

Propuesta arquitectura de IoT para cultivos de cacao

Sebastián Wilches

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ingeniería

Ingeniería de telecomunicaciones

Bogotá

2023

Propuesta arquitectura de IoT para cultivos de Cacao

Sebastián Wilches

Asesor

Rafael Cubillos

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ingeniería

Ingeniería de telecomunicaciones

Bogotá

2023

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, 16 de Febrero de 2023

DEDICATORIA

A mi familia, siempre presente.

AGRADECIMIENTOS

CONTENIDO

GLOSARIO	6
RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN	11
1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	12
1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	12
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GENERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 JUSTIFICACIÓN	15
4 MARCO DE REFERENCIA	18
4.1 MARCO TEÓRICO	18
4.1.1 IoT	18
4.1.2 CACAO.	19
4.1.3 FLOR, ÁRBOL.	20
4.1.4 FRUTO DEL ÁRBOL DE CACAO.	21
4.1.5 TIPOS DE TECNOLOGÍAS Y PROTOCOLOS INALÁMBRICOS UTILIZADOS EN EL SECTOR AGRÍCOLA.	21
4.1.6 GENERALIDADES DEL PROCESO DE CULTIVO DEL CACAO	25
4.1.7 PASO A PASO DEL CULTIVO DE CACAO	26
4.1.8 DEL CULTIVO AL PRODUCTO.	30
4.1.9 PRODUCCIÓN DE CACAO EN COLOMBIA.	31
4.2 MARCO LEGAL	32
4.2.1 PROYECTO DE LEY 219 DE 2020. CONVENIO INTERNACIONAL DEL CACAO.[41]	32
4.2.2 ICCO.	32
4.2.4 CERTIFICACIONES.	33
5 DISEÑO METODOLÓGICO	33
5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	33
6 DESARROLLO DE LA PROPUESTA	34
6.1 IDENTIFICACIÓN LOS DISTINTOS FACTORES O VARIABLES MEDIBLES QUE INFLUYEN EN LOS CULTIVOS DE CACAO	34
6.2 EXPONER UNA PROPUESTA DE TRABAJO CON LA ARQUITECTURA IOT PARA LOS CULTIVOS DE CACAO.	36

6.2.1 HARDWARE Y SOFTWARE PROPUESTO	44
7 IMPACTOS	47
8 CONCLUSIONES	49
9 RECOMENDACIONES	50
BIBLIOGRAFÍA	50
LISTA DE FIGURAS	54
LISTA DE TABLAS	55

GLOSARIO

ÁPICE: El extremo superior o punta del fruto.

ESTAMINODIO: Un estambre abortado que no genera polen.

ESTILO: Prolongación del ovario de la planta, al final aparece el estigma.

ESTIMACIÓN DE CAMPO: Métodos por los cuales se puede calcular los rendimientos de los cultivos utilizados en un área específica.

IoT: Internet de las cosas (Internet Of Things), se habla de dispositivos conectados entre sí que se transfieren datos sin una interacción humano-humano o humano-computador. Los dispositivos conectados se comunican a través de puertas de enlace, que son servidores físicos que filtran datos y los transmiten a otros dispositivos y aplicaciones de software.

MIP: Manejo Integrado de Plagas, combinación de sentido común y principios científicos para el manejo de las plagas

.

ORTÓPTICO: Tallo cuyo crecimiento es perpendicular al suelo, y es un eje recto.

PEDÚNCULO: Tallo de una hoja que se encarga de unir el tallo a la planta.

PLAGIÓTROPO: Tallo cuyo eje crece en forma paralela al suelo en un eje horizontal.

PLUVIOSIDAD: Es el término para referirse a la cantidad de lluvia de un lugar en un rango de tiempo específico.

RADICULARES: Se denomina al conjunto de raíces de una misma planta.

SÉPALOS: Hoja que forma el cáliz de una flor.

TEMPERATURA: Medida que muestra el nivel térmico de la atmósfera en una zona, relacionada a la energía interna de este.

VARIEDAD: Término que determina el rango taxonómico de una planta debajo de la especie y subespecie pero en un nivel superior de la forma.

NODOS: Compuesto por un sensor, generalmente de bajo costo y bajo consumo de energía; un microcontrolador, un chip pequeño de bajo costo y baja potencia; una fuente de alimentación, lo que atribuye autonomía a los nodos sensores; y por último, la red de comunicación inalámbrica, lo que permitirá la comunicación entre los nodos sensores y el gateway.

GATEWAY: Representa el núcleo de la red de sensores inalámbricos responsable de recibir los datos provenientes de los nodos sensores y enviarlos a los IMS. A diferencia de los nodos, este está geográficamente fijo y conectado a una fuente de alimentación. También debe poseer un sistema de comunicación inalámbrico, ya que recibe las informaciones enviadas por los nodos sensoriales.

Generalmente, equipado con un microcontrolador de alta potencia y poder de procesamiento.

SERVIDOR EN LA NUBE: Responsable por el almacenamiento, procesamiento y disponibilización de las informaciones generadas por los nodos y transmitidas por el gateway a los usuarios finales.

HSV: Modo de color en que se presentan imágenes que usa el Tono la Saturación y el Brillo.

RESUMEN

En los últimos años, el uso de dispositivos IoT se ha expandido exponencialmente y se ha convertido en una herramienta indispensable para diversas industrias, incluyendo la agricultura. En este contexto, se propone una arquitectura IoT específica para las plantaciones de cacao, con el fin de mejorar y optimizar su rendimiento. Para ello, se ha llevado a cabo una revisión exhaustiva de distintas investigaciones relacionadas con las tecnologías y procesos implementados en este ámbito. Los resultados obtenidos indican que el uso de la tecnología IoT en las plantaciones de cacao puede tener múltiples beneficios, como la recolección de datos en tiempo real, la automatización de tareas, la optimización de los recursos y la mejora de la eficiencia en la producción. Así, se espera que la implementación de la arquitectura propuesta pueda contribuir significativamente al desarrollo y mejoramiento de la industria del cacao, beneficiando tanto a los productores como a los consumidores finales. En resumen, la propuesta de esta arquitectura IoT para plantaciones de cacao constituye una importante contribución al campo de la agricultura de precisión, y abre la puerta a nuevas oportunidades para la innovación y el avance tecnológico en este sector.

INTRODUCCIÓN

Cuando hablamos del cacao tenemos que dirigirnos al origen de esto, lo que nos lleva a las entrañas del Amazonas, en donde los lugares como Putumayo y en la Mesoamérica este fue cultivado y adecuado por la comunidad de los olmecas. Estos fueron los pioneros en su cultivo, abriendo camino a los mayas y finalmente a los aztecas, donde estos no solamente lo cultivaban para consumo, sino también le brindaban distintos fines al grano de cacao. [1]

Los grupos que cultivaban estos granos de cacao usualmente lo veían como una bebida con distintas propiedades tanto medicinales como afrodisíacas.[2]

Y dando un gran salto en la historia nos podemos mover al momento en el que se inició el cultivo del cacao a gran escala, se inicia en centroamérica a mitades del siglo XVI, este da sus primeros pasos a gran escala en Martinica, Surinam, entre otros, llegando a Brasil, China, Nigeria, y otros países debido a la colonización de los distintos países.[3]

Para acercarnos a nuestro contexto, hay reportes en los que se comenta que el grano de cacao en Colombia inicia su siembra a partir de los años 1620, en lugares como Cartago, Buga e incluso Puerto Tejada. Ya después de unos años, en Antioquia, y en 1761 en la sierra nevada. En el país el cultivo del cacao ha sido muy inestable debido a distintos factores externos tales como plagas o poca experiencia en los cultivos, generando baja productividad por los materiales usados. [1]

Las tecnologías de IoT últimamente a manera global se han ido utilizando en las investigaciones para la automatización de distintos procesos con respecto a los cultivos, desde los más básicos a incluso los más complejos.[4]

Un ejemplo de esto[5] es cómo el uso de K-means (método de clusterización de cuantización de vectores) a través de imágenes transmitidas desde un dispositivo de IoT, se detectaban las frutas en los árboles. Y en la fase en la cual se hacía el reproceso de esta data, a través del manejo de la detección de las sombras, se logró mejorar la información obtenida, llegando a un porcentaje de precisión del 91.3%, este es uno de los muchos ejemplos que podemos encontrar. Otro muy parecido es el de [6] donde a través de imágenes RGB, detectaba y contaba las naranjas que se encontraban en los árboles, convirtiéndolas a HSV (Modo de color que usa el Tono la Saturación y el Brillo), y utilizando distintos filtros para remover el ruido que se encontraba en estas. Después del filtrado, a través de un algoritmo de transformación de distancias, detectaba y contaba las naranjas con 84 imágenes de 21 árboles distintos de naranjas.

1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

A través del tiempo, y en los últimos años, la demanda de tecnologías emergentes ha aumentado de manera vertiginosa en el sector agrícola debido a la necesidad de mejorar la productividad, la rentabilidad e incluso la calidad. Los agricultores y la academia han buscado soluciones para maximizar el aprovechamiento de los recursos disponibles y mejorar la calidad de la producción. Para lograr estos objetivos, se han utilizado diversas tecnologías, como la automatización de procesos, la obtención de información y el análisis de datos.

La agricultura es una de las más grandes bases de la economía de los países, esta siempre es un tema de discusión en las campañas políticas, siendo eje central de las discusiones ya que se busca el mayor aprovechamiento de recursos a través de distintos métodos. El uso de la tecnología en la industria agrícola ha sido financiado para mejorar la eficiencia y la productividad en este sector. A medida que la tecnología ha avanzado, ha sido necesario contratar personal capacitado, adquirir equipos y desarrollar infraestructuras adecuadas para poder aprovechar al máximo estas tecnologías. Al principio, la idea de utilizar tecnología en la producción agrícola era algo nuevo y desconocido, lo que dificulta su aceptación en la industria. Sin embargo, a través del tiempo, ha ido ganando mayor acogida y se ha convertido en una necesidad para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de la producción agrícola. Como resultado, se han realizado inversiones significativas en tecnología agrícola en todo el mundo para mejorar la productividad y la rentabilidad del sector.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema planteado yace en la necesidad de encontrar formas eficientes y sostenibles de integrar las tecnologías emergentes en los cultivos, como los de cacao, con el fin de optimizar el uso de la tierra y de los recursos necesarios para la automatización de procesos, obtención de información y análisis de los mismos. Resaltando que el IoT ayuda a obtener certificaciones internacionales en las cuales el componente tecnológico juega un papel esencial.

La demanda de estas tecnologías ha aumentado debido a la necesidad de mejorar la productividad y la rentabilidad del sector agrícola, lo que ha llevado a los agricultores y la academia a buscar soluciones para maximizar el aprovechamiento de los recursos disponibles, buscando no solo aumentar la producción, sino la calidad. Sin embargo, la implementación inadecuada de estas tecnologías puede tener un impacto negativo en los cultivos, y es por eso que se requiere el planteamiento de una arquitectura que logre mejorar la producción agrícola.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la arquitectura IoT que permite la captura y el análisis de los datos en los cultivos de cacao en Colombia, 2023?

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer una arquitectura de IoT para el cultivo de cacao en Colombia, con el fin de mejorar la toma y análisis de datos que influyen en la productividad, calidad y certificación de estos, abordando los desafíos específicos del sector y ofreciendo una solución tecnológica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los distintos factores o variables medibles que influyen en los cultivos de cacao.
- Revisar los distintos procesos que se involucran en el cultivo de cacao
- Exponer una propuesta de trabajo con la arquitectura IoT para utilizar en los cultivos de cacao.
- Establecer recomendaciones sobre posibles nuevos estudios o investigaciones en torno a mejorar la eficiencia y uso del IoT en los cultivos de cacao.

3 JUSTIFICACIÓN

En Colombia más de 52.000 familias derivan del sustento de cultivo de cacao, este se produce en 431 municipios de 28 departamentos del país y la producción nacional al año 2020 es de 63.416 toneladas, se tiene un área sembrada de 188.370 hectáreas y se exporta a más de 70 países del mundo, principalmente México, Italia, Bélgica, Holanda, Argentina y Estados Unidos, ubicándonos en el 10 puesto como productores de cacao en el mundo. Así mismo estamos reconocidos por la ICC como país productor y exportador de cacao fino y de aroma en un 95%.

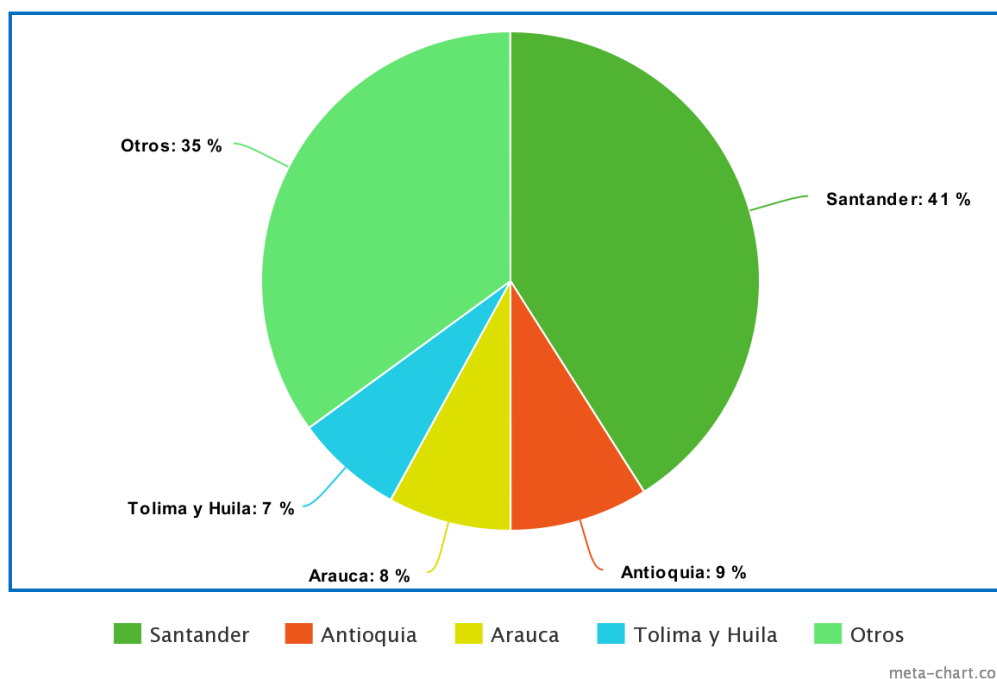


Figura 1. Distribución de cultivos de cacao por municipio en Colombia

El cacao es la materia prima de una industria multimillonaria conocida como la industria del chocolate. Menos del 20-10% de la producción mundial del chocolate proviene de grandes empresas, lo que significa que el 80-90% de toda la

producción mundial es generada por pequeños agricultores alrededor del mundo.[7]

Y por otro lado, la cantidad de trabajadores jóvenes para los cultivos de cacao ha decrecido de manera significativa ya que estos prefieren trabajar en zonas urbanas, incrementando la necesidad del uso de distintas herramientas y la variedad de estas, ya que facilitan a los trabajadores de los cultivos de cacao. Se exponen las distintas opciones, sus posibles estimaciones y usos, junto a el mercado actual. [5]

Es por esto que la estimación de la producción del campo en los cultivos y el análisis de distintos componentes necesarios para poder hacer la estimación y la mejora de la producción es esencial para aprovechar los recursos y tiempo que estos agricultores tienen. Para las plantaciones de mayor escala, este proceso puede llegar a ser aún más tedioso y requerir aún más una labor extensiva, incrementando no solo los tiempos, sino los costos. De todas formas, la tecnología que poseemos actualmente ha realizado mejoras e investigaciones que han logrado que sea posible incrementar los márgenes de beneficios para distintos procesos con respecto a los cultivos a través de la automatización de estos.

4 MARCO DE REFERENCIA

4.1 MARCO TEÓRICO

4.1.1 IoT

El Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) se refiere a la conexión de dispositivos a internet y la capacidad de estos para recopilar y compartir datos. En el contexto de los cultivos agrícolas, el IoT se puede utilizar para monitorear y controlar diversos factores del entorno, como la temperatura, la humedad, la iluminación y los niveles de nutrientes en el suelo.[8]

El objetivo principal del IoT en la agricultura es mejorar la eficiencia y la productividad de los cultivos mediante el uso de tecnologías avanzadas y la recopilación y análisis de datos en tiempo real. Esto puede ayudar a los agricultores a tomar decisiones más informadas sobre cómo cultivar sus cultivos y a identificar problemas de forma temprana, lo que puede reducir el riesgo de pérdidas y aumentar los beneficios.[9]

Los dispositivos IoT utilizados en los cultivos agrícolas suelen ser desde sensores hasta drones o incluso robots, ya que estos cumplen la labor de recopilar y transmitir la información obtenida y enviarla a una plataforma centralizada. Esta plataforma centralizada debe tener capacidad de cómputo para proporcionar informes a partir de la información recopilada o enviar esta información a la nube para su debido procesamiento. Ayudando a los agricultores, generando recomendaciones o conclusiones a partir del procesamiento obtenido.

Para finalizar podemos hablar del IoT como una tecnología que además de permitir a los agricultores realizar procesos complejos de manera sencilla, también abre las puertas a la posibilidad de monitorear y controlar distintos factores que previamente no se tenían contemplado, así mismo llevando a una mejoría en la

eficiencia y la productividad de los cultivos mientras se disminuyen los riesgos y las pérdidas.[10]

4.1.2 CACAO.

Clasificado como en el género de Theobroma, por el botánico suizo Carlos Linneo en 1753, y de la familia Sterculiaceae hasta los años del 2003. y finalmente, con el nombre científico de Theobroma cacao L, este fue reclasificado en la familia Malvaceae. En el género Theobroma hay 22 especies, y las dos que son más comerciales son el cacao y el *glandiflorum* (con el nombre de copuazú y este también es cultivado en la zona amazónica).

Normalmente el crecimiento de este árbol ocurre entre las latitudes 15° S y 18° N, y esta área alcanza a cubrir un terreno aproximado de 51 países [11]. Con respecto a los factores climáticos, el mejor ambiente es en zonas húmedas, donde la temperatura no baja de 16°C y no llegan a superar los 33°C. Y a esto se le agrega un factor importante que es la lluvia, donde los niveles de esta oscilan entre 1250 a 3000 mm, dejándonos un rango ideal que va desde los 1500 hasta los 2000 mm. La desventaja de estas condiciones ambientales es la susceptibilidad que se tiene frente a enfermedades como los hongos Lasiodiplodia theobromae, Phytophthora palmivora, entre otros [12] .

La cantidad de flores que produce es alta pero un porcentaje bajo del 1 al 5 % de estas es polinizado, son de un rosa pálido y la primera floración aparece cuando llegan a los 1.5 o 2 años. El árbol de cacao llega a su etapa final de desarrollo a los 10 años, y la altura aproximada de estos es de 5 a 7 m. (hay casos como el cacao de Ecuador donde puede llegar a los 10m de alto) [13].

Al finalizar la polinización, las semillas empiezan su crecimiento, donde después de 5 a 6 meses se forman semillas dentro de las mazorcas, modificando así su color, llegando a un tono amarillo y rojo (dependiendo de la planta y zona). Los factores determinantes para poder calcular el crecimiento y florecimiento del cacao en una zona en específico son la temperatura, la pluviosidad y la variedad.[14]

4.1.3 FLOR, ÁRBOL.

Las flores del árbol de cacao se caracterizan por ser hermafroditas, y normalmente se diferencian por el color del pedúnculo y la intensidad de la pigmentación de antocianina en sépalos. Así mismo podemos diferenciarlas por la orientación de los sépalos y la longitud del estaminodio.

El árbol de cacao posee un tallo ortóptico, lo que significa que tiene una orientación vertical. En la fase inicial, de crecimiento, puede durar desde 12 a 15 meses, y al culminar, un número aproximado de 4 o 5 ramas secundarias surgen durante el periodo de formación, y estas se les denomina horquetas, con crecimiento plagiotrópico. Estas ramas son las que permiten los brotes o chupones que dan camino a otras ramas u horquetas.

El árbol de cacao mantiene una raíz principal que puede llegar a los 2m de profundidad y normalmente tiene más de 1,5 m. Las secundarias no pasan de los 5-6m de longitud.[13]

4.1.4 FRUTO DEL ÁRBOL DE CACAO.

Los frutos del árbol de cacao tienen los nombres de drupas bayas o mazorcas. Normalmente el tamaño de los frutos va entre 10 a 42 cm y la forma que poseen puede variar. Poseen el color violeta o verde cuando no han madurado, y así

mismo el color depende del genotipo, la superficie del fruto es lisa o rugosa y el ápice puede ser de distintas texturas (obtuso rugoso, redondeado dentado, etc). Este puede llegar a tener en su interior 30 semillas y puede llegar a tener hasta 60 semillas en su interior(este es otro factor que depende de la variedad).

Las semillas de cacao contienen proteínas, lípidos y gránulos de almidón. Como los rasgos anteriores, todos estos pueden variar en tamaño y forma dependiendo de la variedad.[15]

El tamaño de las semillas va desde 10 hasta los 22 mm y se protegen con una pulposidad que puede tener sabor agridulce y de tonos blancos.[14]

4.1.5 TIPOS DE TECNOLOGÍAS Y PROTOCOLOS INALÁMBRICOS UTILIZADOS EN EL SECTOR AGRÍCOLA.

Las redes de sensores con conexiones inalámbricas tienen distintos campos de aplicación, como salud, agrícolas, militares, seguridad, entre otras.[16] Normalmente están interconectadas por pequeños componentes llamados nodos, estos se interconectan y se ubican con una distancia corta entre sí mismos ya que colectan información del ambiente sobre un área determinada. Estos factores medibles pueden ser temperatura, presión, humedad del aire, movimiento, velocidad, niveles de ruido, la existencia o falta de objetos y hasta la composición del suelo.

Las tecnologías inalámbricas que se utilizan en el sector agrícola incluyen redes de sensores inalámbricos, tecnologías de comunicación celular, tecnologías de posicionamiento global (GPS), tecnologías de radiofrecuencia (RF) y tecnologías de Internet de las cosas (IoT), tecnologías NFC y RFID.[17]

Como punto de convergencia se maneja un gateway o un IMS -Information Management System que se encarga del procesamiento o envío de la información a la nube.[17]

A partir de distintas fuentes, podemos obtener la siguiente información con respecto a las principales tecnologías usadas para una red de sensores inalámbricos (WSN).

Tecnologías/ Parámetros	Wifi (ah)	NB-IoT	LoRa	BLE	ZigBee	Telensa	RPMA	SigFox	WiM AX	6LoWPA N
Estándar	IEEE 802.11ah	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.4g	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4	WLoTF	-	SigFox	IEEE 802.16a, e	IEEE 802.15.4
Frecuencia	900 MHz	7-900 MHz	869/915 MHz	2.4 GHz	2.4 GHz	EU 868 MHz,	2.4 GHz	EU 868 MHz	2-66 GHz	915 MHz e 2.4 GHz
Tasa de datos (Límite para download)	40 Mbps	250 Kbps	5 Kbps	2 Mbps	250 Kbps	500 bps	156 Kbps	600 bps	1 Gbps	250 Kbps
Tasa de datos (Límite para upload)	40 Mbps	200 Kbps	5 Kbps	3 Mbps	250 Kbps	62.5 bps	624 Kbps	600 bps	1 Gbps	250 Kbps
Consumo de energía	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	-	Bajo	Bajo	Medio	Bajo
Distancia (máximo alcance en área externa/rural)	1 Km	15 Km	40 Km	100 m	100 m	8 Km	500 Km	50 Km	50 Km	30 m
Costo	Bajo	Bajo	-	Bajo	Bajo	-	-	Bajo	Alto	Bajo
Topología	Singlehop	Estrella	Estrella de Estrella	Estrella	Malla/Estrella/Árbol de cluster	Estrella/Árbol	Estrella/Árbol	Estrella	-	Malla

Tabla 1. Principales tecnologías WSN y sus parámetros.

Fuente: Elaboración propia, información tomada de [18]–[23] [50]–[56]

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Wifi (ah)	Mejor consumo de energía comparado a los demás estándares de WiFi	-
	Bajo costo	
NB-IoT	Bajo consumo de energía	-
	Largas distancias	
	Bajo costo	
LoRa	Bajo consumo de energía	-
	Largas distancias	
	Bajo costo	
BLE	Bajo consumo de energía	Cortas distancias
	Bajo costo	
ZigBee	Bajo consumo de energía	Cortas distancias
	Bajo costo	
Telensa	Largas distancias	-
RPMA	Bajo consumo de energía	-
	Largas distancias	
SigFox	Largas distancias	-
	Bajo costo	
WiMAX	Bajo consumo de energía	Alto costo
	WiMAX Largas distancias	Consumo promedio de energía, superior a otras opciones de tecnologías presentadas
	Bajo consumo de energía	Cortas distancias
6LoWPAN	Bajo costo	

Tabla 2. Ventajas y desventajas de las principales tecnologías.

A partir de la Tabla 1 [24], se pueden sacar distintas conclusiones, es así cómo se logra obtener una nueva tabla en la que se destacan las ventajas y desventajas.

Debido a la gran variedad de tecnologías, a partir de las distintas fuentes bibliográficas y opiniones de expertos[17], [25]–[30] se logra discriminar en qué áreas de aplicación que utilizan las principales tecnologías.

Tecnologías/Áreas de Aplicación	Wifi(ah)	NB-IoT	LoRa	BLE	ZigBee	Telensa	RPMA	SigFox	WiMax	6LoWPAN
Agricultura	X	X			X	X		X		
Industria	X	X					X			
Logística	X	X					X			
Ciudades Inteligentes	X	X				X		X		X
Casas Inteligentes		X					X			
Salud		X	X			X	X			
Monitoramento				X	X					
Ambiental										
Redes Eléctricas							X			
Inteligentes		X								

Tabla 3. Áreas de aplicación de las principales tecnologías usadas en WSN

Cuando hablamos de la aplicación de las tecnologías inalámbricas en el sector agrícola las tecnologías inalámbricas pueden jugar un rol muy importante ya que aplican a una amplia variedad de funciones, tales como el monitoreo y control del crecimiento y el desarrollo de las plantas, la detección y el análisis de plagas y enfermedades, la gestión y optimización del uso del agua y los fertilizantes, y la predicción del rendimiento de los cultivos.[31]

4.1.6 GENERALIDADES DEL PROCESO DE CULTIVO DEL CACAO

4.1.6.1 AGRICULTURA SOSTENIBLE

Se realizan prácticas de siembra y rotación con el objetivo de mejorar el suelo junto con la salud de los cultivos, esto se realiza mientras ocurre la adopción de medidas con el fin de prevenir enfermedades y atacar directamente al ciclo de la enfermedad.

Renovar de forma correcta los cultivos de los árboles de cacao.

No debe haber presencia de organismos genéticamente modificados (OGM) en todo el cultivo.

Es necesario implementar medidas para el mejor uso de los fertilizantes, estos se optimizan y logran mejor cobertura en el suelo.[32]

4.1.6.2 RESULTADOS EN LOS CULTIVOS

A través de la adaptación al cambio climático, las distintas fincas aumentan en resiliencia, así mismo, la diversificación y otros factores pueden afectar en esta.

Lo anterior debe desencadenarse en fertilidad del suelo, recursos del agua, y servicios para los ecosistemas.

Así mismo se debe optimizar la productividad en los insumos y manejar un riesgo bajo en los plaguicidas usados (tanto para el medio ambiente como para la salud), generando prácticas avanzadas de MIP.

Se debe usar conocimientos sobre hábitos, ciclo de vida y aversiones, métodos menos tóxicos, **monitoreando** la actividad de la plaga, ajustar estos métodos según el tiempo y finalmente tolerar las plagas no dañinas estableciendo un umbral económico para poder definir en qué momento se debe actuar.[33]

4.1.7 PASO A PASO DEL CULTIVO DE CACAO

4.1.7.1 SIEMBRA Y ROTACIÓN

Se seleccionan las plantas a injertar según calidad, productividad, resistencia a plagas y enfermedades y finalmente la idoneidad de estas para el clima se estima a partir de una evaluación de riesgo relacionada con el clima. [34]

Se debe tener un sistema que debe contemplar los requisitos de la variedad empleada, condiciones geográficas, ecológicas y agronómicas, diversificación e intercalado del cultivo, con diferentes niveles radicales y uso del suelo junto a la densidad de la siembra (para Colombia oscila entre 1000 y 1100 árboles por hectárea).[35]

4.1.7.2 PODA Y RENOVACIÓN DE CULTIVOS ARBÓREOS

Se debe implementar un ciclo de poda para lograr una formación correcta, un buen mantenimiento y rejuvenecimiento, todo de acuerdo a como el cultivo lo necesite, por sus condiciones agroecológicas y los lineamientos pertinentes a la poda.

No deben ser modificados genéticamente (OGM)

4.1.7.3 FERTILIDAD Y CONSERVACIÓN DEL SUELO

Conducir a una evaluación del suelo dónde se utiliza una muestra de gran tamaño, y se realiza mínimo una vez cada 3 años. En esta, factores como el área y laderas propensas a la erosión, la estructura del suelo, la profundidad del suelo y horizontes del mismos, la densificación de las áreas, la humedad del suelo y nivel del agua, condiciones de drenaje e identificación de áreas con síntomas visuales de deficiencia de nutrientes.

Utilizar subproductos, como fertilizantes orgánicos producidos en la misma finca, y en caso de necesitar más nutrientes, se pueden complementar con otros fertilizantes orgánicos o incluso inorgánicos. Para poder minimizar el riesgo, el estiércol de los animales debe convertirse en compost caliente antes de utilizarlo como fertilizante. Este debe ser almacenado al menos a 25 m de distancia de cualquier cuerpo de agua.[16]

El suelo debe estar cubierto y para su protección se utilizan cultivos de cobertura, residuos de cultivos o con mulch (brosa) y los fertilizantes se aplican de manera que los nutrientes estén libres para cuando y donde los cultivos lo necesiten, ayudando a minimizar el daño al medio ambiente.

Finalmente es necesario monitorear y optimizar el uso de fertilizantes inorgánicos

4.1.7.4 MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS

Para prevenir y controlar plagas, los productores de cacao utilizan métodos biológicos, físicos y otros métodos no químicos, y registran el uso y efectividad de estos métodos. En caso de alcanzar niveles umbrales de plagas, se utilizan pesticidas bajo la orientación de un técnico especializado o de una organización gubernamental. Al utilizar pesticidas, se busca utilizar productos con menor toxicidad y mayor selectividad, aplicándolos sólo en las plantas y áreas afectadas, se rotan los ingredientes activos para evitar la resistencia y se evita la aspersión programada, solo aplicándose cuando es recomendado por un técnico especializado o una organización gubernamental.

4.1.7.5 MANEJO DE AGROQUÍMICOS

En el proceso de cultivo de cacao, se evita el uso de pesticidas que se encuentran en listas de plaguicidas prohibidos por organizaciones como Rainforest Alliance, y que estén prohibidos por la ley correspondiente, o que no estén registrados legalmente en el país donde se cultiva. Además solo se usan pesticidas obtenidos de proveedores autorizados, que vengan en su empaque original y sellado. El uso de productos químicos para ganado o mascotas no está incluido en este estándar.

La finca o la administración del grupo tiene un sistema de registro, seguimiento y aplicación del uso del EPP.

Las aplicaciones de plaguicidas se registran. Estos registros deben tener el nombre del producto y el (los) ingrediente(s) activo(s), la fecha y hora de aplicación, ubicación y área (tamaño) de la aplicación, dosis y volumen, cultivo, nombre(s) del (de los) aplicador(es) y plaga objetivo.

Los individuos encargados de manejar pesticidas están capacitados en cómo preparar y aplicarlos adecuadamente, y reciben formación anual. Se utiliza Equipo

de Protección Personal (EPP) de acuerdo con las instrucciones de la etiqueta del producto o la Hoja de Información sobre la Seguridad del Material. Si no hay información disponible, se utilizará ropa protectora básica con elementos adicionales dependiendo del riesgo potencial y las recomendaciones de un técnico competente. El EPP se mantiene en buen estado. Inmediatamente después de su uso, se lavan y guardan de manera segura y no se llevan a las viviendas de los trabajadores. Los elementos de uso único se desechan después de su uso.

Se debe mantener un inventario actualizado de la existencia de los distintos plaguicidas.

4.1.7.6 PRÁCTICAS DE COSECHA Y POSTCOSECHA

Los productores se esfuerzan en preservar y maximizar la calidad y cantidad de la producción a través de la cosecha y la postcosecha, incluyendo su carga, procesamiento, empaque, transporte y almacenamiento. Esto implica cosechar los productos en el momento adecuado y en intervalos óptimos para mejorar su calidad, evitando dañar la planta durante la cosecha para favorecer la producción futura, evitando la contaminación por sustancias ajenas, productos de limpieza, pesticidas, microorganismos y plagas, previniendo daños por humedad y almacenando los productos en un lugar fresco, seco, oscuro y bien ventilado. Se mantiene y limpia las herramientas, maquinaria y equipos usados para la cosecha y postcosecha, y se usan materiales de empaque aptos y aprobados para productos alimenticios.

4.1.8 DEL CULTIVO AL PRODUCTO.

El proceso de cultivo y producción del cacao comienza con la plantación de cacao. Las semillas de cacao se siembran en una región cálida y húmeda, con una

temperatura promedio de entre 20 y 30 grados Celsius y una altitud de entre 0 y 1.000 metros sobre el nivel del mar. Una vez que las semillas germinan y crecen en árboles jóvenes, se trasplantan a un campo de cacao.[36]

El árbol de cacao es una planta de copa ancha y puede crecer hasta una altura de 8-12 metros. Los árboles de cacao necesitan mucha sombra y se plantan junto con otros árboles más grandes que proporcionen sombra natural. Los árboles de cacao también necesitan mucha agua y deben ser regados regularmente.

Los árboles de cacao comienzan a producir frutos cuando tienen entre 3 y 5 años de edad. Los frutos del cacao son una especie de cápsulas que contienen las semillas de cacao. Cada fruto del cacao contiene entre 20 y 60 semillas de cacao.

Cuando los frutos del cacao están maduros, se cortan de los árboles y se dejan en el suelo para que se abran y se liberen las semillas de cacao. Las semillas de cacao se recogen y se dejan secar al sol durante unos días. Una vez que están secas, se muelen para producir cacao en polvo.

El proceso de producción del cacao incluye también la refinación del cacao en polvo para eliminar cualquier impureza y mejorar el sabor. Luego, el cacao refinado se mezcla con azúcar y, a veces, con leche en polvo para producir chocolate. El chocolate se moldea y se enfría para producir barras de chocolate o se usa para fabricar otro tipo de productos de chocolate, como galletas, pasteles y dulces.

4.1.9 PRODUCCIÓN DE CACAO EN COLOMBIA.

Normalmente se estima que se ha producido más de 4'638.000 toneladas de cacao. En el periodo 2017-2018. Y en Colombia se obtuvo una producción de

60.535 toneladas en el 2017.[35] Y en el año 2020 Colombia produjo un total de 70205 toneladas de cacao, llegando al tercer puesto en productores de cacao en América Latina, detrás de Brasil y Perú.[37]

Según datos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, nos muestra que en los últimos 10 años ha tenido un aumento del 41%.[38]

4.1.10 FACTORES MEDIBLES EN LOS CULTIVOS.

La medición de la velocidad del viento es importante para determinar si es un factor limitante en los cultivos, ya que cuanto más fuerte sea el viento, mayor será la posibilidad de que las plantas se vuelquen, según [39]. Él también menciona que este proceso es crucial en la realización de los balances hídricos de los cultivos y contribuye a su rentabilidad.

La medición de la temperatura es esencial hablando del cultivo. Los niveles óptimos de pH para la producción de precursores de sabor y aroma en el cacao se encuentran entre 4,7 y 5,2. Si los valores de pH son demasiado bajos o altos (entre 5,5 y 5,8), los granos de cacao tendrán una calidad organoléptica inferior.[1]

La humedad, después de la fermentación es un factor clave para el sabor y calidad del cacao. La mejor calidad del cacao se produce cuando los granos se han secado totalmente. Después de la fermentación, el contenido de humedad de las semillas debe reducirse del 55% al 7,5%, lo que es un contenido de humedad adecuado para almacenar el cacao de manera segura durante un par de meses en zonas tropicales. Los pequeños productores colocan las semillas húmedas sobre esteras de bambú elevadas o, en menor medida (debido a consideraciones higiénicas), sobre plataformas de concreto en el suelo en los pueblos.

La duración del secado depende del clima, pero es inusual que el secado al sol en muchos países se complete en menos de una semana. La mejor calidad de cacao siempre se produce cuando las semillas se han secado completamente (hasta un contenido de humedad del 7,5%) al sol.

En resumen, después de la fermentación, es necesario reducir la cantidad de humedad en las semillas para garantizar su almacenamiento seguro en zonas tropicales. Los pequeños agricultores colocan las semillas húmedas en esteras de bambú o en plataformas de concreto. El tiempo de secado depende del clima, pero generalmente dura al menos una semana. La mejor calidad de cacao se produce cuando las semillas están completamente secas al sol. [40]

4.2 MARCO LEGAL

4.2.1 PROYECTO DE LEY 219 DE 2020. CONVENIO INTERNACIONAL DEL CACAO.[41]

4.2.2 ICCO.

Colombia es un miembro de la ICCO (Convenio Internacional del Cacao) y esta organización tiene como objetivo el comercio justo y la sostenibilidad del cacao. A través de normas y recomendaciones para los cultivos y producción de cacao.[42]

4.2.3 REGISTROS DE INFRACCIONES

Existen antecedentes en cuanto a infracciones a la ley de competencia en el mercado de compra de cacao. Mediante la Resolución 4946 de 2009, la SIC impuso sanciones a la Compañía Nacional de Chocolates y a Casa Luker por acuerdo de fijación del precio de compra en su calidad de oligopsonistas. [43]

4.2.4 CERTIFICACIONES.

UTZ certification, establece criterios y requisitos para una producción sostenible e íntegra del cacao. Esta certificación incluye buenas prácticas agrícolas, manejo de fincas, de condiciones laborales, trabajo infantil, trabajo forzado y protección de la naturaleza. Esta certificación se encuentra en transición al programa de certificación Rainforest Alliance. Estas certificaciones a nivel de dispositivos, piden que al menos los datos de la inspección interna se recolectan a través de un dispositivo (por ej. teléfono, tableta, etc.) y se emplean en formato digital por lo menos para el 30% de los miembros del grupo. [32]

5 DISEÑO METODOLÓGICO

5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se maneja un tipo de investigación mixta.

La metodología de investigación mixta, es un enfoque que combina elementos de la investigación cuantitativa y cualitativa en un solo estudio. Este enfoque permite a los investigadores aprovechar las fortalezas de ambos métodos y, por lo tanto, obtener una comprensión más completa y profunda del fenómeno que están investigando. La metodología de investigación mixta se utiliza comúnmente en ciencias sociales y de la salud, y puede ser particularmente útil en situaciones en las que los datos cuantitativos no proporcionan una comprensión completa de un fenómeno, o cuando se requiere una validación cruzada de los hallazgos obtenidos a través de diferentes métodos de investigación. La metodología de investigación mixta también requiere una planificación cuidadosa y un diseño riguroso del estudio para garantizar la integridad de los datos y la interpretación correcta de los resultados.[44]

6 DESARROLLO DE LA PROPUESTA

6.1 IDENTIFICACIÓN LOS DISTINTOS FACTORES O VARIABLES MEDIBLES QUE INFLUYEN EN LOS CULTIVOS DE CACAO

Empezando por el proceso de cultivo y recolección de cacao, la información que podemos obtener y que debemos manejar en estos es la siguiente:

Mayor Importancia:

- Temperatura (18°C a 32°C)
- Pluviosidad (400 a 1100 pulgadas por año)

Opcional:

- Velocidad del viento
- Imágenes (Plagas, Madurez del cacao, Cantidades)
- Humedad

Continuando con el proceso de fermentación, los datos esenciales a medir son los siguientes:

Mayor Importancia:

- Temperatura (40°C a 45°C en las primeras 48 horas de fermentación, durante los demás días, condición de aireación)

Los resultados de diferentes investigaciones sugieren que la temperatura de las semillas de cacao durante su secado no debería superar los 65 grados Celsius.[40]

- Ph (Los niveles óptimos de pH para la producción de precursores de sabor y aroma en el cacao se encuentran entre 4,7 y 5,2. Si los valores de pH son

demasiado bajos o altos (entre 5,5 y 5,8), los granos de cacao tendrán una calidad organoléptica inferior.)

- Humedad. (Se deben secar, después del fermentado pasando de un nivel de humedad del 60% al 7.5%)

Opcional:

- Imágenes (Plagas, Madurez del cacao, Cantidades, Estado fermentación)

6.2 EXPONER UNA PROPUESTA DE TRABAJO CON LA ARQUITECTURA IOT PARA LOS CULTIVOS DE CACAO.

Se inicia resaltando los procesos en los que se ven involucrados los sensores, y dónde estos pueden generar valor.

El proceso de cultivo de cacao se divide en varias fases, siendo la primera de ellas la planificación. Durante esta etapa, se recopilan datos esenciales para el cultivo, como la pluviosidad y la temperatura del ambiente, que se pueden medir mediante herramientas especializadas, tal como se muestra en la Figura 2. Estos factores son fundamentales para todas las fases del cultivo, mientras que otros, como la velocidad del viento y la toma de imágenes, se consideran opcionales.

Una vez finalizada la fase de planificación, se avanza al proceso de cultivo propiamente dicho, en el que se toman decisiones en función de los datos recopilados en la fase anterior. En esta etapa, se consideran aspectos críticos como la temperatura, la pluviosidad, el estado del cultivo y la presencia de plagas, para los cuales se emplean imágenes y otros registros visuales. Además, se pueden medir otros parámetros como la velocidad del viento para asegurar un óptimo desarrollo del cultivo.

Por último, tras la fase de cultivo, se procede a la recolección del cacao, en la que se llevan a cabo distintos procesos para obtener un producto de alta calidad.

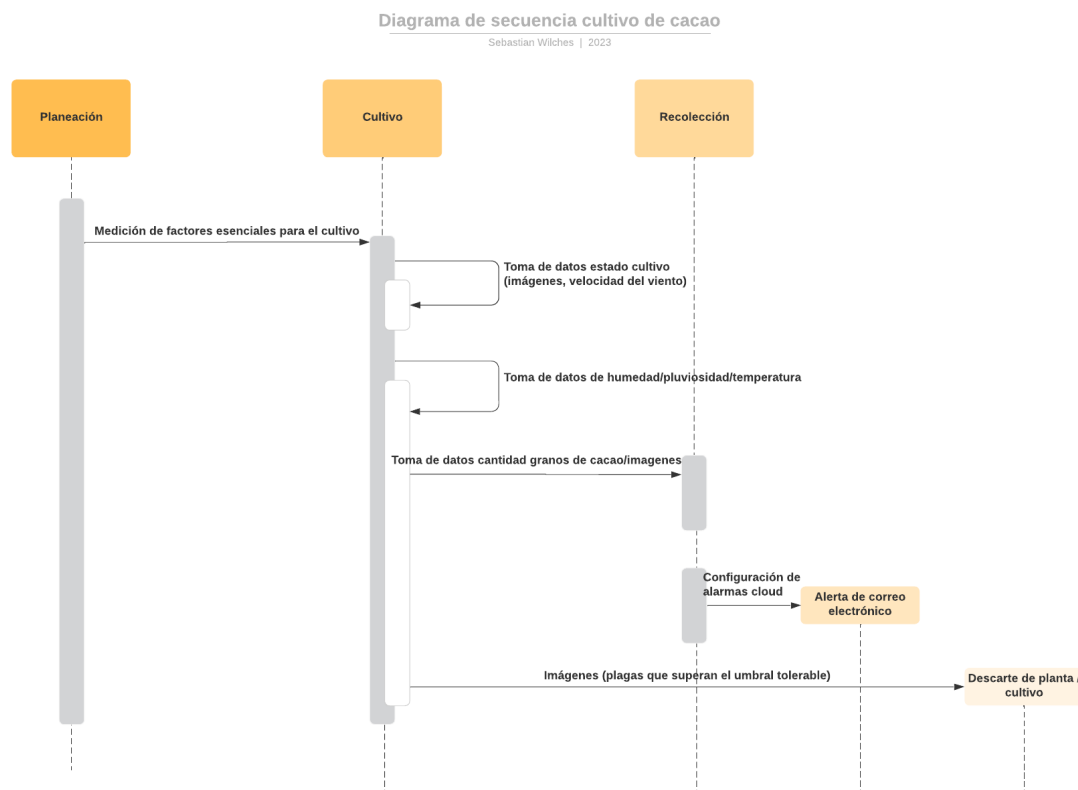


Figura 2. Diagrama de secuencia cultivo de cacao.

Fuente: Autoría propia.

Durante el proceso de fermentación y secado del grano de cacao, el inicio es crucial para garantizar la calidad final del producto. En esta etapa, se recopilan datos esenciales para evaluar su calidad organoléptica, como el nivel de humedad y pH, mientras que la temperatura y la captura de imágenes se consideran aspectos secundarios. Por lo tanto, resulta fundamental prestar especial atención a estas variables críticas desde el inicio de la fermentación y el secado, con el fin de asegurar un cacao de alta calidad organoléptica.

Los datos críticos para la calidad del cacao, como el nivel de humedad y pH, deben ser monitoreados a lo largo de todo el proceso de fermentación. En este sentido, los sensores desempeñan un papel fundamental para garantizar que los valores se mantengan dentro de los rangos óptimos, lo que se traduce en un producto de la mejor calidad organoléptica posible. Dado el caso de que estos datos salgan mucho de los rangos mencionados previamente, el producto se puede direccionar a otro camino como la mantequilla de cacao. De esta manera, el uso de sensores resulta esencial para asegurar que los valores de humedad y pH se mantengan dentro de los límites establecidos previamente.

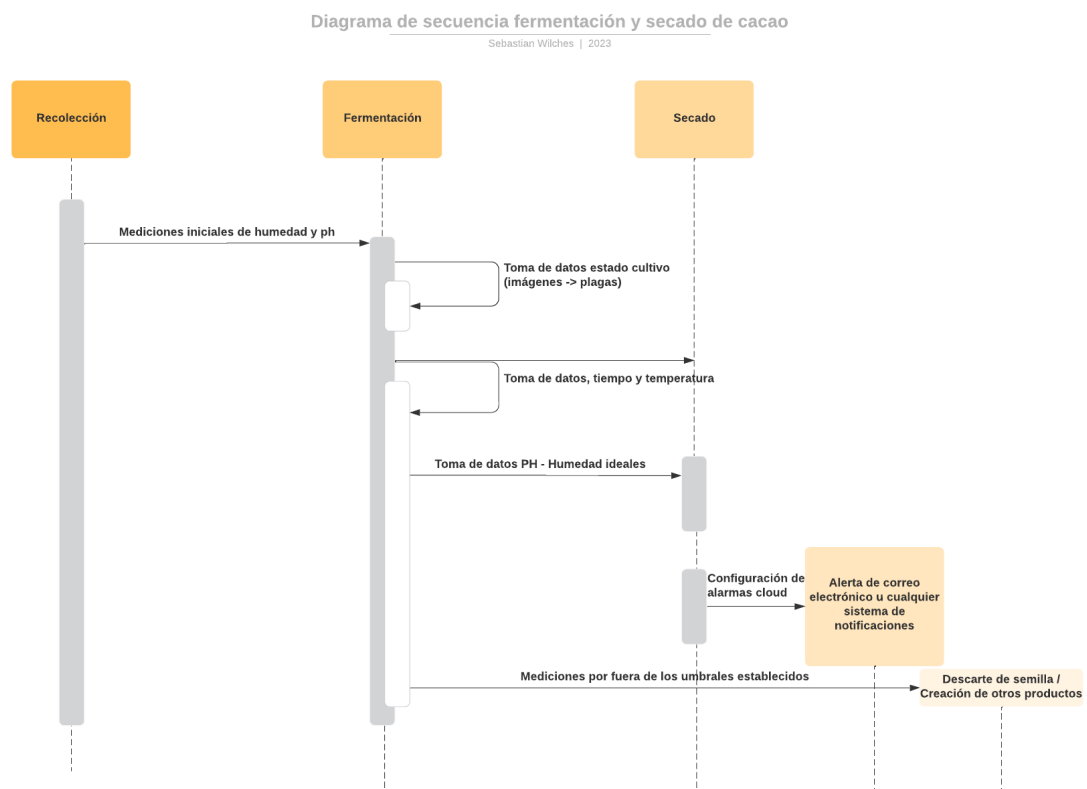


Figura 3. Diagrama de secuencia fermentación y secado de cacao.

Fuente: Autoría propia.

Después de lograr desglosar los procesos en los que se puede involucrar la toma de datos, se expone la arquitectura propuesta en la que se expone la implementación para así mostrar el camino de la simulación en la nube. La arquitectura resultante es la siguiente:

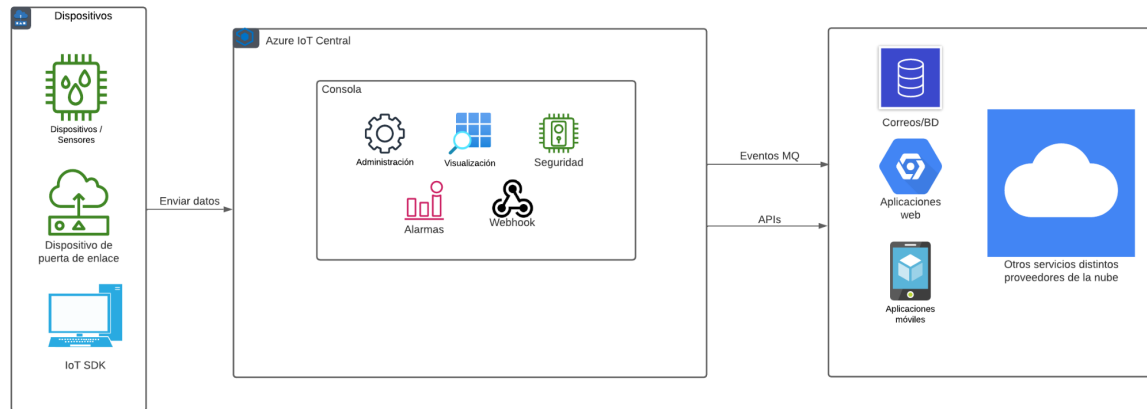


Figura 4. Arquitectura de referencia de la solución IoT propuesta

En primer lugar, el diagrama incluye dispositivos IoT, que están equipados con sensores y otros componentes que les permiten recopilar datos y transmitirlos a través de Internet. Para la arquitectura planteada se toma como plantilla el ESP32, desde la simulación de este se obtienen los datos directamente en la nube, el módulo ESP32 puede funcionar como puerta de enlace generalmente, a través del IDE de arduino, en conjunto al SDK de Azure o la biblioteca de distintos brokers MQTT como thingSpeak o requestBin (Figura 11) ayudando al funcionamiento del módulo como un punto centralizado de recopilación y transmisión de datos.

La puerta de enlace utiliza el SDK de Azure para establecer una conexión segura a través de Internet con la nube de Azure, que es un conjunto de servicios administrados y alojados por Microsoft. Los servicios en la nube de Azure incluyen almacenamiento de datos, procesamiento de datos, administración de dispositivos, seguridad, monitoreo y otros servicios que permiten a los usuarios administrar y procesar los datos recibidos desde los dispositivos.

Una vez que los datos llegan a la nube de Azure, se pueden visualizar en tiempo real, y los usuarios pueden configurar alarmas y notificaciones basadas en diferentes umbrales de datos. Además, se pueden enviar alertas y notificaciones a través de Webhooks a aplicaciones web externas, correos electrónicos y otros servicios de la nube, utilizando APIs o eventos para transmitir la información a los usuarios.

En resumen, este diagrama de arquitectura describe un sistema IoT que utiliza la puerta de enlace y los servicios en la nube de Azure para administrar y procesar los datos recopilados por dispositivos IoT. La arquitectura también incluye opciones para visualizar, asegurar y enviar alertas basadas en umbrales de datos, lo que permite a los usuarios actuar en consecuencia y tomar decisiones basadas en la información recibida.

De la simulación directa en IoT Central podemos obtener los siguientes datos.

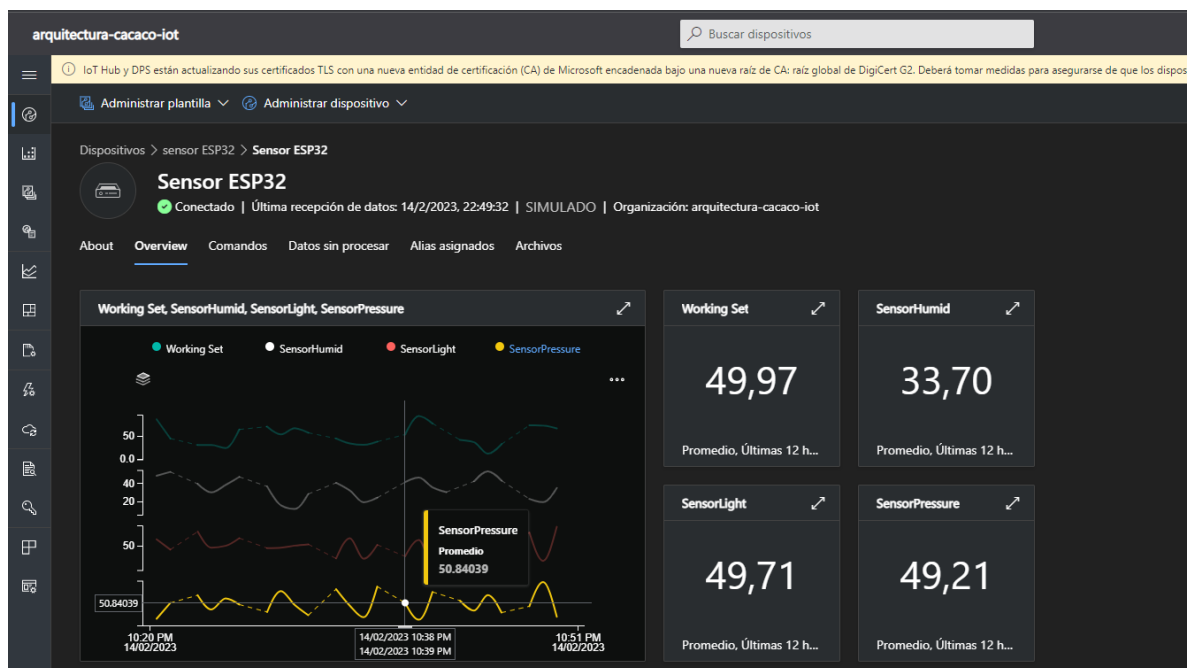


Figura 5. Simulación de varios días de un sensor real (ESP32) simulado en IoT central.

En esta imagen podemos observar el dispositivo real ya simulado, para la simulación se utiliza un DTDL que es una plantilla en azure permitiendo la simulación, esta se obtiene de la siguiente [página](#) en dónde hay un gran número de sensores certificados por azure.

Se configuran paneles para ver los resultados de la simulación en gráficas independientes con su respectivo intervalo.

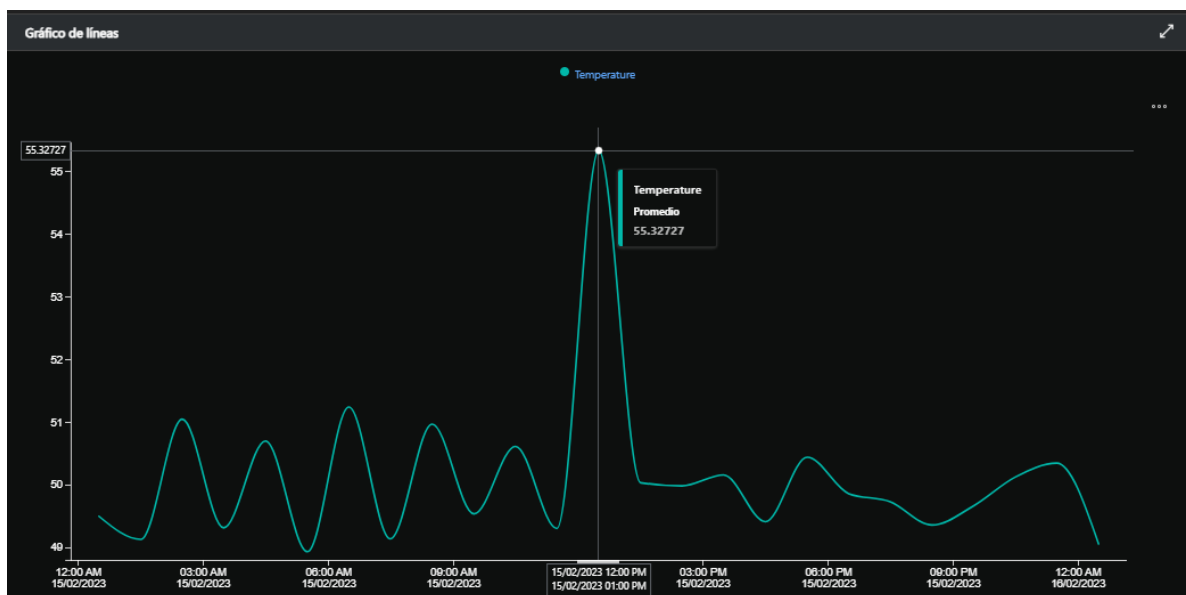


Figura 6. Gráfica de temperatura simulada de sensor ESP32.

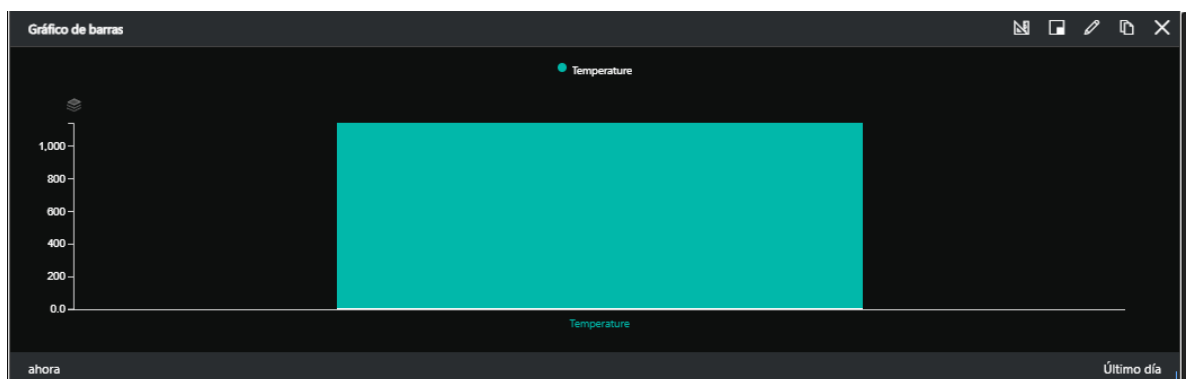


Figura 7. Gráfica de recuento de datos obtenidos en el último día.

En la figura 5, podemos ver la temperatura promedio en intervalos de 1 hora que va desde 49 hasta 55 grados Celsius. En la figura 6 tenemos la cantidad de datos obtenidos por el sensor en el último día. La plantilla utilizada del sensor ESP32 maneja una tasa de envío de datos cada minuto. La generación de datos del sensor es asíncrona para evitar colisiones o saturación en la misma red como lo podemos ver en la Figura 7.

Marca de tiempo	Tipo de mensaje	Hora de creación del evento	SensorHumid	SensorLight	SensorPressure	SensorRoll	Temperature	Working Set	Device mode
> 16/2/2023, 1:17:13	Telemetría	16/2/2023, 1:17:13						41.145191748896746	
> 16/2/2023, 1:17:13	Telemetría	16/2/2023, 1:17:13					38.404710771167814		
> 16/2/2023, 1:17:13	Telemetría	16/2/2023, 1:17:13				46.99035206000974			
> 16/2/2023, 1:17:13	Telemetría	16/2/2023, 1:17:13			65.97927476364663				
> 16/2/2023, 1:17:13	Telemetría	16/2/2023, 1:17:13		39.031253843589745					
> 16/2/2023, 1:17:13	Telemetría	16/2/2023, 1:17:13	25.966494227131232						
> 16/2/2023, 1:16:52	Propiedad								Facilis rerum
> 16/2/2023, 1:15:58	Telemetría	16/2/2023, 1:15:58						30.366878751630286	
> 16/2/2023, 1:15:58	Telemetría	16/2/2023, 1:15:58					9.674377290301438		
> 16/2/2023, 1:15:58	Telemetría	16/2/2023, 1:15:58				57.431829611809974			
> 16/2/2023, 1:15:58	Telemetría	16/2/2023, 1:15:58			64.87263292652634				
> 16/2/2023, 1:15:58	Telemetría	16/2/2023, 1:15:58		21.342522637745094					
> 16/2/2023, 1:15:58	Telemetría	16/2/2023, 1:15:58	37.7717965832346						
> 16/2/2023, 1:14:42	Telemetría	16/2/2023, 1:14:42						87.71823496389035	
> 16/2/2023, 1:14:42	Telemetría	16/2/2023, 1:14:42					54.237033872664085		
> 16/2/2023, 1:14:42	Telemetría	16/2/2023, 1:14:42				71.503648970472712			

Figura 8. Registro de distintos datos en distintos momentos.

Lo mismo podemos observar para el dato de humedad.

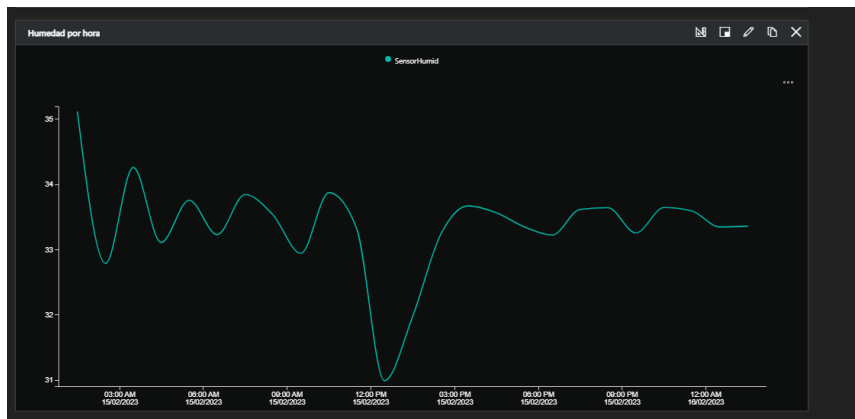


Figura 9. Gráfica de humedad por hora del dispositivo ESP32 simulado.

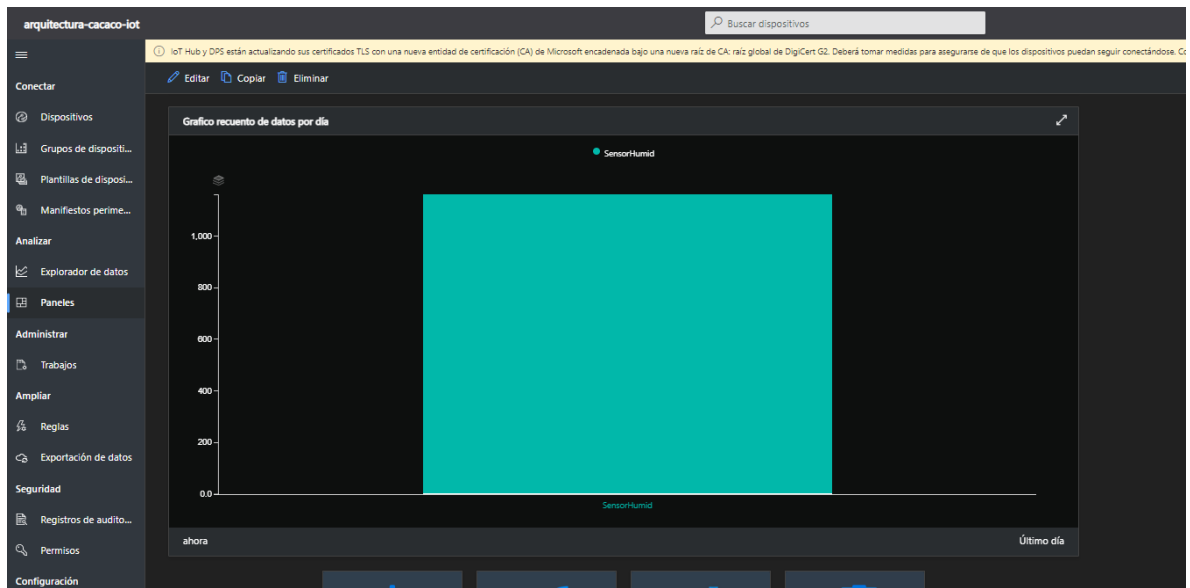


Figura 10. Gráfica recuento de datos del sensor de humedad del ESP32 simulado.

Al finalizar la configuración y muestra de gráficas, generamos alarmas para lograr bien sea exportar los datos o notificar a la persona interesada en caso de que algún dato sobrepase algún umbral.

Se inicia con la implementación de un webhook, para la exportación de la data, y para recibir el evento se utiliza la herramienta de [requestBin](https://requestbin.com/) que nos permite escuchar los eventos generados hacia una url. Esto nos ayuda a simular bien sea una BD o un microservicio que brindaría más funcionalidades a la toma de datos.

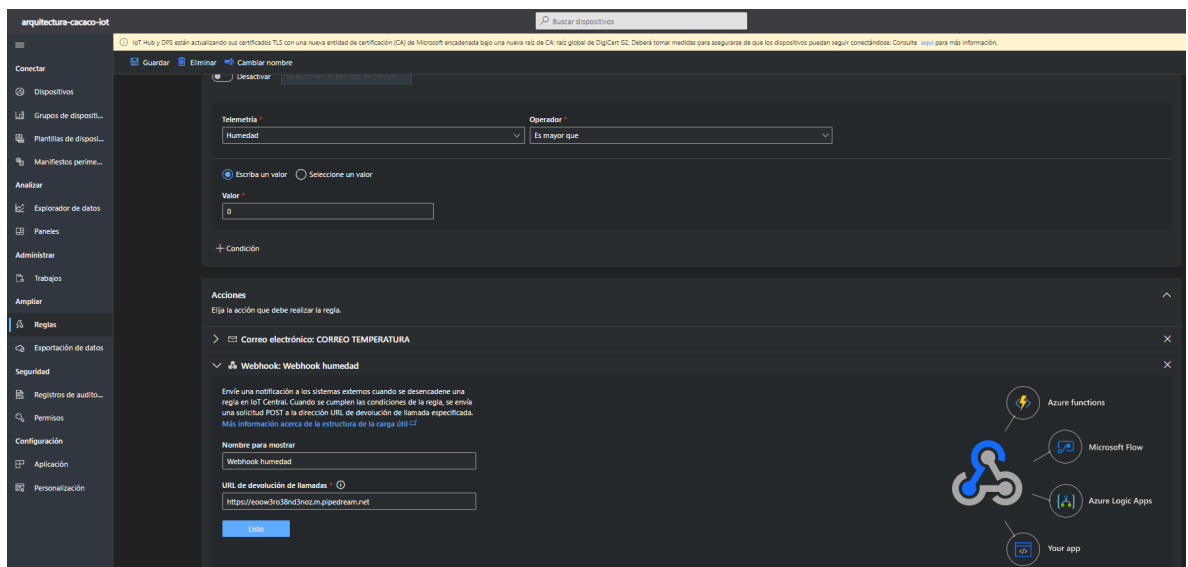


Figura 11. Sección de reglas donde podemos configurar las acciones, en esta figura se añade la acción de un webhook.

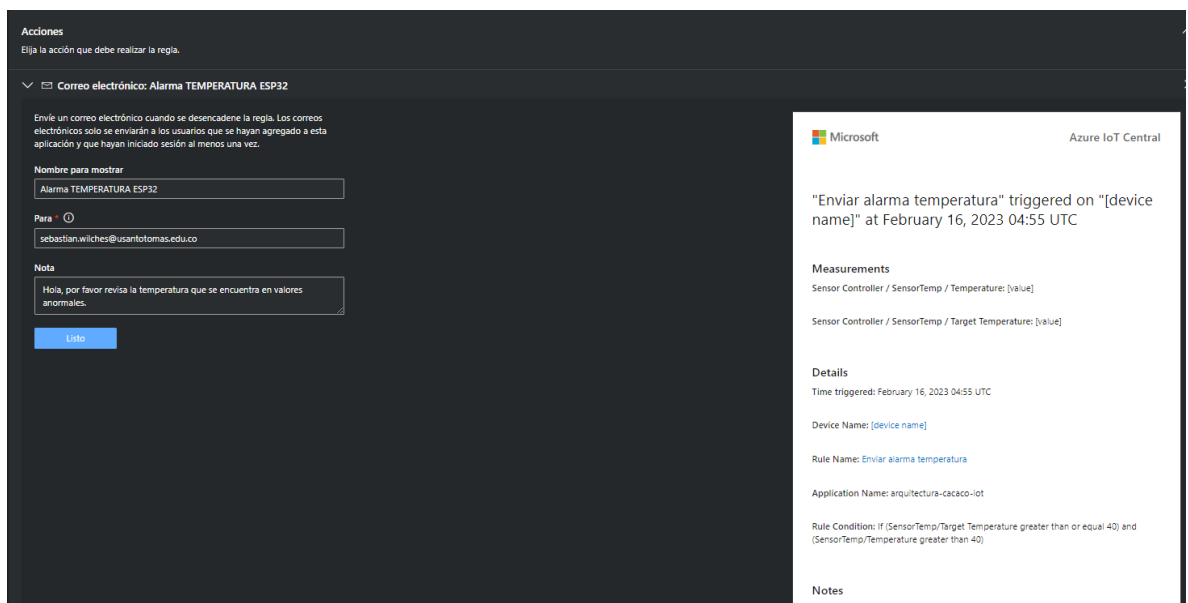


Figura 12. En la sección de reglas podemos configurar las acciones, en esta figura se añade la acción de un correo electrónico.

Finalmente podemos observar el evento en formato JSON que contiene información como fecha, hora, telemetría, etc.

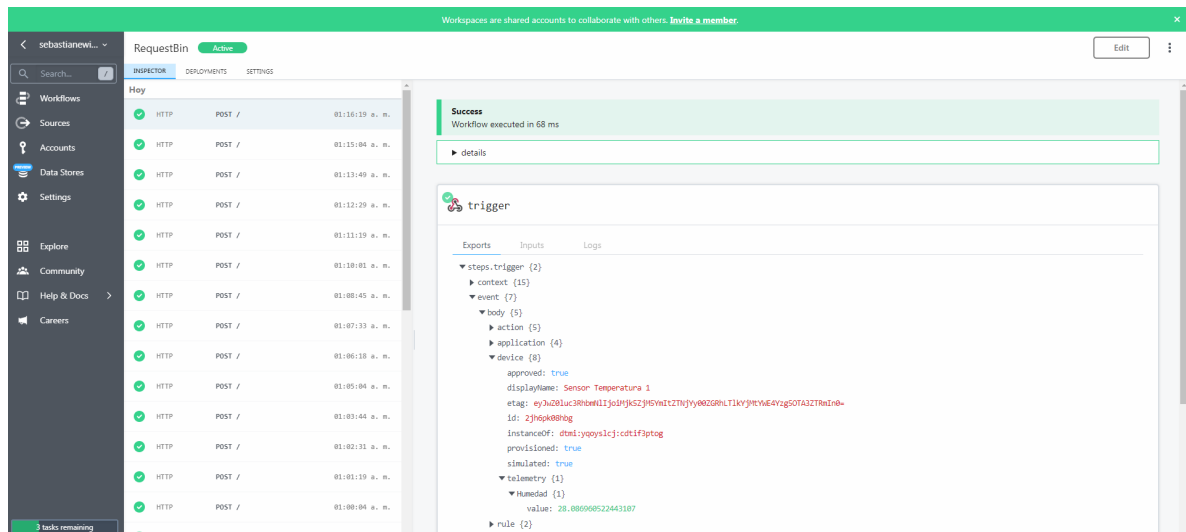


Figura 13. Recepción del evento en formato Json, se observa debajo de la sección de Exports.

Las formas de exportar los datos son varias, que van desde esta aplicada en esta solución hasta el consumo mismo de APIs que manejan toda la información de estos. En previos trabajos académicos se ha realizado el consumo desde la herramienta postman.

Para poder pasar de simulaciones a los dispositivos, azure nos brinda una amplia documentación dónde según nuestros requerimientos y preferencias, podemos realizar la conexión .

[Guía para enviar datos desde cualquier dispositivo a azure IoT central](#)

Todo esto no solo nos abre un mundo de posibilidades al lograr llevar estos datos al ambiente nube, sino que brinda a los agricultores un paso más para certificaciones internacionales como la que brinda Rainforest Alliance. [32]

6.2.1 HARDWARE Y SOFTWARE PROPUESTO

Sensores y protocolos: Se propuso una arquitectura que simula tanto un sensor ideal como uno real, siendo este último el ESP32, un sensor que es compatible

con varios protocolos. Basándonos en la información presentada en las Tablas 2 y 3, se recomienda la utilización de ZigBee, ya que permite una tasa de datos de descarga y subida de 250 Kbps y opera en la frecuencia de 2,4 GHz, con un alcance de 100 metros. Además, este protocolo es ideal debido a su bajo costo y a la variedad de topologías que ofrece (estrella, malla), evitando enviar la señal a áreas muy lejanas. Cabe destacar que ZigBee ya se ha utilizado en implementaciones en el sector agrícola. El tamaño máximo por parte del sdk de azure es 5458 bytes, y el mínimo es de

Zigbee maneja una latencia menor a 200 ms para la información y carga propuesta en esta solución.

Software: Una vez que se establece la conexión con el dispositivo de la puerta de enlace, los valores obtenidos por los sensores se envían desde la puerta de enlace al Azure IoT Central a través del protocolo TCP/IP. En Azure IoT Central, se extrae la carga útil de los datos y, en la capa de presentación, se utiliza Power BI para representar gráficamente los datos, lo que facilita la extracción de conclusiones a partir de ellos. Además, al estar en este entorno, es posible exportar los mismos datos.

Podemos ver que la latencia generada desde el sensor al servidor de azure es inferior a 150ms.

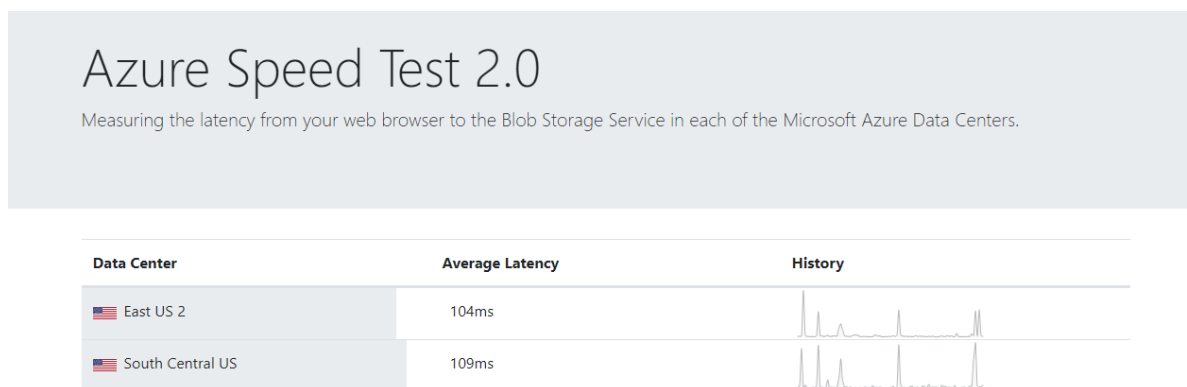


Figura 14. Latencia del servidor utilizado en la arquitectura propuesta.

Manejando un tiempo estimado de llegada total aproximado de 300 ms desde el sensor hasta la llegada y procesamiento en IoT Central.

Al ser un ambiente controlado por Microsoft, este maneja una alta disponibilidad, garantizando que esté arriba un 99.9% del tiempo.

7 IMPACTOS

En Colombia, la implementación de una arquitectura IoT en los cultivos de cacao mejora la productividad y calidad de los cultivos, ya que no solo permite acceder a certificaciones internacionales, sino que aumenta la competitividad del producto tanto a nivel local como internacional. Esto disminuye los riesgos asociados a la producción y ayuda a las familias de escasos recursos que laboran en el sector al mejorar las condiciones de trabajo y reducir el esfuerzo necesario. Además, esta iniciativa acorta la brecha existente entre la tecnología y los cultivos y se encuentra entre las primeras en explorar y abordar las distintas alternativas para una arquitectura IoT en los cultivos de cacao en Colombia.

Esta arquitectura no solo automatiza los cultivos, sino que los mejora significativamente y brinda el potencial para que los cultivos adopten las tecnologías y disminuyan los riesgos asociados a la producción. Al mejorar la calidad de los productos, se incrementará la competitividad del sector, lo que generará una mayor inversión tanto en los cultivos como en el personal de trabajo y una mejora significativa en la imagen internacional del cacao en Colombia, lo que se traducirá en mayores ganancias.

A medida que el sector agrícola busca incrementar su productividad y calidad de los productos mediante el uso de tecnologías emergentes, la propuesta de arquitectura IoT en los cultivos de cacao en Colombia es un buen paso hacia la transformación digital. Esta iniciativa allana el camino para futuras propuestas o mejoras en el sector agrícola y permite abordar los desafíos presentes y futuros de manera más efectiva.

8 CONCLUSIONES

A partir de la investigación que se llevó a cabo una investigación en la que se identificaron los diferentes factores que afectan el crecimiento y la producción de los cultivos de cacao. Para esto se consultaron entidades internacionales y nacionales para el cultivo de cacao, y así mismo cuáles son los criterios según expertos, para cultivar el cacao y obtener productos de la mejor calidad. Estos factores pueden incluir condiciones climáticas, la calidad del suelo, los nutrientes, las enfermedades y plagas, entre otros.

Durante la revisión detallada efectuada en este proyecto, logramos concluir que los procesos que se utilizan en el cultivo de cacao, van desde la siembra hasta la cosecha y la post cosecha (fermentación y secado). Estos procesos incluyen la selección y preparación del terreno, la plantación, el mantenimiento del cultivo y la cosecha o más bien recolección y tratamiento de las semillas del cacao.

Se presentó una propuesta sobre la arquitectura para implementar la arquitectura de Internet de las cosas (IoT) en los cultivos de cacao con el objetivo de mejorar la eficiencia y la productividad. Ayudando al cumplimiento de objetivos importantes a la hora de buscar una certificación internacional, y la mejor calidad del producto. La propuesta incluye la instalación de sensores y dispositivos para medir y controlar los factores ambientales y las condiciones del cultivo, así como la implementación de sistemas de monitoreo y análisis de datos para la toma de decisiones. Finalizando con distintas opciones de envío de datos bien sea para registro o la utilización de estos por parte de científicos de datos.

Ya para finalizar, se hicieron recomendaciones para futuras investigaciones sobre el uso de la tecnología IoT en los cultivos de cacao. Se sugiere la realización de estudios para determinar la efectividad y el impacto de la implementación de IoT en los cultivos de cacao y la exploración de nuevas formas de utilizar la tecnología para mejorar la eficiencia y la productividad. Como las IA, tanto para datos como para imágenes.

9 RECOMENDACIONES

Ya existen estudios para la implementación de IAs en la toma de imágenes [6], y así mismo, proveedores cloud como Amazon y Azure brindan servicios (que se popularizaron por las empresas de streaming), que sectores desde los deportes hasta el agro, los utilizan. Nos ayudan a analizar toda la información obtenida de imágenes. Permitiendo que la toma de fotos, o videos brinde aún más información, ayudando a la automatización de cultivos y el cuidado de estos mismos.

La plataforma cloud que se trabaja en este proyecto es Azure debido a su buena documentación y su buena relación con los servicios IoT, al lograr adaptar los datos obtenidos de los sensores podemos utilizar distintos servicios cloud en distintos proveedores para lograr generar valor no solo a los agricultores sino a los distintos actores que pueden estar interesados en estos datos, bien sea agencias nacionales, estadísticos, o incluso empresas privadas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. A. Perea Villamil, «El cacao desde la ciencia: de la semilla al chocolate.», p. 17, 2019.
- [2] M. Coe y S. Coe, *The tree of the food of the gods*, 3a ed. London.
- [3] B. G. D. Bartley, *The genetic diversity of cacao and its utilization*. UK: Oxfordshire, 2015.
- [4] P. J. Ramos, *Automatic fruit count on coffee branches using computer vision*. Computers and Electronics in Agriculture., 2017.
- [5] Z. Malik, *Detection and counting of on-tree citrus fruit for crop yield estimation*. International Journal of Advanced Computer Science and Application., 2016.
- [6] U.-O. Dorj, *An yield estimation in citrus orchards via fruit detection and counting using image processing*. Computer and Electronics in Agriculture, 2014.
- [7] R. M. Sotomayor-Parian, *A New Path to Predict Susceptibility of Cocoa Pod Against Carmenta foraseminis (Busck) Eichlin Using a Mathematical Model*. IEEE, 2018.
- [8] C. Li y Y. Yin, «The Internet of Things in Agriculture: A Review», *Comput. Electron. Agric.*, 2016.
- [9] S. M. Ehsanul Haque, «Agriculture 4.0: The Role of the Internet of Things in Modern Farming», *Sensors*, 2017.
- [10] M. A. Imran y H. Ehsanul, «IoT-based Smart Farming: A Survey», *IEEE Access*, 2018.
- [11] X. J. Argout, J. M. Salse, y Aury M.J., *The genome of Theobroma cacao*, vol. 2. Nature Genetics, 2011.
- [12] J. Suárez y F. Aránzazu, *Manejo de las enfermedades del cacao (Theobroma cacao L) en Colombia, con énfasis en Monilia*. Bogotá, Colombia: Unión Temporal Corporica-Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2010.
- [13] F. Hardy, *Manual de Cacao*. Costa Rica: Interamerican Institute of Agricultural Sciences, 1961.
- [14] H. Toxopeus, *Botany, types and populations*, 4.^a ed. Londres Blackweel Science: Wood G.A y Lass R, 1985.
- [15] H. Kim y P. G. Keeney, *Epicatechin content in fermented and unfermented cocoa beans*, vol. 49. Journal of food science, 1984.
- [16] I. F. Akyildiz, W. Su, y Y. Sankarasubramaniam, *Wireless sensor networks: a survey*, 4.^a ed., vol. 38. Computer networks, 2002.
- [17] M. E. E. Alahi, N. Pereira-Ishkak, y S. C. Mukhopadhyay, *An internet-ofthings enabled smart sensing system for nitrate monitoring*, vol. 5, 6 vols. IEEE Internet of Things Journal, 2018.
- [18] S. Aust y T. Ito, *Sub 1GHz wireless LAN propagation path loss models for urban smart grid applications*. 2012 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)., 2012.
- [19] L. dos Santos, G. Pessin, A. Da Costa, y R. da Rosa, *AgriPrediction: A*

- proactive internet of things model to anticipate problems and improve production in agricultural crops*, vol. 161. Computers and electronics in agriculture, 2019.
- [20] L. Geng y T. Dong, *An Agricultural Monitoring System Based on Wireless Sensor and Depth Learning Algorithm*, vol. 13. 2017.
 - [21] T. Ojha, S. Misra, y N. S. Raguwanshi, *Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 118. 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169915002379?via%3Dihub>
 - [22] X. Feng, F. Yan, y X. Liu, *Study of Wireless Communication Technologies on Internet of Things for Precision Agriculture*. Wireless Personal Communications, 2019.
 - [23] H. Sundmaeker, S. Verdouw, y L. Wolfert, *Internet of food and farm 2020 Digitising the Industry-Internet of Things connecting physical, digital and virtual worlds,*. Ed: Vermesan, O., & Friess, 2016.
 - [24] M. P. Langer, C. Bazzi Leones, y G. P. Lopez Sepulveda, «Estudio de tecnologías y protocolos de comunicación para redes de sensores inalámbricos aplicados a la agricultura: revisión bibliográfica». CAI, Congreso Argentino de Agroinformática. [En línea]. Disponible en: https://49jaiio.sadio.org.ar/pdfs/cai/CAI_45.pdf
 - [25] D. Balmos, W. Layton, A. Ault, y R. Buckmaster, *Investigation of Bluetooth Communications for Low-Power Embedded Sensor Networks in Agriculture*, vol. 59. Transactions of the ASABE, 2016.
 - [26] H. M. Jaward, R. Nordin, A. Gharghan, M. Ismail, A. M. Jawad, y M. J. Abu-AlShaeer, *Power reduction with sleep/wake on redundant data (SWORD) in a wireless sensor network for energy-efficient precision agriculture*. 2018.
 - [27] N. Ahmed, H. Rahman H, y I. Hussain, *A comparison of 802.11 ah and 802.15. 4 for IoT*. Ict Express, 2016.
 - [28] B. Bellalta, L. Bononi, y R. Bruno, *Next generation IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks: Current status, future directions and open challenges*, vol. 75. Computer Communications, 2016.
 - [29] Q. M. Qadir, T. A. Rashid, y N. K. Al-Salihi, *Low power wide area networks: a survey of enabling*. IEEE Access, 2018.
 - [30] A. Khanna y S. Khaur, *Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture*, vol. 157. Computers and electronics in agriculture, 2019.
 - [31] B. K. Panigrahi, «Wireless sensor networks for precision agriculture: A review», *J. Netw. Comput. Appl.*, 2016.
 - [32] Rainforest Alliance, «Estándar para la agricultura sostenible de rainforest alliance - requisitos para fincas». Departamento de Estándares y Aseguramiento de Rainforest Alliance, 2020.
 - [33] Universidad Estatal de Oregon y Agencia de protección ambiental de estados unidos, «MIP en la agricultura», 2020.
 - [34] Rainforest Alliance, «Anexo S03: Herramienta de Evaluación de Riesgos».

2020.

- [35] Fedecacao [Federación Nacional de Cacaoteros], *Producción nacional de cacao (toneladas)*. Gerencia técnica de estadística y Recaudo, 2017.
- [36] L. Barrera Caso, *Cacao: producción, consumo y comercio: del período prehispánico a la actualidad en América Latina*. Editorial Iberoamericana / Vervuert., 2016. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/usta/titulos/105749>
- [37] Ministerio de agricultura y desarrollo rural, «Colombia registró la mayor producción de cacao de la historia, en el último año cacaotero», 2021. <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Colombia-registr%C3%B3-la-mayor-producci%C3%B3n-de-cacao-de-la-historia,-en-el-%C3%BAltimo-a%C3%B1o-cacaotero.aspx>
- [38] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, «Estrategias para el Desarrollo Sostenible del Cacao en Colombia».
- [39] R. I. Pacheco León, «Vigor of plantain plants (Musa AAB cv. Harton) and its relationship with physical, chemical and biological characteristics of the soil.», *Revista Agronomía Costarricense*, vol. 45, n.º 2, pp. 115-134, 2021.
- [40] International Cocoa Organization, «International Cocoa Organization», Costa de Marfil, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.icco.org/faq/#toggle-id-12>
- [41] Congreso de la república de Colombia, *Convenio Internacional del cacao*. 2020. [En línea]. Disponible en: <http://leyes.senado.gov.co/proyectos/index.php/textos-radicados-senado/p-ley-2020-2021/2016-proyecto-de-ley-219-de-2020>
- [42] Ministerio de Relaciones Exteriores, «Con la adhesión de Colombia a Organización Internacional del Cacao se fortalece la economía y las condiciones de vida de los cacaocultores», 2021.
- [43] S. Superintendencia Industria y Comercio, «CADENA PRODUCTIVA DEL CACAO: DIAGNÓSTICO DE LIBRE COMPETENCIA». Superintendencia Industria y Comercio, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/Cacao.pdf>
- [44] R. Hernández Sampieri, *Metodología de la investigación*. Mc Graw Hill educación, 2000.
- [44] Q. M. Qadir, T. A. Rashid, N. K. Al-Salihi, B. Ismael, A. A. Kist, and Z. Zhang, "Low power wide area networks: a survey of enabling technologies, applications and interoperability needs," *IEEE Access*, v. 6, p. 77454-77473, 2018.
- [45] B. Badihi Olyaei, "Modeling, Performance Evaluation and Suitability Study of Zigbee Technology for Machine-to-Machine Communications Applications," 2013. Dissertação de Mestrado
- [46] F. Montori, L. Bedogni, M. Di Felice, and L. Bononi, "Machine-to-machine wireless communication technologies for the Internet of Things: Taxonomy, comparison and open issues," *Pervasive and Mobile Computing*, v. 50, p. 56-81, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2018.08.002>

- [47] Keysight Technologies (2016). Internet of Things (IoT). <https://www.keysight.com/br/pt/assets/7018-05035/posters/5992-1217.pdf>
- [48] T. Adame, A. Bel, B. Bellalta, J. Barcelo, and M. Oliver, "IEEE 802.11 AH: the WiFi approach for M2M communications," IEEE Wireless Communications, v. 21, n. 6, p. 144-152, 2014
- [49] Q. M. Qadir, T. A. Rashid, N. K. Al-Salihi, B. Ismael, A. A. Kist, and Z. Zhang, "Low power wide area networks: a survey of enabling technologies, applications and interoperability needs," IEEE Access, v. 6, p. 77454-77473, 2018.
- [50] A. Aragues, I. Martínez, P. Del Valle, P. Muñoz, J. Escayola, and J. D. Trigo, "Trends in entertainment, home automation and e-health: Toward cross-domain integration," IEEE Communications Magazine, v. 50, n. 6, p. 160-167, 2012.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Distribución de cultivos de cacao por municipio en Colombia.
- Figura 2.** Diagrama de secuencia cultivo de cacao.
- Figura 3.** Diagrama de secuencia fermentación y secado de cacao.
- Figura 4.** Arquitectura de referencia de la solución IoT propuesta.
- Figura 5.** Simulación de varios días de un sensor real (ESP32) simulado en IoT central.
- Figura 5.** Gráfica de temperatura simulada de sensor ESP32.
- Figura 7.** Gráfica de recuento de datos obtenidos en el último día.
- Figura 8.** Registro de distintos datos en distintos momentos.
- Figura 9.** Gráfica de humedad por hora del dispositivo ESP32 simulado.
- Figura 10.** Gráfica recuento de datos del sensor de humedad del ESP32 simulado.
- Figura 11.** Sección de reglas donde podemos configurar las acciones, en esta figura se añade la acción de un webhook.
- Figura 12.** En la sección de reglas podemos configurar las acciones, en esta figura se añade la acción de un correo electrónico.

Figura 13. Recepción del evento en formato Json, se observa debajo de la sección de Exports.

Figura 14. Latencia del servidor utilizado en la arquitectura propuesta.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Principales tecnologías WSN y sus parámetros.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de las principales tecnologías.

Tabla 3. Áreas de aplicación de las principales tecnologías usadas en WSN