulos Wifi y Bluetooth, lo que facilita la conectividad con sensores y otros dispositivos inalámbricos en el campo.
3. **Procesamiento de datos:** tiene suficiente potencia de procesamiento para manejar y procesar datos recopilados por sensores, lo que permite tomar decisiones basadas en la información recopilada.
4. **Almacenamiento:** puede utilizar la capacidad de almacenamiento de la Raspberry Pi para registrar datos históricos relacionados con el sistema de riego y el cultivo.
5. **Interfaz web:** puede alojar una interfaz web que permite a los agricultores monitorear y controlar el sistema de riego a través de una aplicación en línea o una aplicación móvil.

6. *Bajo costo*: en comparación con otras soluciones de Gateway, la Raspberry Pi es asequible y ofrece un rendimiento razonable para aplicaciones agrícolas.
7. *Bajo consumo de energía*: tiene un bajo consumo de energía en comparación con computadoras de escritorio o servidores, lo que puede ser beneficioso en ubicaciones remotas o donde la energía es limitada.

La Raspberry Pi es una opción viable como Gateway en sistemas de riego para cultivos de maíz debido a su versatilidad, conectividad y capacidad de procesamiento, todo ello a un costo razonable.

A continuación, se muestra un ejemplo básico de cómo podrías configurar una Raspberry Pi para activar un relé y tomar la temperatura desde una aplicación móvil utilizando Python y la biblioteca “Flask” para crear una API web simple. Se debe asegurar de que la Raspberry Pi esté configurada y tenga los módulos necesarios instalados, como el módulo GPIO para el control del relé y el módulo para leer la temperatura de un sensor DS18B20.

Código en Python:

```
from flask import Flask, request, jsonify
import RPi.GPIO as GPIO
import os
app = Flask(__name__)

# Configura el pin del relé
relay_pin = 17 # Reemplaza con el número de pin correcto
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(relay_pin, GPIO.OUT)
# Ruta para activar el relé
@app.route('/activar_rele', methods=['POST'])
def activar_rele():
    GPIO.output(relay_pin, GPIO.HIGH) # Enciende el relé
    return jsonify({'mensaje': 'Relé activado'})
# Ruta para desactivar el relé
@app.route('/desactivar_rele', methods=['POST'])
def desactivar_rele():
    GPIO.output(relay_pin, GPIO.LOW) # Apaga el relé
    return jsonify({'mensaje': 'Relé desactivado'})
# Ruta para leer la temperatura desde un sensor DS18B20

@app.route('/leer_temperatura', methods=['GET'])
def leer_temperatura():
    try:
```

```

    sensor_file = '/sys/bus/w1/devices/28-XXXXXXXXXXXX/w1_slave' # Reemplaza con
la dirección de tu sensor DS18B20
    with open(sensor_file, 'r') as file:
        lines = file.readlines()
        temperature = lines[1].split('=')[1]
        temperature = float(temperature) / 1000.0
        return jsonify({'temperatura': temperature})
    except Exception as e:
        return jsonify({'error': str(e)})
if __name__ == '__main__':
    app.run(host='0.0.0.0', port=5000)

```

Este código configura una API web simple con tres rutas:

1. '/activar_rele' Activa el relé.
2. '/desactivar_rele' Desactiva el relé.
3. '/leer_temperatura' Lee la temperatura desde un sensor DS18B20 conectado.

Para acceder a estas rutas desde una aplicación móvil, debes enviar solicitudes HTTP a la dirección IP de tu Raspberry Pi en el puerto 5000. Se debe asegurar de que la Raspberry Pi esté en la misma red del dispositivo móvil.

40

Este es un ejemplo básico, si desea personalizarlo según las necesidades y agregar autenticación si es necesario para mayor seguridad. Además, se debe asegurar de conectar correctamente el sensor DS18B20 y cambiar la dirección del archivo del sensor en el código.

Una alternativa adicional es vincular la Raspberry Pi a un servidor bróker - MQTT para facilitar la publicación y suscripción de datos procedentes de sensores y actuadores (figura 4-2).

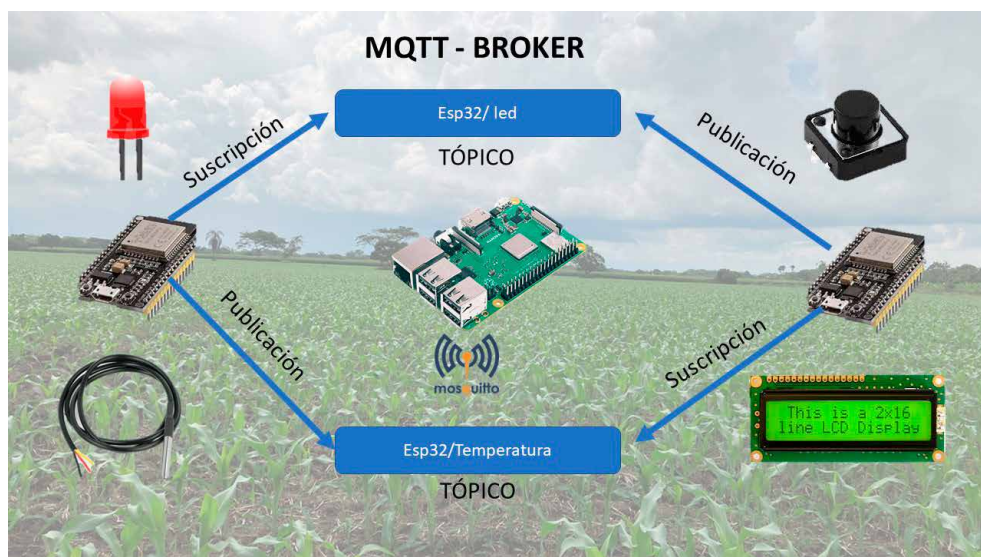


Figura 4-2. Broker - MQTT con Raspberry Pi y ESP32

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

Para conectar una Raspberry Pi al ESP32 utilizando un bróker MQTT como Mosquitto y establecer una comunicación bidireccional para recibir y enviar suscripciones de sensores y actuadores, siga los pasos que se observan en la tabla 4-2.

Tabla 4-2. Pasos para configurar la Raspberry Pi y el ESP32 al bróker

PASOS	DESCRIPCIÓN
Instala Mosquitto Bróker en la Raspberry Pi	Esto implica descargar e instalar el bróker MQTT Mosquitto en tu Raspberry Pi, que actuará como intermediario para la comunicación entre dispositivos MQTT.
Inicia el bróker Mosquitto en la Raspberry Pi	Después de la instalación, debes iniciar el servicio Mosquitto en la Raspberry Pi para que esté en funcionamiento y listo para recibir y transmitir mensajes MQTT.
Configura el ESP32 para conectarse al bróker Mosquitto	En el ESP32, configura el cliente MQTT para conectarse al bróker Mosquitto en la Raspberry Pi. Esto implica establecer la dirección IP y el puerto del bróker, así como las credenciales si es necesario.
Publica datos desde el ESP32 en temas MQTT específicos	En el ESP32, publica datos en temas MQTT específicos. Estos temas son como canales de comunicación que permiten que otros dispositivos se suscriban y reciban los datos.
Suscríbete a los mismos temas MQTT en la Raspberry Pi.	En la Raspberry Pi, suscríbete a los mismos temas MQTT en los que el ESP32 está publicando. Esto permite que la Raspberry Pi reciba los datos publicados por el ESP32.

PASOS	DESCRIPCIÓN
Procesa los datos recibidos en la Raspberry Pi y toma decisiones según sea necesario	Una vez que la Raspberry Pi recibe los datos MQTT del ESP32, puede procesarlos y tomar decisiones basadas en la información recibida. Esto puede implicar controlar actuadores, registrar datos o activar eventos.
Asegura la comunicación	Si es necesario, mediante autenticación y cifrado SSL/TLS. Si se requiere seguridad adicional, puedes implementar autenticación de dispositivos y cifrado SSL/TLS para proteger la comunicación entre el ESP32 y la Raspberry Pi.

Fuente: elaboración propia.

A continuación, un ejemplo de código para el ESP32 utilizando la plataforma Arduino IDE para suscribirse a un tema MQTT y publicar datos de temperatura y humedad. Se debe asegurar de que tenga la biblioteca “PubSubClient” instalada en el arduino IDE, ya que se usa para la comunicación MQTT.

Código fuente:

```
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>

// Datos de conexión WiFi
const char* ssid = «Tu_SSID»;
const char* password = «Tu_Contraseña»;

// Datos del servidor MQTT
const char* mqtt_server = “IP_del_Broker_MQTT”;
const int mqtt_port = 1883;
const char* mqtt_user = «Tu_Usuario_MQTT»;
const char* mqtt_password = «Tu_Contraseña_MQTT»;

// Cliente MQTT
WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);

// Tema MQTT al que te suscribirás
const char* topic = “sensores/temperatura_humedad”;

void setup() {
  Serial.begin(115200);

  // Conexión WiFi
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
```

```

    Serial.println("Conectando a WiFi...");
}
Serial.println("Conectado a la red WiFi");
// Configuración del cliente MQTT
client.setServer(mqtt_server, mqtt_port);
client.setCallback(callback);
}

void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length) {
    Serial.print("Mensaje recibido en el tema: ");
    Serial.println(topic);
    // Procesa el mensaje recibido si es necesario
    // En este ejemplo, asumimos que el mensaje es la temperatura y la humedad
    String message = "";
    for (int i = 0; i < length; i++) {
        message += (char)payload[i];
    }
    Serial.print("Mensaje recibido: ");
    Serial.println(message);

    // Realiza aquí cualquier acción adicional con los datos recibidos
}

```

43

```

void reconnect() {
    while (!client.connected()) {
        Serial.println("Conectando al servidor MQTT...");
        if (client.connect("ESP32Client", mqtt_user, mqtt_password)) {
            Serial.println("Conectado al servidor MQTT");
            client.subscribe(topic);
        } else {
            Serial.print("Error de conexión al servidor MQTT, rc=");
            Serial.print(client.state());
            Serial.println(" Intentando de nuevo en 5 segundos...");
            delay(5000);
        }
    }
}

void loop() {
    if (!client.connected()) {
        reconnect();
    }
    client.loop();
}

```

```
// Simulación de lecturas de temperatura y humedad
float temperatura = 25.5;
float humedad = 60.0;

// Convierte las lecturas en una cadena JSON
String data = "{\"temperatura\":\"" + String(temperatura) + "\", \"humedad\":\"" +
String(humedad) + "\"}";
// Publica los datos en el tema MQTT
client.publish(topic, data.c_str());

delay(5000); // Publica cada 5 segundos (ajustar según las necesidades)
}
```

Atención: Se debe modificar los valores de “ssid”, “password”, “mqtt_server”, “mqtt_port”, “mqtt_user”, y “mqtt_password” con la información correspondiente a la red Wifi y el servidor MQTT.

Este código se conectará a tu bróker MQTT, se suscribirá al tema especificado (“sensores/temperatura humedad” en este ejemplo) y publicará datos simulados de temperatura y humedad en ese tema. Se puede personalizar la parte del *callback* para procesar los datos recibidos según las necesidades.

44

Estación meteorológica para el cultivo de plátano con el dispositivo IoT Agro Llanos Tec



Figura 4-3. Estación meteorológica Agro llanos Tec

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

La estación meteorológica consta de varios componentes esenciales. En primer lugar, se encuentra un conjunto de sensores que incluye un sensor DHT11 para la medición de la humedad y la temperatura, así como un sensor de lluvia. Además, se ha incorporado un LED para indicar ciertos estados clave. Los datos recopilados por estos sensores se envían y visualizan a través de una plataforma en línea conocida como “thingspeak”. En esta plataforma, se encuentra un panel de control (*dashboard*) que presenta de manera gráfica y estadística los datos recopilados por los sensores (figura 4-3). Esta configuración permite una supervisión efectiva de las condiciones meteorológicas, proporcionando datos precisos y accesibles de manera conveniente.

El cultivo de plátano en la región de los Llanos Orientales de Colombia se beneficia significativamente de la implementación de tecnología IoT y LoRa. Estas tecnologías permiten un monitoreo más preciso y eficiente de las condiciones ambientales, lo que a su vez contribuye a mejorar la productividad y la calidad de los cultivos de plátano. Algunas de las formas en que estas tecnologías favorecen el cultivo de plátano en la región son:

1. **Optimización del riego:** la tecnología IoT permite medir con precisión la humedad del suelo y las condiciones climáticas en tiempo real. Esto permite ajustar el riego de manera óptima, evitando el desperdicio de agua y garantizando que los plátanos reciban la cantidad adecuada de humedad (figura 4-4).



Figura 4-4. Sistema de riego por goteo cultivo de plátano

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

2. **Monitoreo de condiciones ambientales:** sensores IoT pueden medir variables como la temperatura, la humedad y la radiación solar. Estos datos ayudan a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre cuándo plantar, cosechar o aplicar tratamientos, lo que mejora la gestión de los cultivos (figura 4-5).

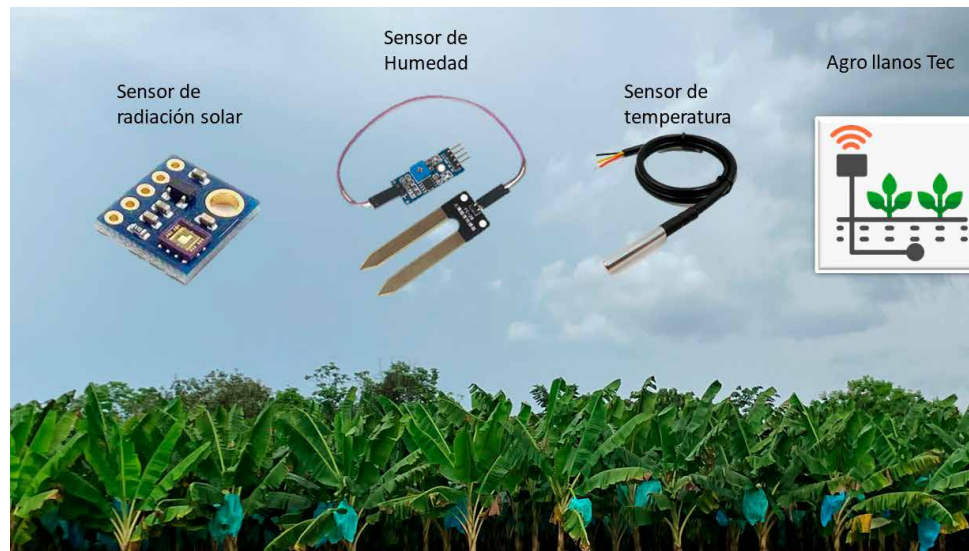


Figura 4-5. Sensores para monitoreo de condiciones ambientales

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

3. *Detección temprana de problemas:* los sensores pueden detectar problemas como plagas, enfermedades o condiciones climáticas extremas antes de que causen daño significativo a los plátanos. Esto permite una respuesta más rápida y efectiva para proteger los cultivos.

46

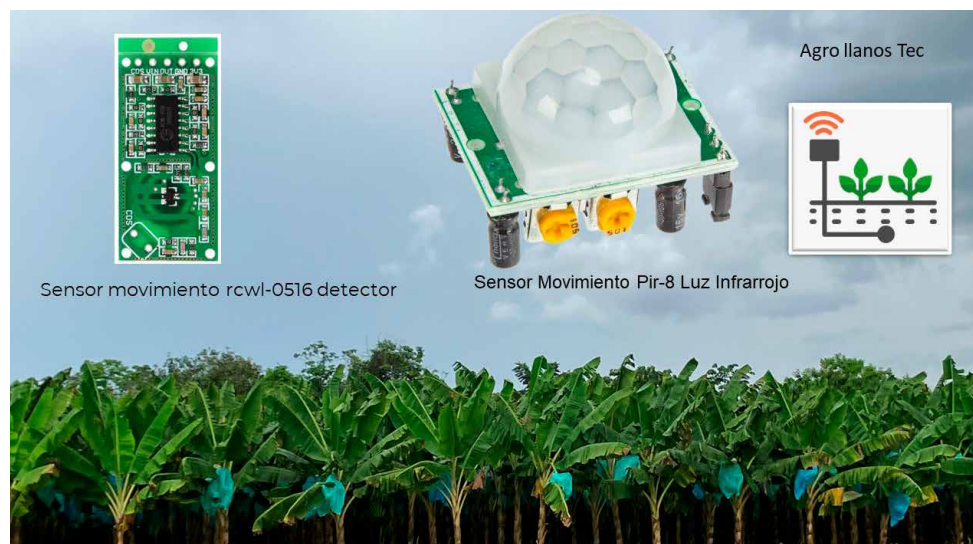


Figura 4-6. Sensores detectores de movimiento

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

4. *Aumento de la eficiencia energética:* la tecnología LoRa permite una comunicación de larga distancia con bajo consumo de energía, lo que es beneficioso en áreas rurales donde la infraestructura eléctrica puede ser limitada. Esto asegura que los dispositivos IoT funcionen de manera sostenible (figura 4-7).

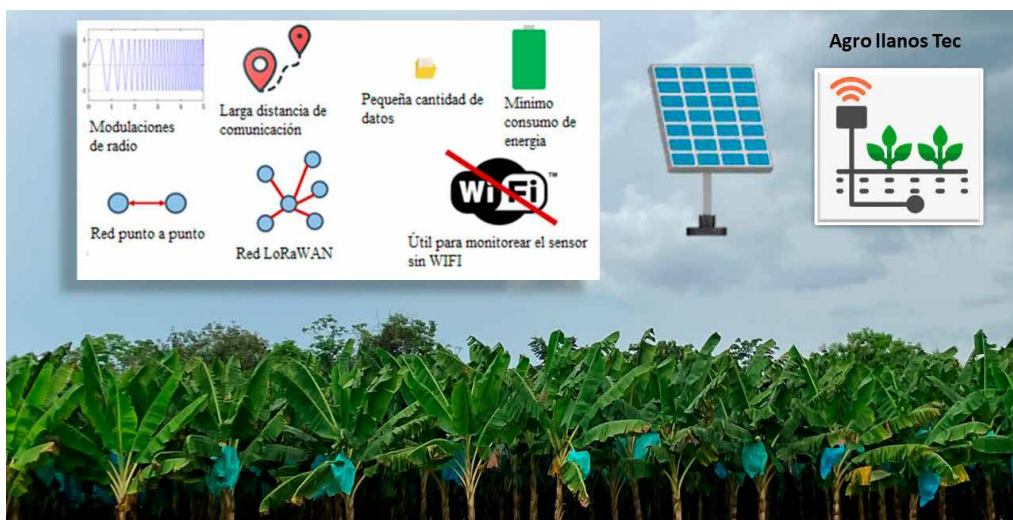


Figura 4-7. Eficiencia y ahorro de energía dispositivo IoT lora

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

Evaluación de la calidad del agua para cultivos de piña con el dispositivo IoT Agro Llanos Tec

La mejora de la calidad del agua en un cultivo de piña en el municipio de Granada, Meta, donde la producción de piña abarca grandes extensiones, es de suma importancia. La combinación de agua de lluvia y pozos profundos a menudo conduce a problemas relacionados con la calidad del agua que afectan la salud y el crecimiento de las plantas de piña. En este contexto, la Universidad Santo Tomás de Villaviciencio se ha comprometido activamente en la investigación y consulta de temas relacionados con el suministro de agua limpia para la agricultura (figura 4-8).

47



Figura 4-8. Fuente de agua cultivo de piña Granada, Meta

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

La implementación de soluciones basadas en IoT para monitorear y mejorar la calidad del agua en los cultivos de piña en la región se ha convertido en un enfoque clave. El uso de sensores y dispositivos IoT permite un seguimiento preciso de los niveles de nutrientes, pH y otros parámetros del agua, lo que contribuye a prevenir enfermedades de la piña y a maximizar su crecimiento. En la figura 4-9, se aprecia un ejemplo práctico.



Figura 4-9. Sensores para medir turbidez del agua y pH en cultivos

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

48

Además de los beneficios mencionados anteriormente, esta iniciativa liderada por la Universidad Santo Tomás tiene un impacto significativo en la sostenibilidad de la agricultura en la región de los Llanos Orientales de Colombia. La gestión eficiente y el uso responsable del agua son esenciales para garantizar una producción agrícola de calidad y sostenible, y para abordar los desafíos que enfrenta la producción de piña en esta área específica (figura 4-10).



Figura 4-10. Cultivo de piña, Acacias, Meta con tecnología IoT

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

Casos de éxito en la agricultura inteligente en Colombia

La agricultura inteligente revoluciona la producción de alimentos mediante tecnologías como IoT y LoRa, maximizando la eficiencia y sostenibilidad agrícola. Desde riego optimizado hasta monitoreo climático, esta innovación cambia la forma de cultivar alimentos. En la tabla 4-3 se observan las aplicaciones y beneficios en Colombia.

Tabla 4-3. Casos de éxito en IoT y LoRa en Colombia

CASO DE ÉXITO	CIUDAD	AÑO	DESCRIPCIÓN	IMPACTO
Proyecto Agro Llanos Tec	Villavicencio, Meta	2022	Agro Llanos Tec implementa dispositivos IoT y tecnología LoRa en la agricultura de los Llanos Orientales. Los agricultores utilizan sensores para monitorear y controlar cultivos, optimizando el uso de recursos y mejorando la productividad.	Aumento de la eficiencia y la producción agrícola en los Llanos Orientales.
Uso de drones en la agricultura de café	Manizales, Caldas	2020	Caficultores utilizan drones equipados con cámaras infrarrojas para monitorear la salud de sus cultivos de café. Esto permite identificar áreas de estrés y aplicar tratamientos específicos, lo que ha mejorado la calidad y el rendimiento del café.	Mejora en la calidad y el rendimiento del café colombiano.
Red de sensores para el cultivo de banano	Urabá, Antioquia	2019	Agricultores de banano implementan una red de sensores IoT para monitorear las condiciones del suelo y el clima. Esto ha optimizado el riego y la gestión de plagas, reduciendo costos y aumentando la producción.	Reducción de costos y aumento en la producción de banano.
Control de plagas en tomates con IoT	Cundinamarca	2021	Productores de tomates utilizan sensores y sistemas de monitoreo para detectar y prevenir plagas de manera temprana. Esto ha reducido el uso de pesticidas y mejorado la calidad de los tomates.	Menos uso de pesticidas y tomates de mejor calidad.

CASO DE ÉXITO	CIUDAD	AÑO	DESCRIPCIÓN	IMPACTO
Uso de sensores para ganadería	Meta, Casanare	2018	Ganaderos implementan sensores de salud y ubicación en el ganado. Esto permite un seguimiento más preciso de la salud de los animales y su ubicación, lo que ha aumentado la productividad y reducido pérdidas.	Aumento de la productividad ganadera y reducción de pérdidas.

Fuente: producción propia.

Estos ejemplos ilustran cómo la agricultura inteligente beneficia al sector agrícola colombiano.

Arma tu propio sistema IoT para agricultura inteligente

A continuación, se describen los pasos clave para implementar un sistema de agricultura inteligente basado en IoT que puede brindar mejoras significativas a tu operación agrícola:

Definir objetivos

Comience por definir claramente los objetivos. ¿Qué aspecto de la operación agrícola desea mejorar con la tecnología IoT? Pueden ser el monitoreo de condiciones climáticas, la optimización del riego, la gestión de plagas, etc. En la tabla 5-1 se describen las actividades relacionadas.

Tabla 5-1. Actividades del primer paso: objetivos claros

PASO	ACTIVIDADES
Identificación de desafíos y objetivos	Identificar desafíos agrícolas específicos. Establecer metas y objetivos medibles relacionados con los desafíos. Priorizar los objetivos según su importancia y urgencia. Evaluar los recursos disponibles para la implementación. Alinear los objetivos con la visión a largo plazo de la agricultura.

Fuente: producción propia.

En la figura 5-1, se representan los diversos procedimientos que pueden llevarse a cabo durante la producción en el cultivo. Estos incluyen aspectos como el monitoreo inteligente del río, la supervisión de las condiciones climáticas, el control de plagas, la evaluación de la calidad del suelo, la gestión de maquinaria agrícola y un sistema de almacenamiento avanzado, entre otros.

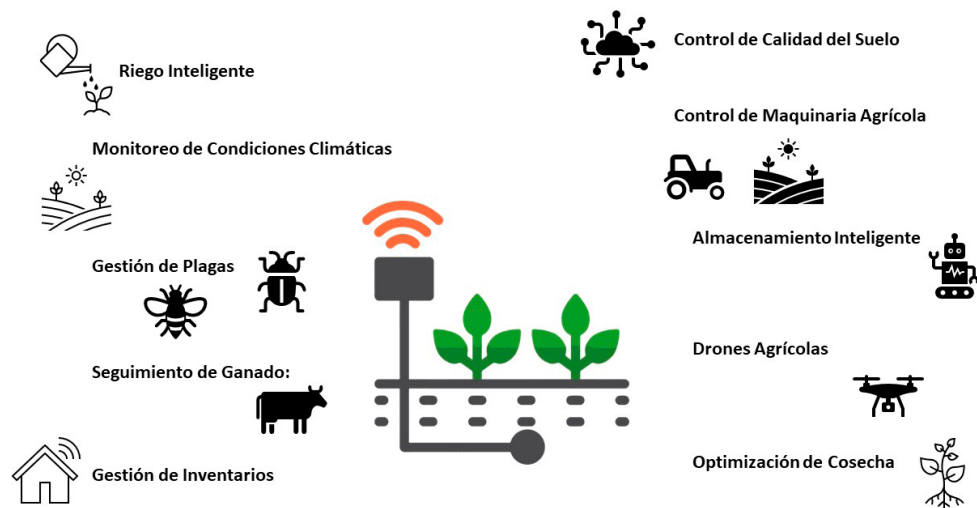


Figura 5-1. Soluciones IoT en agricultura

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

Seleccionar sensores y actuadores

52

Identifica los sensores y actuadores necesarios para recopilar datos y realizar acciones. Por ejemplo, sensores de humedad del suelo, temperatura, cámaras, electroválvulas para riego, etc.

Tabla 5-2. Actividades para seleccionar los sensores y actuadores

PASO	DESCRIPCIÓN DE PASO	ACTIVIDADES
Seleccionar sensores y actuadores	Elegir los dispositivos de medición y actuación adecuados.	1. Identificar las variables clave a medir en los cultivos rurales, como la humedad del suelo, temperatura, calidad del agua, niveles de nutrientes, etc. 2. Realizar un análisis detallado de las necesidades específicas de tu cultivo, considerando su ubicación geográfica y las condiciones ambientales. 3. Investigar y seleccionar sensores y actuadores que sean compatibles con las variables identificadas y adecuados para las condiciones locales.

PASO	DESCRIPCIÓN DE PASO	ACTIVIDADES
		4. Evaluar las características técnicas de los dispositivos, incluyendo la precisión, el rango de medición, la durabilidad y la capacidad de comunicación.
		5. Considerar la eficiencia energética de los dispositivos, especialmente si se utilizan fuentes de energía renovable como paneles solares o energía eólica.

Fuente: elaboración propia.

La selección de sensores y actuadores en agricultura inteligente es fundamental para garantizar la precisión de la recopilación de datos, la eficiencia en el uso de recursos y la adaptación a las condiciones locales. La elección de dispositivos compatibles, eficientes en energía y costo-efectivos permite una conectividad fluida, una mayor eficiencia energética y una inversión rentable. Además, esta etapa requiere una cuidadosa documentación y seguimiento para facilitar el mantenimiento y la expansión del sistema en el futuro. En conjunto, estos factores aseguran que el sistema IoT sea eficaz y beneficioso para la operación agrícola (figura 5-2).

Sensores de CO2:

Sensores de Humedad del Suelo

Sensores de Temperatura

Sensores de Calidad del Agua

Sensores de Nivel de Agua

Sensores de pH

Sensores de Luz Solar



Sensores de Nutrientes

Sensores de Plagas

Sensores de Viento



Figura 5-2. Sensores y actuadores para cultivos inteligentes

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

La implementación de soluciones IoT en la agricultura se beneficia enormemente de una amplia gama de sensores que pueden monitorear y recopilar datos cruciales para la toma de decisiones informadas. A continuación, se presenta una descripción de cada tipo de sensores (tabla 5-3).

Tabla 5-3. Tipos de sensores y sus características

SENSORES	CARACTERÍSTICAS
Sensores de humedad del suelo	Estos sensores miden la humedad del suelo en diferentes profundidades, lo que permite una gestión precisa del riego.
Sensores de temperatura	Monitorizan las condiciones térmicas en el entorno, lo que es crucial para el crecimiento de cultivos y la prevención de heladas.
Sensores de calidad del agua	Controlan la calidad del agua utilizada en riego y aseguran que esté libre de contaminantes.
Sensores de nivel de agua	Determinan el nivel de agua en reservorios, estanques y canales de riego para una gestión eficiente.
Sensores de pH	Miden la acidez o alcalinidad del suelo, lo que influye en la disponibilidad de nutrientes para las plantas.
Sensores de luz solar	Registran la cantidad de luz solar recibida, lo que es crucial para el proceso de fotosíntesis de las plantas
Sensores de viento	Monitorizan la velocidad y dirección del viento, lo que puede afectar la dispersión de plagas y la polinización.
Sensores de plagas	Detectan la presencia de plagas y enfermedades en los cultivos, permitiendo una respuesta temprana y específica.
Sensores de CO2	Controlan los niveles de dióxido de carbono en invernaderos para optimizar la fotosíntesis.
Sensores de nutrientes	Evalúan los niveles de nutrientes en el suelo para ajustar la fertilización de manera precisa.

Fuente: elaboración propia.

Estos sensores, cuando se integran en un sistema IoT, proporcionan datos en tiempo real que ayudan a los agricultores a tomar decisiones informadas y optimizar sus prácticas agrícolas para lograr una producción más eficiente y sostenible.

Elegir plataforma de IoT

Se escoge una plataforma de IoT que le permita conectar y administrar los dispositivos. Los ejemplos populares incluyen Arduino, ESP32, Raspberry Pi, o plataformas especializadas en agricultura como Agro Llanos Tec (figura 5-3).

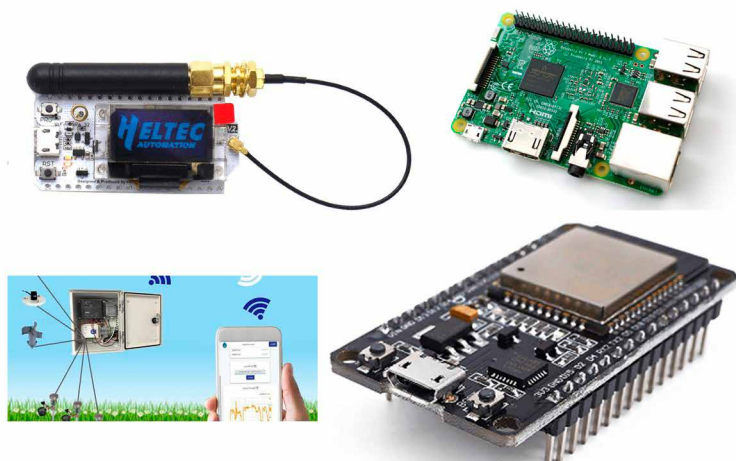


Figura 5-3. Plataformas IoT para agricultura inteligente

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

Además, existen plataformas que pueden contribuir de manera única a la agricultura inteligente, ya sea simplificando la gestión de datos, mejorando la toma de decisiones o facilitando la automatización de procesos agrícolas (tabla 5-4).

Tabla 5-4. Plataforma en la nube de internet para gestionar dispositivos IoT

PLATAFORMA	DESCRIPCIÓN	BENEFICIO EN AGRICULTURA
ThingSpeak 	Plataforma IoT de código abierto que permite la recopilación, visualización y análisis de datos.	Facilita la monitorización y análisis de datos de cultivos.
IBM Watson IoT 	Ofrece capacidades avanzadas de análisis y aprendizaje automático para extraer información de los datos.	Ayuda en la toma de decisiones agrícolas basadas en datos.
Microsoft Azure IoT 	Proporciona herramientas de análisis de datos en tiempo real y servicios de nube escalables.	Facilita la escalabilidad y análisis de datos en agricultura.
Ubidots 	Plataforma fácil de usar con características de visualización y análisis de datos para agricultura.	Simplifica la creación de paneles de control agrícolas.
Losant 	Permite la creación de aplicaciones IoT personalizadas y ofrece herramientas de flujo de trabajo.	Facilita la automatización de tareas en la agricultura.

PLATAFORMA	DESCRIPCIÓN	BENEFICIO EN AGRICULTURA
AWS IoT Core 	Proporciona una plataforma escalable y segura con capacidades de aprendizaje automático de AWS.	Ofrece escalabilidad y análisis avanzado para agricultura.
Google Cloud IoT 	Ofrece servicios para la administración y análisis de datos de sensores agrícolas en la nube de Google.	Facilita el uso de herramientas de Google en agricultura.

Fuente: elaboración propia.

Estas plataformas de IoT ofrecen beneficios significativos a los agricultores de piña, plátano y maíz en la región de los Llanos Orientales de Colombia. Permiten a los agricultores recopilar datos precisos y en tiempo real sobre las condiciones climáticas, la calidad del suelo y otros parámetros relevantes para la producción agrícola. Esto les brinda la capacidad de tomar decisiones informadas para optimizar el riego, la gestión de plagas y enfermedades, y la aplicación de recursos como fertilizantes. Además, estas plataformas facilitan la automatización de tareas agrícolas, lo que ahorra tiempo y recursos.

Desarrollar o configurar el hardware

56

En el contexto de la agricultura inteligente, se refiere a la creación o configuración de los dispositivos físicos que se utilizarán para recopilar datos y controlar actividades en el campo agrícola. Esto incluye la selección de sensores, actuadores, microcontroladores, módulos de comunicación y otros componentes que son esenciales para la implementación exitosa de un sistema de IoT en la agricultura.

Las actividades clave en este paso incluyen:

Selección de sensores y actuadores: identificar los sensores y actuadores específicos que se requieren para medir las variables relevantes en la agricultura, como la humedad del suelo, la temperatura, la calidad del agua, la velocidad del viento, etc. (figura 5-4).

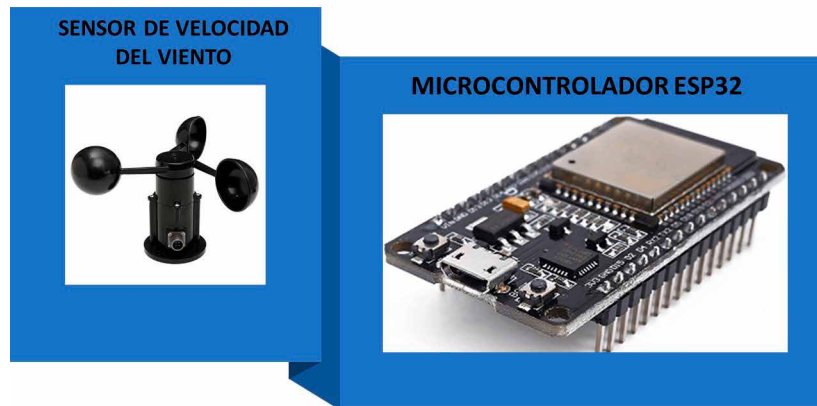


Figura 5-4. Sensor de velocidad del viento

Fuente: Arduino.cc (2024).

Diseño del *hardware*: crear o diseñar los circuitos electrónicos que permitirán a los sensores y actuadores funcionar de manera efectiva. Esto puede incluir el diseño de placas de circuito impreso (PCB) o la configuración de protoboard (figura 5-5).

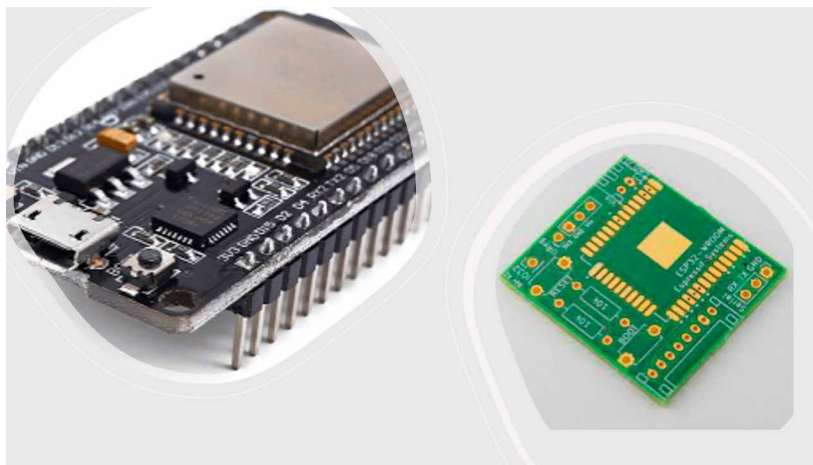


Figura 5-5. Circuito impreso en PCB

Fuente: Arduino.cc (2024).

Programación de dispositivos: escribir el código o *firmware* necesario para que los microcontroladores y otros dispositivos funcionen correctamente. Esto puede involucrar lenguajes de programación como Arduino, Python o C++ (figura 5-6).

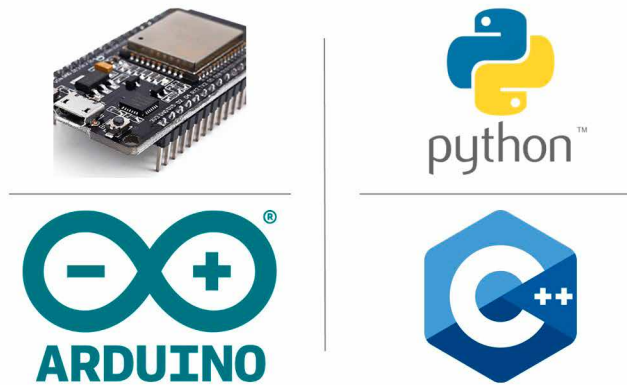


Figura 5-6. Leguajes de programación para IoT

Fuente: Arduino.cc (2024).

Conexión de componentes: realizar las conexiones físicas entre sensores, actuadores, microcontroladores y otros componentes según el diseño previamente establecido.

Para realizar la tarea de diseño, puede usar Fritzing: es una aplicación de *software* de código abierto que se utiliza para diseñar circuitos electrónicos, crear diagramas esquemáticos y representar visualmente proyectos electrónicos (figura 5-7).

58

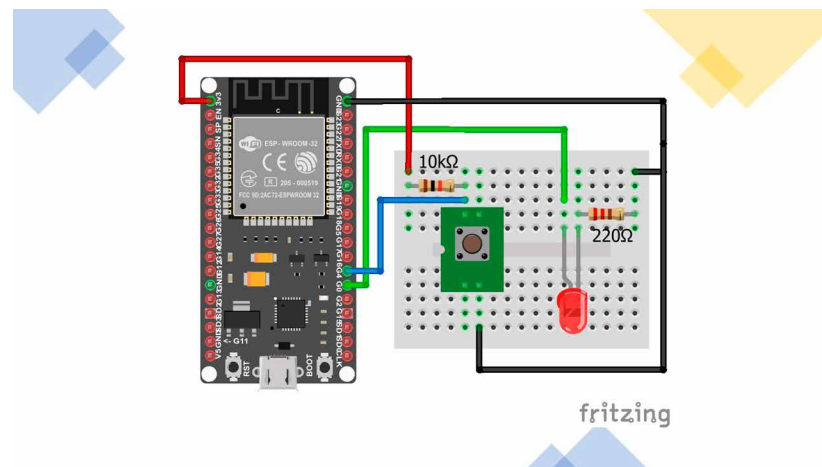


Figura 5-7. Software para diseño esquemático IoT

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

Pruebas y depuración: probar el *hardware* para asegurarse de que funcione correctamente y realizar correcciones en caso de fallas o problemas de funcionamiento.

Configuración de comunicación: configurar los módulos de comunicación, como LoRa, WiFi o Bluetooth para que los dispositivos puedan transmitir y recibir datos de manera efectiva.

En la tabla 5-5, se relacionan las principales ventajas de utilizar LoRa, Wifi y Bluetooth en aplicaciones de IoT.

Tabla 5-5. Ventajas de usa la tecnología LoRa

VENTAJAS	LORA	WIFI	BLUETOOTH
Largo alcance	Largo alcance de varios kilómetros	Alcance típico de hasta 50 metros	Alcance corto, hasta 30 metros
Eficiencia energética	Consumo de energía bajo	Consumo moderado	Consumo de energía bajo
Baja frecuencia	Utiliza frecuencias bajas	Utiliza frecuencias estándar	Utiliza frecuencias estándar
Conexión permanente	No se requiere conexión constante	Requiere conexión constante	Requiere conexión constante
Implementación en áreas rurales	Ideal para áreas rurales	Más adecuado para áreas urbanas	Más adecuado para áreas urbanas

Fuente: elaboración propia.

Se debe tener en cuenta que la elección entre LoRa, Wifi y Bluetooth depende de las necesidades específicas de la aplicación y del equilibrio entre el alcance, el consumo de energía y otros factores claves (figura 5-8).



Figura 5-8. Medios de comunicación del ESP32

Fuente: esp32.org (2023).

Programar el dispositivo

Escribe el código necesario para que el dispositivo IoT recopile datos de los sensores y realice acciones según sea necesario. Puede utilizar lenguajes de programación como Arduino IDE o Python, dependiendo del *hardware* seleccionado.

En la tabla 5-6, se explica cada instrucción del código para programar el emisor LoRa para que active el riego a través de un relé.

Tabla 5-6. Descripción del código dispositivo emisor

INSTRUCCIÓN	DESCRIPCIÓN
<code>#include <SPI.h></code>	Incluye la biblioteca SPI para la comunicación SPI.
<code>#include <LoRa.h></code>	Incluye la biblioteca LoRa para la comunicación LoRa.
<code>#define SS_PIN 18</code>	Define la constante SS_PIN y le asigna el valor 18, que representa el pin de selección de esclavo LoRa.
<code>#define RST_PIN 14</code>	Define la constante RST_PIN y le asigna el valor 14, que representa el pin de restablecimiento LoRa.
<code>#define relayPin 2</code>	Define la constante relayPin y le asigna el valor 2, que representa el pin al que está conectado el relé.
<code>bool relayState = false</code>	Declara una variable booleana relayState e inicializa su valor en false para representar el estado “apagado” del relé.
<code>void setup()</code>	Inicia la definición de la función setup(), que se ejecuta una vez al inicio del programa.
<code>Serial.begin(115200)</code>	Inicializa la comunicación serial a una velocidad de 115200 baudios.
<code>while (!Serial);</code>	Espera hasta que la comunicación serial esté disponible.
<code>pinMode(relayPin, OUTPUT)</code>	Configura el pin del relé (relayPin) como salida.
<code>digitalWrite(relayPin, LOW)</code>	Establece el pin del relé en bajo (apaga el relé) al inicio.
<code>LoRa.setPins(SS_PIN, RST_PIN, 2)</code>	Configura los pines de selección de esclavo LoRa, restablecimiento LoRa y DIO2 para la comunicación LoRa.
<code>if (!LoRa.begin(868E6)) { ... }</code>	Inicializa la comunicación LoRa en la frecuencia de 868 MHz y verifica si la inicialización es exitosa.
<code>void loop()</code>	Inicia la definición de la función loop(), que se ejecuta continuamente en un ciclo.
<code>if (Serial.available()) { ... }</code>	Verifica si hay datos disponibles en el puerto serie.
<code>char command = Serial.read();</code>	Lee un carácter del puerto serie y lo almacena en la variable command.

switch (command) { ... }	Inicia una estructura switch para evaluar el valor de command y tomar acciones en función de su valor.
case '1':	Define un caso para cuando command es igual a '1'.
relayState = true;	Establece relayState en true, lo que representa que el relé está encendido.
digitalWrite(relayPin, HIGH);	Establece el pin del relé en alto (enciende el relé).
Break;	Salte del caso actual en la estructura switch.
case '0':	Define un caso para cuando command es igual a '0'.
relayState = false;	Establece relayState en false, lo que representa que el relé está apagado.
digitalWrite(relayPin, LOW);	Establece el pin del relé en bajo (apaga el relé).
Break;	Salte del caso actual en la estructura switch.
default:	Define una acción predeterminada si command no coincide con ningún caso anterior.
Serial.println(relayState ? "Relé Encendido" : "Relé Apagado");	Imprime un mensaje en el puerto serie para indicar el estado del relé.

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 5-7 se explica cada instrucción del código para programar el receptor LoRa para que active el riego.

61

Tabla 5-7. Descripción del código del receptor Lora

INSTRUCCIÓN	DESCRIPCIÓN
#include <SPI.h>	Incluye la biblioteca SPI que permite la comunicación serial periférica necesaria para el uso de LoRa.
#include <LoRa.h>	Incluye la biblioteca LoRa que proporciona las funciones y métodos necesarios para trabajar con el módulo LoRa.
#define SS_PIN 18	Define el número del pin (18 en este caso) que se utilizará como pin de selección (Chip Select) para la comunicación SPI con el módulo LoRa.
#define RST_PIN 14	Define el número del pin (14 en este caso) que se utilizará para el reinicio (reset) del módulo LoRa.
int relayPin = 2;	Declara una variable relayPin y le asigna el número del pin (2 en este caso) al que está conectado el relé.
void setup()	Inicia el bloque setup(), que contiene las instrucciones de inicialización que se ejecutan una vez al inicio del programa.
Serial.begin(115200);	Inicia la comunicación serial a una velocidad de 115200 baudios. Esto permite la comunicación entre el dispositivo y la computadora a través del puerto serial.

<code>while (!Serial);</code>	Espera hasta que la comunicación serial esté lista antes de continuar. Esto asegura que puedas ver los mensajes de depuración en el monitor serial.
<code>pinMode(relayPin, OUTPUT);</code>	Configura el pin <code>relayPin</code> como una salida, lo que permitirá controlar el relé conectado a ese pin.
<code>digitalWrite(relayPin, LOW);</code>	Inicialmente, establece el estado del pin <code>relayPin</code> en bajo (LOW) para asegurarse de que el relé esté apagado al inicio.
<code>if (!LoRa.begin(868E6)) { ... }</code>	Inicia la comunicación LoRa a una frecuencia específica (868 MHz en este caso). Si la inicialización de LoRa falla, muestra un mensaje de error y entra en un bucle infinito.
<code>void loop()</code>	Inicia el bloque <code>loop()</code> , que contiene las instrucciones que se ejecutan en bucle continuo después de la inicialización.
<code>int packetSize = LoRa. parsePacket();</code>	Lee el tamaño del paquete LoRa recibido y lo almacena en la variable <code>packetSize</code> .
<code>if (packetSize) { ... }</code>	Comprueba si se ha recibido un paquete válido. Si es así, entra en el bloque de código que procesa el paquete.
<code>String receivedData = "";</code>	Declara una variable <code>receivedData</code> como una cadena vacía para almacenar los datos recibidos del paquete LoRa.
<code>while (LoRa.available()) { ... }</code>	Lee los datos disponibles en el paquete LoRa y los almacena en la variable <code>receivedData</code> .
<code>if (receivedData == "ON") { ... }</code>	Comprueba si los datos recibidos son iguales a "ON". Si es así, enciende el relé y muestra un mensaje indicando que el relé está encendido.
<code>else if (receivedData == "OFF") { ... }</code>	Comprueba si los datos recibidos son iguales a "OFF". Si es así, apaga el relé y muestra un mensaje indicando que el relé está apagado.

Fuente: elaboración propia.

Este código básico permite que el receptor LoRa controle un relé en función de los comandos recibidos a través de la comunicación LoRa.

Recopilar y analizar datos

Una vez que los dispositivos estén operativos, recopilan datos y se utilizan para tomar decisiones informadas sobre la gestión del cultivo.

En la era de la agricultura inteligente, es esencial contar con las herramientas adecuadas para recopilar y analizar datos con el fin de tomar decisiones efectivas. Varias plataformas de IoT ofrecen soluciones integrales para la gestión de dispositivos y la obtención de información en tiempo real. Entre las opciones más destacadas se encuentran AWS IoT, que proporciona una robusta infraestructura en la nube y capacidades avanzadas de análisis; Google Cloud IoT Core, que se integra perfectamente con el ecosistema de Google y ofrece escalabilidad; y Microsoft Azure

IoT, que dispone de una amplia gama de servicios y sólida seguridad. Además, existen alternativas de código abierto como ThingsBoard y Node-RED que permiten una mayor personalización y control sobre la plataforma. Estas herramientas son fundamentales para aprovechar al máximo los datos generados por sensores y dispositivos en la agricultura moderna.

La elección de la plataforma adecuada dependerá de factores como la escala de la operación agrícola, las necesidades específicas del cultivo y la preferencia por soluciones de código abierto o comerciales. En última instancia, estas plataformas de recopilación y análisis de datos desempeñan un papel crucial en la optimización de los procesos agrícolas, la mejora de la toma de decisiones y la creación de un entorno más sostenible y productivo en la agricultura del siglo XXI.

Un ejemplo de plataforma utilizada por agricultores en la región de los Llanos Orientales de Colombia es AWS IoT (Amazon Web Services Internet of Things). AWS IoT proporciona a los agricultores una serie de servicios y herramientas que les permiten recopilar, almacenar y analizar datos de sensores y dispositivos IoT en tiempo real. En este contexto, un agricultor de la zona podría implementar un sistema de riego inteligente basado en IoT en su finca de maíz utilizando AWS IoT (figura 5-9).

Para llevar a cabo esta implementación (Cárdenas Pinzón, 2020), el agricultor instala sensores de humedad del suelo en varias áreas de su campo de maíz. Estos sensores recopilan datos de humedad y los transmiten a través de una red LoRa a un gateway que se conecta con AWS IoT. En la plataforma de AWS IoT, el agricultor configura reglas que procesan los datos de los sensores, como activar el sistema de riego cuando la humedad del suelo cae por debajo de un umbral específico. Todos los datos recopilados se almacenan en una base de datos que permite un seguimiento histórico y análisis detallado (figura 5-9).

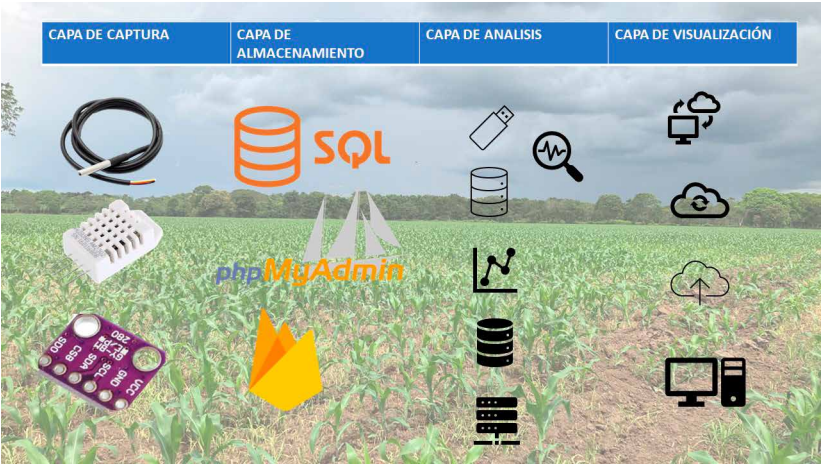


Figura 5-9. Arquitectura IoT AWS

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

Además, el agricultor utiliza servicios de AWS, como Amazon S3 para el almacenamiento a largo plazo de datos y Amazon QuickSight para crear paneles de control y visualizar gráficos en tiempo real de la humedad del suelo y el rendimiento del cultivo. También configura alertas automatizadas para recibir notificaciones cuando se detecten condiciones fuera de los parámetros deseados. En última instancia, AWS IoT brinda al agricultor las herramientas necesarias para tomar decisiones informadas, mejorar la eficiencia del riego y aumentar la productividad de su cultivo de maíz en los Llanos Orientales de Colombia.

Visualización y control

Configura una interfaz de visualización que te permita monitorear los datos en tiempo real y tomar decisiones basadas en ellos. Esto puede ser un panel de control web o una aplicación móvil.

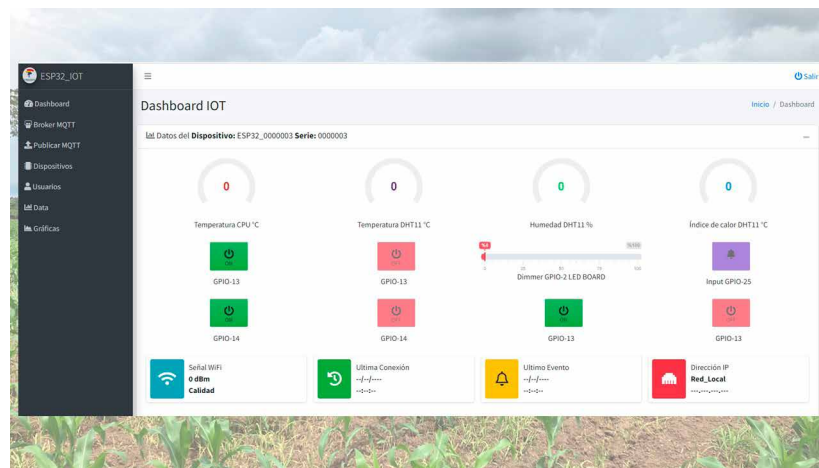


Figura 5-10. Dashboard del ecosistema IoT ciberondas

Fuente: <https://iot.ciberondas.com> (2024).

En la figura 5-10, se muestra un ejemplo de un panel de control en la plataforma ciberondas. Este panel no solo permite la conexión con dispositivos junto con todas sus funcionalidades, sino que también facilita la vinculación al bróker MQTT y la gestión de usuarios. A través de este panel, los clientes pueden acceder a la visualización de múltiples sensores y actuadores, verificar la calidad de la señal, conocer la hora de la última conexión y obtener información sobre la dirección IP del ESP32.

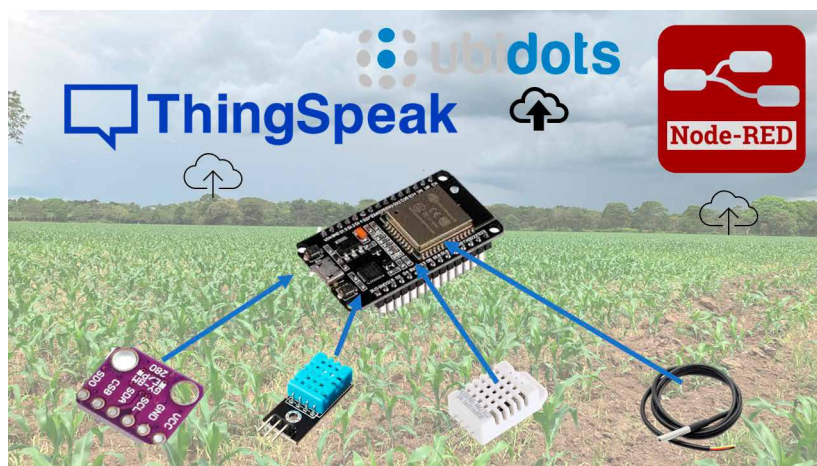


Figura 5-11. Plataformas IoT para control, análisis y visualización

Fuente: imagen propia, archivo semillero Ciberondas.

La figura 5-11 presenta diversas plataformas diseñadas para el control, análisis y visualización de los sensores y actuadores utilizados en la agricultura inteligente. Estas plataformas tienen como finalidad facilitar la toma de decisiones, permitir un monitoreo en tiempo real, respaldar el estudio constante y ofrecer seguimiento y control de los cultivos en la región.

La tabla 5-8 presenta una variedad de plataformas IoT destinadas al control, análisis y visualización de los sensores y actuadores que operan en el sistema de agricultura inteligente. Estas plataformas desempeñan un papel fundamental en la gestión y control de procesos agrícolas, lo que contribuye a la mejora y optimización de los cultivos, así como a la eficiencia de los procedimientos agrícolas en general.

65

Tabla 5-8. Plataformas IoT para control, análisis y visualización de datos

PLATAFORMAS IOT		
ALTO NIVEL	CÓDIGO ABIERTO	USO DE PLACAS
IBM Watson IoT	Kaa	Ubidots
AWS IoT	ThingSpeak	Carriot iot
Google Cloud IoT	Thinger io	Mydevices
Microsoft Azure	Macchina.io	Temboo iot

Fuente: elaboración propia.

Automatización, mantenimiento y actualizaciones

Este proceso introduce la automatización de tareas de acuerdo con las necesidades específicas. Un ejemplo de esto sería la configuración del sistema para que inicie el

riego de manera automática cuando la humedad del suelo caiga por debajo de un determinado umbral, y de manera similar, ajuste la temperatura en consecuencia.

El código para la tarea de activar el riego automáticamente cuando la humedad del suelo esté por debajo de cierto umbral puede variar según los componentes específicos utilizados en el sistema y la plataforma IoT seleccionada. Sin embargo, un ejemplo genérico lo vemos utilizando la plataforma Arduino y un sensor de humedad del suelo (Cárdenas Pinzón, 2020):

```
const int sensorHumedadSueloPin = A0; // Pin analógico donde está conectado el
sensor de humedad del suelo
const int umbralHumedad = 300; // Umbral de humedad por debajo del cual se
activará el riego
void setup() { pinMode(sensorHumedadSueloPin, INPUT);
  // Configura otros pines y componentes según sea necesario
}

void loop() {
  int lecturaHumedad = analogRead(sensorHumedadSueloPin);
  if (lecturaHumedad < umbralHumedad) {
    // Activa el riego aquí
    // Puedes controlar una electroválvula, bomba de agua, etc.
    // Asegúrate de implementar el control de riego adecuado para tu sistema.
  }

  // Realiza otras tareas de monitoreo y control según sea necesario
  delay(1000); // Pausa de un segundo entre lecturas para evitar lecturas frecuentes
}
```

Este es solo un ejemplo básico para ilustrar el concepto. Se debe adaptar al *hardware* específico y configurar el control de riego de acuerdo con las necesidades. Además, debe tener en cuenta que este código no incluye la comunicación LoRa, que podría ser necesaria si está transmitiendo datos a un receptor remoto (capítulo 3)

Seguridad y escalabilidad



Presta atención a la seguridad de tu sistema IoT. Utiliza contraseñas sólidas y cifrado para proteger tus datos y dispositivos.

Asegurar la seguridad de un dispositivo IoT LoRa (Low-Rank Wide Area Network) es esencial para proteger tanto los datos transmitidos como el propio dispositivo. Aquí tiene algunas estrategias y consideraciones para agregar seguridad a un dispositivo IoT LoRa:

1. *Cifrado de datos*: implementa cifrado de extremo a extremo para los datos transmitidos entre el dispositivo y la red LoRa. Esto garantiza que los datos sean ilegibles para cualquier persona no autorizada. Utiliza algoritmos de cifrado robustos como AES (Advanced Encryption Standard).
2. *Autenticación de dispositivos*: asegurarse de que solo los dispositivos autorizados puedan unirse y comunicarse con la red LoRa. Utiliza mecanismos de autenticación fuertes, como claves de acceso compartidas o certificados digitales, para verificar la identidad del dispositivo.
3. *Gestión de claves de seguridad*: administra de forma segura las claves de cifrado y autenticaciones utilizadas por el dispositivo IoT LoRa. Almacena las claves de manera segura en el dispositivo y actualizarlas periódicamente.
4. *Firewalls y filtros de paquetes*: implementar firewalls y filtros de paquetes en el dispositivo para controlar qué datos pueden ingresar y salir del dispositivo. Esto ayuda a prevenir ataques no deseados.
5. *Actualizaciones de firmware seguras*: proporcionar una forma segura de actualizar el firmware del dispositivo. Las actualizaciones de seguridad deben ser autenticadas y verificadas antes de instalarse.
6. *Seguridad física*: proteger físicamente el dispositivo IoT LoRa para evitar accesos no autorizados o manipulaciones. Esto incluye proteger las interfaces de comunicación y las conexiones físicas.
7. *Monitoreo*: implementar sistemas de monitoreo y detección de intrusos para identificar comportamientos anómalos o ataques en tiempo real.
8. *Control de acceso*: establecer políticas de control de acceso para limitar quién puede interactuar con el dispositivo. Esto incluye autenticación de usuarios y roles de acceso.
9. *Seguridad en la nube*: si los datos del dispositivo IoT LoRa se envían a la nube, debe asegurarse que la plataforma en la nube cumpla con estándares de seguridad y utilice protocolos seguros de comunicación.
10. *Pruebas de seguridad*: realizar pruebas de seguridad regulares, como pruebas de penetración, para identificar posibles vulnerabilidades en el dispositivo y en la red.
11. *Cumplimiento normativo*: asegurarse de cumplir con las regulaciones y estándares de seguridad relevantes para la industria y ubicación geográfica.

12. *Educación*: capacitar a los usuarios y administradores del dispositivo IoT LoRa sobre las mejores prácticas de seguridad y la importancia de mantener el dispositivo actualizado y protegido.

La seguridad en dispositivos IoT LoRa es un proceso continuo que requiere atención constante a medida que evolucionan las amenazas cibernéticas. Al seguir estas estrategias y consideraciones, puede ayudar a proteger los dispositivos y los datos que transmite.

Conclusiones

La implementación de tecnología IoT LoRa junto con microcontroladores ESP32, sensores y actuadores ofrece una oportunidad significativa para mejorar la producción agrícola en la región. Los cultivos de maíz, plátano y piña se benefician de la monitorización precisa de las condiciones ambientales y la automatización de procesos agrícolas. Esto permite una diversificación de cultivos más eficiente y una gestión óptima de recursos, como el riego y la humedad del suelo. Además, la tecnología IoT brinda la capacidad de prevenir enfermedades y optimizar la eficiencia energética en la producción. Sin embargo, para aprovechar al máximo estas ventajas, es fundamental proporcionar capacitación y apoyo técnico a los agricultores, así como abordar los desafíos climáticos específicos de la región (Marín-García, 2023).

68

Los procesos de la tecnología LoRa en los cultivos de maíz, plátano y piña en las ciudades de Acacias, San Martín y Granada del departamento del Meta representan una oportunidad única para la agricultura en esta región. La combinación de LoRa con microcontroladores, sensores y actuadores ofrece ventajas clave, incluyendo una cobertura amplia, bajo consumo energético y reducción de costos de conectividad. Esto permite la monitorización precisa de condiciones ambientales y la automatización de procesos, facilitando la toma de decisiones informadas, la optimización de recursos y la mejora de la sostenibilidad en la producción agrícola. Además, la adaptabilidad de LoRa a entornos rurales y condiciones climáticas variables lo convierte en un aliado esencial para los agricultores de esta región en su búsqueda de una agricultura más eficiente y sostenible.

Referencias

- Alliance, L. (2023, 11-12 de octubre). Soluciones LoRaWAN® para agricultura inteligente y el campo conectado en América Latina. <https://www.youtube.com/watch?v=CyFaLGuBVRA&t=2s>
- Bertoletti, P. (2019). *Proyectos con ESP32 y LoRa*. Editora NCB.
- Cárdenas Pinzón, J. (2020). Agricultura y desarrollo rural en Colombia 2011-2013: una aproximación. *Apuntes del Cenes*, 35(62), 87-124.
- Fortes, R. (2020). *Agricultura de precisión: introducción rápida a la digitalización de la agricultura*. Amazon Digital Services LLC-KDP Print US.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2018). *Libro de consulta sobre la agricultura climáticamente inteligente*. Resumen de la segunda edición. Food & Agriculture Org.
- Marín-García, E. T.-M.-L. (2023). Invernadero Inteligente y Agricultura 4.0. *Ciencia, Ingeniería y Educación Científica, Revista Científica*, 46(1), 37-50. <https://doi.org/10.14483/23448350.19816>
- Pereira, R. d. (2022). Plataforma de enseñanza a distancia de microcontroladores e internet de las cosas. *Ingenio. Revista de Ciencia y Tecnología*, 28, 53-62. <https://doi.org/10.17163/ings.n28.2022.05>
- Ríos Hernández, R. (2021). La agricultura de precisión. Una necesidad actual. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(1), 67-74. <https://www.redalyc.org/journal/5862/586269368010/586269368010.pdf>
- Triviño, L. C. (2023). *Conectar cosas a internet con ESP32 y Raspberry Pi*. Ediciones USTA. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/53071>

Agradecimientos

A los estudiantes investigadores del semillero Ciberondas: Cristian Andrés Lenis Santos, Wilmer Alexánder Ochica Lodoño, Óscar Gabriel Medina Navas y Luz Ángela Blanco Benavides.

<https://ciberondas.com>

Esta obra se editó en Ediciones
USTA. Tipografías de la familia Fira
Sans y Share Tech.
2024

Modular

En el siglo XXI, la agricultura enfrenta una revolución tecnológica para satisfacer la creciente demanda alimentaria y los retos del cambio climático. Este libro explora cómo la tecnología IoT y LoRa transforman el monitoreo y control de cultivos en los Llanos Orientales de Colombia. Con un enfoque práctico, el autor aborda el diseño y desarrollo de dispositivos IoT sostenibles alimentados por energía solar. También incluye casos de éxito locales que muestran el impacto de estas tecnologías en la agricultura sostenible. Una guía esencial para ingenieros, agricultores y estudiantes interesados en innovación agrícola.



UNIVERSIDAD
SANTO TOMÁS
SEDE PRINCIPAL