

RAE

1. TIPO DE DOCUMENTO: Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO ELECTRÓNICO

2. TÍTULO: Sistema de Monitoreo Sobre La Profundidad de Agua En Pozos y El pH Que Se Maneja En Aguas y Suelos De Las Plantaciones De Banano, Usando Tecnologías Del Internet De Las Cosas

3. AUTOR (ES): Frank David Pérez Orozco y Diego Armando Suarez Sanabria

4. LUGAR: Bogotá D.C

5. FECHA: Julio de 2021

6. PALABRAS CLAVES: Internet de las cosas, Potencial De Hidrogeno.

7. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO: El objetivo principal de este proyecto es realizar un estudio en suelos y agua de bananos para proveer a los agricultores información cuantitativa sobre las afectaciones que pueden presentarse por cambios en las variables como el pH sobre la productividad de las plantaciones.

8. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Línea de investigación de la USB: Tecnologías actuales y sociedad.

9. METODOLOGÍA: Esta investigación es de tipo cuantitativo y se enmarca a través de un diseño experimental

10. CONCLUSIONES: Tanto en el área controlada como in situ se evidencia que los sensores y puertos digitales presentan un comportamiento constante en un tiempo real. Sin embargo, la temperatura del sitio de estudio por lo general es superior a 25°C, lo que de algún modo pudo afectar levemente la medición de las variables estudiadas al momento de comparar las mediciones en laboratorio. De igual forma, los resultados que se registraron durante el periodo de experimentación conllevan a deducir que los sectores muestreados tienen valores de pH en el suelo se encuentra entre el rango de 5.98 y 6.74, es decir suelos relativamente ácidos según las fuentes consultadas. Para los valores de pH en el agua, estos oscilaron entre 6,7 y 7,2. En lo que se refiere al nivel de profundidad las variaciones estuvieron en un rango entre el 50 y 100%.

**Sistema de Monitoreo Sobre La Profundidad de Agua En Pozos y El pH Que Se Maneja En
Aguas y Suelos De Las Plantaciones De Banano, Usando Tecnologías Del Internet De Las
Cosas**

Frank David Pérez Orozco
Diego Armando Suarez Sanabria

Proyecto presentado para optar al
título de Ingeniero Electrónico

Asesor: Andrés Rodolfo Torres Gómez, Doctor (PhD) en educación ©



UNIVERSIDAD DE
SAN BUENAVENTURA
COLOMBIA

Universidad de San Buenaventura
Facultad de Ingeniería (Bogotá)
Ingeniería Electrónica
Bogotá D.C., Colombia
2021

Citar/How to cite	Pérez Orozco y Suarez Sanabria [1]
Referencia/Reference	[1] F. Pérez Orozco y D. Suarez Sanabria., “Sistema de Monitoreo Sobre La Profundidad de Agua En Pozos y El pH Que Se Maneja En Aguas y Suelos De Las Plantaciones De Banano, Usando Tecnologías Del Internet De Las Cosas”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Electrónica, Universidad de San Buenaventura Bogotá (Cundinamarca), 2021.
Estilo/Style: IEEE (2020)	



Corrección de estilo: Frank David Pérez Orozco

Aplicación de normas IEEE: Frank David Pérez Orozco

Jurados: Johana Carolina Martínez Ballesteros y Mauricio Andres Poloche Arango



Biblioteca Digital (Repositorio)
www.bibliotecadigital.usb.edu.co

Bibliotecas Universidad de San Buenaventura

Biblioteca Fray Alberto Montealegre O.F.M. - Bogotá.

Biblioteca Fray Arturo Calle Restrepo O.F.M. - Medellín, Bello, Armenia, Ibagué.

Departamento de Biblioteca - Cali.

Biblioteca Central Fray Antonio de Marchena – Cartagena.

Universidad de San Buenaventura Colombia - www.usb.edu.co

Bogotá - www.usbbog.edu.co

Medellín - www.usbmed.edu.co

Cali - www.usbcali.edu.co

Cartagena - www.usbctg.edu.co

Editorial Bonaventuriana - www.editorialbonaventuriana.usb.edu.co

Revistas científicas – www.revistas.usb.edu.co

Dedicatoria

Primeramente, A Dios por bendecirnos y permitir este logro en nuestras vidas.

Frank David Pérez Orozco.

Deseo dedicar esta dedicatoria a mi familia que siempre me apoyo en los momentos más complicados durante mi época estudiantil, a mis padres Berta María Orozco De Vega y Alonso José Pérez De La Peña su amor, su esfuerzo por profesionalizar a sus hijos, por inculcarme valores que me han permitido ser una persona de bien con convicciones del futuro que yo mismo puedo construir con la fuerza de voluntad y deseos de seguir adelante.

Diego Armando Suarez Sanabria.

Dedico esta tesis a mis padres Luz Mila Sanabria y Diego Suarez porque ellos se esforzaron durante todo mi proceso académico en darme lo mejor para culminar mis estudios de mejor manera y en mi formación como persona, todo lo que hoy soy es gracias a ellos y también a las personas que me motivaron estuvieron para darme ánimo de seguir adelante a un con varias dificultades.

Frank David Pérez Orozco y Diego Armando Suarez Sanabria.

Agradecimientos

A Dios, por ser el pilar de mi vida...porque siempre me ha respaldado y me ha bendecido en todos los aspectos de mi vida.

A la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá por sus aportes académicos y científicos en mi formación profesional.

A mi asesor de tesis Andrés Rodolfo Torres Gómez y al docente Luis Carlos Luis García por su incansable apoyo y constante orientación académica, la cual fue invaluable para la culminación de esta investigación.

A cada uno de los profesores que hicieron parte de mi formación académica por sus conocimientos y experiencias en las diferentes asignaturas.

A mis amigos por su compañía y apoyo incondicional en esta historia de mi vida.

A cada uno de los colaboradores que participaron desinteresadamente en este estudio.

Y a cada una de las personas que de alguna manera aportaron su granito de arena para la construcción de esta investigación.

¡Gracias!

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	12
ABSTRACT	13
I. INTRODUCCIÓN	14
II. Antecedentes	16
III. JUSTIFICACIÓN.....	20
IV. OBJETIVOS.....	21
A. Objetivo general	21
B. Objetivos específicos.....	21
1.1. Sistema de Monitoreo.....	23
1.2. Potencial de Hidrogeno (pH).....	24
1.3. Tecnologías Del Internet De Las Cosas (IoT)	25
1.4. Características de las IoT	26
1.5. La Red IoT en la agricultura.....	27
1.6. Sensores	27
1.7. El pH Que Se Maneja En Aguas y Suelos De Las Plantaciones De Banano	28
Fases de la investigación	29
2. Fase 1. Investigación y revisión de antecedentes	30
2.1. Fase 2. Prueba en área controlada (Diseño e implementación del sistema)	30
2.2. Fase 3. Pruebas de sensor in situ	31
2.3. Fase 4. Recolección de la información.....	32

IX. DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE pH Y NIVEL DE PROFUNDIDAD	34
3. Localización y descripción de la zona de estudio	34
3.1 Sensores para la medición de pH.	36
3.1.1 Selección de los sensores.	36
3.1.2. Tipos de sensores de pH.	38
3.1.3 Tipos de sensores de nivel de profundidad.	40
3.1.4 Descripción general de la tarjeta de desarrollo	43
3.1.5 Descripción del conversor análogo digital MCP3008.	43
3.1.6. Descripción de la red.	44
3.1.7 Descripción de la conexión general y diseño del sistema de monitoreo	46
X. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO.	50
4. Implantación del sistema de monitoreo.	50
4.1.1. Prueba en área controlada	51
4.1.2. Descripción y esquemas	52
4.1.3 Prueba in situ.	53
XI.RESULTADOS	61
5. Resultados en área controlada	61
5.1.1 Resultados pH de agua.	61
5.1.2. Resultados pH de suelo	62
5.1.3 Resultados de la prueba in situ	63
5.1.4 Resultados pH del agua in situ.	63
5.1.5 Resultados pH del suelo in situ	66
5.1.6 Resultados Nivel De Profundidad Del Agua in situ.	71
XII. CONCLUSIONES	72
XIII. ANEXOS	80

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Comparación de sensores.....	37
Tabla II. Comparación entre diferentes tipos de sensores de pH	40
Tabla III. Comparación entre diferentes tipos de sensores de nivel de profundidad	42
Tabla IV. Configuración de cableado	50
Tabla V. Datos descriptivos de pH en laboratorio y área controlada.....	51
Tabla VI. Valores promedios de pH para cada sector.....	64
Tabla VII. Valores de pH registrados por el sensor SEN0249.....	66

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Diagrama de esquemático de un sistema de monitoreo inalámbrico. Fuente: Suarez y Suarez (2014 p.167)	24
Fig. 2. Diagrama de bloques de una red IoT. Fuente: Meléndez (2017).....	26
Fig. 3. Fases de desarrollo del proyecto Fuente: (Autores).....	33
Fig. 4. Croquis de la finca Julia Ester	35
Fig. 5. Localización Del Área de trabajo.	35
Fig. 6. Diagrama de la red IoT.	44
Fig. 7. Diagrama de bloques del sistema de monitoreo	45
Fig. 8. Diagrama de flujo del sistema.....	46
Fig. 9. Diagrama esquemático del sistema de monitoreo.....	47
Fig. 10. conexión del conversor MCP3008 y el SEN0161	48
Fig. 11. Conexión sensor SEN0249 y conversor MCP3008.....	49
Fig. 12. Conexión puertos digitales Rapsberry Pi 3B+	49
Fig. 13. Configuración de la plataforma de visualización.....	53
Fig. 14. Distribución de datos de pH en el laboratorio y área in situ	54
Fig. 15. Histograma del pH en área in situ.....	54
Fig. 16. Histograma del pH en Laboratorio	55
Fig. 17. Diagrama de cajas y bigotes	56
Fig. 18. Distribución de los datos de pH en el área in situ.....	56
Fig. 19. Distribución de datos de pH en Laboratorio	57
Fig. 20. Montaje del sensor SEN0161 in situ. Fuente: (Autores)	58
Fig. 21. Montaje final del sistema de monitoreo. Fuente: (Autores).	59
Fig. 22. Montaje del sensor SEN0249 in situ. Fuente: (Autores).	60
<i>Figura 23.</i> Fig. 23. Montaje sensor de nivel de profundidad in situ.....	60
Fig. 24. Registros del valor del pH en el agua en prueba de área controlada. Fuente: (Autores) ..	62

Fig. 25. Registro de valor del pH del suelo en la fase de prueba de área controlada. Fuente: (Autores).....	63
Fig. 26. Registro de valores de pH del agua. Fuente: (Autores)	64
Fig. 27. Resultado de la detección del sistema para el pH del agua. Fuente: (Autores)	65
Fig. 28. Resultado para el pH del agua. Fuente: (Autores)	66
Fig. 29. Resultados de pH del suelo. Fuente: (Autores).....	67
Fig. 30. Valores de pH del suelo en el sector 2. Fuente: (Autores).....	68
Fig. 31. Valores de pH del suelo sector 2. Fuente: (Autores)	69
Fig. 32. Valores de pH in situ. Fuente: (Autores)	70
Fig. 33. Registros de valores de pH del suelo in situ. Fuente: (Autores)	70
Fig. 34. Registros de profundidad del pozo. Fuente: (Autores)	71
Fig. 35. Registro del nivel de profundidad del pozo in situ. Fuente: (Autores).....	72

RESUMEN

El siguiente documento presenta la estructuración de un sistema de monitoreo que permitirá mostrar numéricamente información sobre el suelo y agua y profundidad de pozos utilizados en las plantaciones de banano. Debido a que se utilizan actividades artesanales para verificar el estado de las plantaciones se desea brindar dicha información de manera continua y con accesibilidad desde dentro de las plantaciones como por fuera de ella utilizando internet. Para garantizar la funcionalidad de este sistema de monitoreo, se realizaron pruebas para verificar que los sensores seleccionados fueran los adecuados para las plantaciones antes mencionadas y garantizar que los valores fueran idóneos a los rangos establecidos encontrados durante la investigación de antecedentes. Adicionalmente se debió tener en cuenta el área en el cual se realizaron las pruebas debido a que no todas las fincas de producción se encuentran con las mismas problemáticas o disponibilidad para la realización del estudio, es por ello que antes se estableció el área de trabajo y los sectores en los cuales se pudieran realizar actividades de monitoreo sin interrumpir las labores diarias.

Palabras clave — Internet De Las Cosas, Monitoreo, Potencial De Hidrógeno.

ABSTRACT

The following document presents the structuring of a monitoring system that will allow numerical information on the soil and water and depth of wells used in banana plantations to be displayed. Due to the fact that artisanal activities are used to verify the status of the plantations, it is desired to provide such information continuously and with accessibility from within the plantations as well as from outside it using the internet. To guarantee the functionality of this monitoring system, tests were carried out to verify that the selected sensors were adequate for the aforementioned plantations and guarantee that the values were suitable within the established ranges found during the background investigation. Additionally, the area in which the tests were carried out should be taken into account because not all the production farms have the same problems or availability for the study, that is why the work area was established before and the sectors in which monitoring activities could be carried out without interrupting daily work.

***Keywords* — Internet Of Things, Monitoring, hydrogen potential.**

I. INTRODUCCIÓN

En Colombia el cultivo de banano es importante no solo por ser uno de los productos básicos dentro de la alimentación diaria de muchas personas, sino también por ser una fuente de empleo y de ingresos para el país (Millán y Ciro, 2012).

En los cultivos agrícolas existen varios factores de tipo físico y químico que inciden sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas en el cultivo, en donde, el pH es uno de los más importantes. El control propicio del pH ayuda a prevenir reacciones químicas de fertilizantes, y asegura una mejor asimilabilidad de los diferentes nutrientes propios del suelo (Valderrama, 2017). Gutierrez (2017) expresa que dentro del campo agrícola el conocimiento de la variabilidad espacial de los atributos físicos y químicos del suelo es primordial para el éxito en el manejo de zonas específicas del cultivo.

Por tanto, la medición y monitoreo de esta variable que tiene un efecto sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas es de vital importancia para los cultivadores, puesto que, mediante un sistema de monitoreo de los parámetros físicos y químicos, los cultivadores tendrán el conocimiento suficiente para el cuidado de los cultivos. A la vez, es preciso señalar que en la actualidad el diseño de sensores está enfocado en la disminución de energía y costos, y están adquiriendo más relevancia en el monitoreo y control de diferentes variables en el sector industrial, por lo cual, en esta investigación sería, para el sector agrícola.

El objetivo principal de este estudio fue el desarrollo de un sistema de monitoreo sobre la profundidad de agua en pozos y el PH que se maneja en aguas y suelos de las plantaciones de banano, usando tecnologías del internet de las cosas. A lo cual, el diseño y desarrollo de un sistema de monitoreo de las variables nivel del agua y pH del agua y el suelo en las plantaciones de banano es sin duda alguna, una herramienta de gran utilidad para los cultivadores de banano del corregimiento de Río Frio, Municipio Zona Bananera, puesto que esta propuesta nace como respuesta a la necesidad de conocer y a la vez, controlar algunas propiedades del suelo, ya que muchas de estas variables no son constantes, y por lo tanto en su variación pueden afectar la productividad.

En los capítulos uno, dos y tres se explica el diseño, implementación y validación del sistema de monitoreo para las variables pH y nivel de profundidad y luego, la visualización y generación de datos tras las fases de prueba en área controlada y en la zona de estudio. para la medición del pH del agua y suelo en los cultivos de banano, así como también, el registro de los niveles de profundidad de los pozos que suministran el agua para el riego de las plantaciones

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia el tema de las aguas subterráneas se ve enfrentado a grandes retos para su gestión; ya que las investigaciones no se realizan de forma integral. Uno de los mayores problemas es la ausencia de registros históricos del comportamiento de variaciones del recurso subterráneo, y por ende no hay conocimiento de los impactos de fenómenos climáticos. Si no hay un monitoreo de las aguas subterráneas, el seguimiento es incompleto y se dificulta el escalamiento de instrumentos económicos y planes de desarrollo (IDEAM, 2014).

Por otra parte, el sector agrícola es muy importante para el ser humano, en varios lugares fértiles de Colombia, todavía la visión antigua del campo se mantiene y aún continúan utilizando métodos rudimentarios para su explotación, lo cual, afecta y genera un impacto negativo a nivel ambiental y socioeconómico. Respecto al cultivo del banano, se indica que es cultivado en suelos con alta diversidad, en sistemas tradicionales y ambientalmente sustentables (Villarreal y otros, 2013). Sin embargo, Delgado y otros (2010) afirman que durante la última década para América Latina y el Caribe la productividad de las plantaciones bananeras ha disminuido considerablemente, lo cual se ha asociado a un deterioro de factores físicos, químicos y biológicos del suelo. También, se evidencia una reducción considerable en la producción y productividad debido al cambio y deterioro de los factores físicos, químicos y principalmente biológicos del suelo (Fontagro, 2010).

A lo cual, en la temática del pH del suelo es preciso mencionar que el pH se correlaciona positivamente con el rendimiento del cultivo del banano y se ha demostrado que los rendimientos de fruta a pH 4,5 son alrededor de la mitad de los rendimientos obtenidos a pH 6,0 (Champion et

al., 1958 citado por Sancho y Molina, 2016). También, se conoce que el pH bajo limita el crecimiento de las plantas en forma indirecta por el efecto de factores secundarios, consecuencia del pH ácido, como la toxicidad de Al y/o Mn y las deficiencias de P, Ca, Mg y N (Sancho y Molina, 2016).

En relación con lo anterior, y teniendo en cuenta la indagación y preocupación por el tema del monitoreo del pH del suelo de los cultivos de banano en el corregimiento de Río Frio, Zona Bananera, a través de visitas y entrevistas a los dueños y encargados de las plantaciones, éstos revelan de acuerdo con su conocimiento empírico, que muchas veces se presentan dificultades en las características fisicoquímicas del suelo y agua para el riego de los cultivos. Lo cual, según ellos se deba a la falta de un seguimiento o monitoreo de las variables tanto físicas como químicas del suelo y agua que son fundamentales para una producción de calidad del banano.

Ya para finalizar, y teniendo en cuenta los argumentos anteriores se puede decir que la industria bananera se encuentra afectada por las diferentes variables que se encuentran en el medio como son la baja humedad, la temperatura o el pH, de algún modo no permiten tener una producción constante y a la vez, no permiten que garantice que la producción a generar sea coherente a la planificada por los productores.

II. ANTECEDENTES

La revisión de la literatura sobre la temática de monitoreo con sensores converge en el desarrollo de diversas soluciones de monitoreo de distintos tipos en el mercado, los cuales se pueden encontrar desde lo más sencillos hasta los más complejos sistemas de monitoreo inalámbrico capaces de interconectar variados tipos de sensores en distintos sitios simultáneamente, que, mantienen a su vez, registro de todas las mediciones y actividades (Luna y otros, 2020).

Kumar y otros (2015) proponen desarrollar un sensor de pH del suelo in situ con nanopartículas de antimonio y zinc que superará los inconvenientes existentes y no requiere fuente de energía para su funcionamiento. De igual manera, Froiz y otros (2020) diseñan, implementan y validan empíricamente un sistema de riego inteligente IoT para aplicaciones de computación de niebla basado en nodos de sensores LoRa y LoRaWAN.

Castro, Chamorro y Viteri (2016) en su estudio describen el diseño e implementación de una red de sensores inalámbricos que mide continuamente la humedad volumétrica del suelo en sitios específicos de un cultivo de fresas. En el diseño de la red se utilizaron seis nodos, tres de ellos son nodos sensores, dos son nodos actuadores y el principal es el coordinador de la red.

Para el inicio de un proceso agrícola Sánchez y otros (2019) diseñaron un instrumento de medida de pH que permite monitorear las variables; logrando solucionar necesidades agrícolas mediante la aplicación de competencias en las áreas de la ingeniería electrónica y la química, en donde, el proceso se ejecutó en cuatro fases: 1) recolección de la información 2) diseño e implementación del dispositivo, 3) diseño de algoritmo y software 4) Simulación de pruebas y análisis de pruebas.

Gómez y otros (2017) trabajaron para el monitoreo de cultivos con un sistema de Internet de las cosas (IoT), a través del desarrollo de un sistema con capacidad de recolectar información de parámetros relacionados con el desarrollo y crecimiento de los cultivos. En el manejo de los cultivos el uso de sensores directos tiene un alto potencial de aplicación, por ejemplo, el sensor Veris pH Manager TM , desarrollado y testado por Adamchuk et al. (1999), modificado por Lund

et al., en 2005; el cual tiene una plataforma de sensores múltiples, que permite evaluar en simultaneo varias propiedades del suelo (Resende et al., 2014).

En lo que respecta a la temática del monitoreo de la profundidad de pozos o aguas subterráneas, actualmente se ofrece una amplia gama de equipos prácticos y duraderos, utilizados por hidrogeólogos e hidrólogos en todo el mundo. Esta gama comprende no solo medidores de nivel de agua, sino que se ha expandido a una categoría completa de instrumentos de medición de nivel, Dataloggers y sistemas de Telemetría de datos, muestreadores de agua subterránea, sistemas multiniveles, dispositivos de remediación y piezómetros para hincar (Solinst, 2017).

En Colombia, según Cairasco (2017) en el tema del monitoreo y gestión del recurso hídrico subterráneo existen algunas inconsistencias, como por ejemplo, en términos generales se evidencia que existen bajos niveles de conocimiento, preparación técnica y académica sobre el tema, así como un escaso trabajo articulado, sinérgico y permanente en los diferentes niveles –nacional, regional y local–, que permita contar con información y soporte institucional suficiente para la planificación y manejo integral de este recurso (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014)

III. JUSTIFICACIÓN

En Colombia la economía depende en gran parte del sector agropecuario; el cultivo y producción de frutas tropicales, como lo es el banano (Millán y Ciro, 2012). La industria del banano en Colombia es un sector dinámico, con vocación al comercio exterior y de gran importancia para la economía nacional. Durante el año 2015, Colombia estuvo entre los cinco mayores exportadores de banano del mundo, con un valor de \$836 millones de dólares. Es el tercer sector agrícola, después del café y flores, y genera aproximadamente 35.000 empleos directos y 100.000 indirectos (Alcaraz y Jiménez, 2018).

De acuerdo con lo anterior, es evidente la importancia del cultivo del banano en el país, por tanto, es pertinente señalar que se hace necesario el monitoreo continuo del agua y del suelo, a lo cual, es fundamental el diseño de un sistema de monitoreo para la medición de las variables de profundidad de agua y el pH que se maneja en aguas y suelos de las plantaciones de banano, usando tecnologías del internet de las cosas en una finca bananera del corregimiento de Río Frio del Municipio Zona Bananera.

Lo anterior, se fundamenta en Romero, Piña y Goire (2018) quienes afirman que a nivel mundial es evidente que en la actualidad la agricultura está influida por los nuevos paradigmas tecnológicos; por lo que es favorecida con los enormes avances en la Informática y las Comunicaciones (Romero, Piña y Goire, 2018). A lo cual, es preciso destacar que recientemente el “internet de las cosas” (Intenet of Things-IoT por sus siglas en inglés) es una tecnología que está despertando un gran interés en la aplicación a sistemas de eficiencia energética, sobre todo para el monitoreo de la eficiencia de sistemas en tiempo real (Escobar y Villazón, 2018).

Esta investigación tiene una pertinencia desde lo teórico, desde lo social y desde lo metodológico. En cuanto a la pertinencia teórica, el presente estudio hará posible la comparación de los diferentes métodos de monitoreo para el pH y el nivel de profundidad de agua en las plantaciones de banano de la finca “Julia Ester”; desde la óptica de lo social este estudio pretende contribuir de alguna manera en la acción educativa y practica de los cultivadores con relación a la calidad del agua y del suelo de sus plantaciones, aspirando de algún modo a cambios de actitud y a la toma de decisiones que sean benéficas para la producción del banano en la zona de estudio.

Monitorear dichas variables permitirá al productor, tener valores numéricos concretos de las afectaciones generadas por los químicos aplicados al suelo y las aguas subterráneas proveniente de los pozos. Según Ganadero (2013) debido a las consecuencias que trae el verano para los agricultores del país, ellos han empezado a considerar la implementación de la tecnología en el sector agropecuario, ya que esto les ayudará a observar más de cerca y en tiempo real los factores que están afectado sus cosechas.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Desarrollar un sistema de monitoreo sobre la profundidad de agua en pozos y el PH que se maneja en aguas y suelos de las plantaciones de banano, usando tecnologías del internet de las cosas..

B. Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de monitoreo para las plantaciones de banano.
- Implementar el sistema de monitoreo, utilizando tecnología del internet de las cosas.
- Validar el sistema a partir de pruebas funcionales.

V. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son las características que debe tener un sistema para el monitoreo de la profundidad de agua en pozos y del pH en agua y suelo de las plantaciones de banano usando tecnologías del internet de las cosas?.

VII. MARCO TEÓRICO

1.1.Sistema de Monitoreo

Conceptualmente, se entiende el sistema de monitoreo como un proceso que mide continua y sistemáticamente el progreso y los resultados de la realización de un conjunto de actividades (proceso) en un tiempo determinado, con base en indicadores previamente establecidos. El monitoreo garantiza que se logre el resultado. Además, se buscan las razones de las fallas comprobadas, con el objetivo de encontrar alternativas de solución, junto con el reporte de los logros para que las prácticas exitosas puedan ser replicadas y las erróneas revisadas (García, 2013).

En el mercado se pueden encontrar diversas soluciones de monitoreo de diferentes tipos; desde simples sensores de temperatura, hasta completos sistemas de monitoreo inalámbrico (ver figura 1) capaces de interconectar múltiples tipos de sensores en varios lugares simultáneamente, que, a su vez, mantienen registro de todas las mediciones y actividades. A pesar de contar en el mercado con diversas alternativas para el monitoreo, éstas tienen particularidades tales como control independiente para cada variable, o sistemas limitados o integrados a necesidad, con costos de hardware elevados, e incremento en la inversión económica, por servicios de monitoreo y alarmas adicionales con pagos mensuales o anualidades (Luna y otros, 2020).

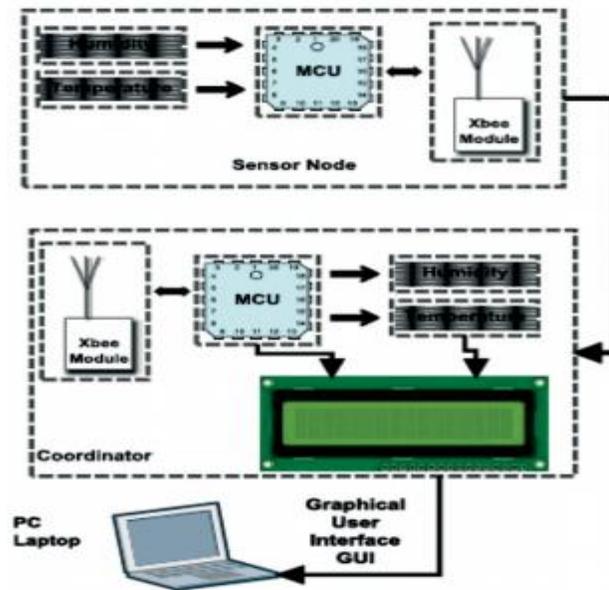


Fig. 1. Diagrama de esquemático de un sistema de monitoreo inalámbrico. Fuente: Suarez y Suarez (2014 p.167)

1.2.Potencial de Hidrogeno (pH)

El potencial de hidrogeno o pH es un indicador de la acidez de una sustancia y está determinado por el número de iones libres de Hidrógeno (H^+). En una sustancia cuando el pH es mayor de 7, se considera básica y si está por debajo de 7, es considerada ácida (Rivero, 2010). El pH también se expresa a menudo en términos de concentración de iones hidronio (Rivera, Sanchez y Dominguez, 2018). López y Cubillos (2016) definen el pH como la concentración de iones de hidrogeno (H^+)

en una solución e indica si una sustancia es base o acida, representada por la ecuación como un logaritmo negativo en base 10 de la actividad de iones de hidrogeno:

Ecuación :

$$pH = -\log [H^+] \quad (1)$$

(Fuente: Thermo Scientific)

1.3.Tecnologías Del Internet De Las Cosas (IoT)

Serbanati, Medaglia y Biader (2011) y Ashton (2009) opinan que generalmente la conceptualización de la IoT gira alrededor de una diversidad de elementos, cosas u objetos de carácter cotidiano, como etiquetas de identificación por radiofrecuencia (RFID), sensores, actuadores, smartphones y demás dispositivos móviles, los cuales son reconocibles, localizables y legibles por medio de esquemas de direccionamiento únicos capaces de interactuar unos con otros y controlables a través de internet (Pascual, 2012; SNAU y otros 2014; Gubbiy otros 2013).

IoT es una extensión de Internet donde objetos físicos del mundo real forman parte de este, es decir, están identificados unívocamente, tienen acceso a la red y se conoce su posición y estado, ofreciendo servicios en Internet y combinando de esta manera el mundo físico y digital (Cobos, 2016). Es tal el impacto de esta tecnología que se ha añadido una nueva dimensión al mundo de las

tecnologías de información y comunicación (Rodríguez, 2017). La siguiente figura muestra un diagrama esquemático general de la red IoT.

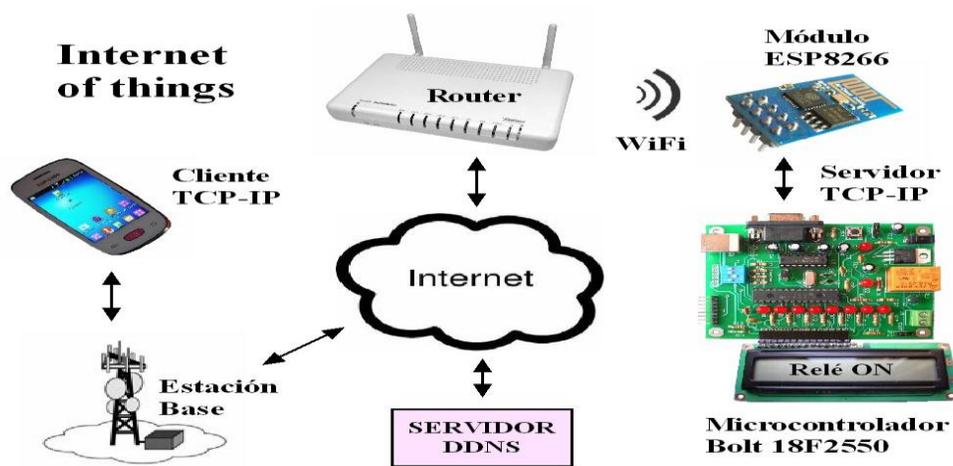


Fig. 2. Diagrama de bloques de una red IoT. Fuente: Meléndez (2017)

1.4. Características de las IoT

Interconectividad: Esta es la característica que dota al IoT de todo su potencial, ya que permite la compatibilidad y el acceso a la infraestructura mundial de la información y la comunicación.

Servicios relacionados con objetos: IoT proporciona servicios relacionados con objetos dentro de las restricciones de esos objetos.

Heterogeneidad: Dispositivos basados en diferentes plataformas hardware y redes que pueden interactuar entre sí.

Cambios dinámicos: Tanto el estado de los dispositivos (reposo, activo, conectado, desconectado) como el contexto (ubicación, velocidad) o el número de dispositivos pueden variar de forma dinámica.

Escalabilidad: El número de dispositivos IoT interconectados va a incrementarse espectacularmente durante los próximos años, lo que hará necesaria la gestión de datos generados, su interpretación y su manipulación de forma eficiente (Cobos, 2016).

1.5. La Red IoT en la agricultura

Paulatinamente, en el sector de la agricultura se ha logrado incorporar el concepto del IoT, específicamente en los sistemas de riego, logrando con esto una mejora en la producción. Una red IoT integra varios componentes que permiten el funcionamiento de un sistema, una variable a medir, un dispositivo que permita la medición de dicha variable (sensor), un micro controlador que permita la transmisión de datos tomados por el sensor, una base de datos o servidor físico o en la nube que permita la interacción con los variables tomadas, y un dispositivo que permita acceder a este servidor (Smartphone, laptop, Tablet), la combinación de estos componentes dan como resultado una red de IoT.

1.6.Sensores

Un sensor es un dispositivo que recibe un estímulo físico o químico, lo cuantifica y lo reproduce con una señal eléctrica. El estímulo es la cantidad, la propiedad o la condición que se recibe y se convierte en una señal eléctrica (Fraden, 2010, Madruga, 2006). Son dispositivos que llevan a cabo la transducción, es decir, la transformación de la variable física en una variable eléctrica (De Paz, 2015).

Ebel y Nestel (1993) definen un sensor como un convertidor técnico, que convierte una variable física (por ejemplo, temperatura, distancia, presión) en otra variable distinta, fácilmente de evaluar (generalmente una señal eléctrica). También, existen otras nominaciones adicionales como lo es: Codificadores (encoders), efectores, convertidores, detectores, transductores, iniciadores.

1.7.El pH Que Se Maneja En Aguas y Suelos De Las Plantaciones De Banano

Collazo (2015) manifiesta que el pH de las aguas naturales se mantiene entre 6,5 y 8, aunque excepcionalmente puede variar entre 3 y 11. Además, es preciso señalar que en las aguas subterráneas el pH juega un papel importante en muchos procesos biogeoquímicos (equilibrio carbonatico, procesos redox, etc..) (Zamora y Valdizón, 2014.).

Gálvez (2012) manifiesta que desde el punto de vista químico los suelos para el cultivo de banano deben tener un pH moderadamente ácido (5,5 a 6,5). Sin embargo, en cuanto a este último aspecto, Ramos (1999) propone la utilización de suelos con pH más cercanos a la neutralidad (6 a 7,5). Por su parte Soto (2001) y Causil (2020) opinan que en el suelo bananero las condiciones ideales de pH son de 6,5.

VIII. METODOLOGÍA

Esta investigación es de tipo cuantitativo y se enmarca a través de un diseño experimental, debido a que se busca desarrollar un sistema de monitoreo sobre la profundidad de agua en pozos y el PH que se maneja en aguas y suelos de las plantaciones de banano, usando tecnologías del internet de las cosas.

A la vez, desde el grado de abstracción de la metodología se va a desarrollar una investigación aplicada o tecnológica, la cual emplea y aplica conocimientos y tecnologías previamente desarrollados y crea a partir de estos una nueva tecnología o solución en una problemática específica del sector agrícola y una investigación empírica porque se basa en la experimentación y observación.

De igual forma, la presente investigación es Teórico – Práctico, inicialmente se basa en un enfoque teórico, en los conceptos de los sensores de profundidad y de pH, las IoT, sistema Raspberry Pi 3B+, elaboración del sistema de monitoreo en tiempo real, para luego tomando las consideraciones de diseño y desarrollo contar con un conjunto de datos del nivel del agua de los pozos que se usan para el riego como también datos del pH en el agua y suelo , que de algún modo, serán útiles para los cultivadores de banano en una finca del corregimiento de Río Frio del Municipio de la Zona Bananera

Para lograr el desarrollo de este proyecto se especifica la siguiente metodología, la cual consta de cuatro fases: 1. Investigación, 2. Pruebas en áreas controladas, 3. Pruebas de sensor in situ y 4. Validación. En estas fases se especifican las características a tener en cuenta para culminación de la propuesta de anteproyecto de grado.

Fases de la investigación

2. Fase 1. Investigación y revisión de antecedentes

Para el desarrollo y diseño del sistema de monitoreo, primeramente, se procedió a recopilar información y estado del arte sobre los sistemas de monitoreo de profundidad en aguas de pozo y de los sistemas de sensores utilizados en la medición de pH en agua y suelos (ver anexo 1). En la fase inicial se realiza una búsqueda de los antecedentes relacionados con el tema y contexto de la investigación, con el objetivo de proporcionar una visión y una orientación de los estudios realizados local e internacionalmente. Así mismo, se realizan indagaciones con los cultivadores de banano de la zona de estudio a fin de establecer los requisitos de control, lineamientos generales de diseño y consideraciones generales para el desarrollo del sistema de monitoreo.

También, esta primera fase consta del análisis para tener en cuenta en terreno, en cuanto a la implementación del sistema, teniendo en cuenta las problemáticas que puedan presentarse para la adecuación de los diferentes elementos dentro del área a trabajar.

2.1. Fase 2. Prueba en área controlada (Diseño e implementación del sistema)

Inicialmente, se debe tener en cuenta los requerimientos de todo proyecto de ingeniería que se traduce en conocer primeramente ciertas características del proyecto para desarrollar el diseño preliminar, que en este caso es un sistema de monitoreo de pH en agua y suelo y profundidad en agua, sensores, parámetros o variables, conexión del sistema; de igual forma, es de suponer que será necesario conocer las propiedades de los materiales que se utilizarán en el sistema de monitoreo.

Al adquirir los sensores para el pH y nivel de profundidad, éstos serán caracterizados y se probarán mediante la tarjeta de desarrollo seleccionada. Se desarrollarán los debidos acondicionamientos para cada sensor.

Sumado a lo anterior, se generan los diseños tanto de los sistemas de monitoreo de pH, como del sistema de monitoreo de nivel de profundidad, para el primero se utilizan dispositivos diseñados para medir el potencial de hidrógeno de un líquido en este caso. Además, se analizarán las diferentes topologías de red de sensores con base en sus ventajas y desventajas, así como los diferentes métodos de acceso al control al medio, buscando la que mejor se adapte al problema presentado.

Luego, se realiza la verificación del correcto funcionamiento del sistema de monitoreo, contrastando los resultados del sistema de monitoreo con pruebas de laboratorio y dependiendo de esto se realizaron los ajustes que fueron necesarios para la prueba in situ.

Finalizadas las pruebas de laboratorio, se instala en campo por sectores el sistema de monitoreo porque los valores de pH en el suelo son relativamente constantes, ya en funcionamiento se busca determinar si algún sistema requiere ajustes y/o adecuaciones a equipos o componentes expuestos a las condiciones al aire libre.

2.2. Fase 3. Pruebas de sensor in situ

Ya en esta fase con el dispositivo se procede a realizar las pruebas in situ, en donde, se realizarán informes de los resultados arrojados. En esta tercera fase se realizan las implementaciones del sistema monitoreo diseñado previamente en la fase 2 del proyecto, y una vez hechos los ajustes se inicia la toma y almacenamiento de las mediciones por los sensores. Con la

realización de las pruebas de campo se puede verificar la funcionalidad del sistema de monitoreo de la red de sensores de pH de agua, pH de suelo y profundidad de pozos.

2.3. Fase 4. Recolección de la información

En esta fase se realiza la recolección de la información almacenada por el sistema de monitoreo para el pH del agua y el suelo junto con el nivel de profundidad del agua de pozo, tanto en la fase de prueba en el área controlada como la prueba in situ. Esta información será clasificada en lugar y tiempo con el objetivo de generar información estadística, y una vez finalizado el proceso de clasificación por lapsos de tiempo, a la vez, se tiene en cuenta los datos que suministren información de problemas o necesidades y desaciertos que surgieron en las dos fases de prueba.

De cada tabla de datos se realiza un análisis gráfico, para comparar comportamientos o cambios de patrones existentes en las variables medidas por los sensores, una vez se obtenga todas las gráficas se establecen las primeras conclusiones, adjuntado las gráficas con los puntos y estadísticas de comportamientos más importantes encontrados durante diferentes lapsos de tiempo.

Esta fase, se centra en la implementación del sistema de monitoreo que analizará las variables de pH en agua y suelo y la variable nivel de profundidad de agua. Se harán los

ajustes necesarios que surgieron de las fases de prueba tanto en el área controlada como in situ.

En la figura 3 se puede observar un resumen de las fases que se tuvieron en cuenta en la metodología del diseño del sistema de monitoreo.



Fig. 3. Fases de desarrollo del proyecto Fuente: (Autores)

IX. DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE PH Y NIVEL DE PROFUNDIDAD

3. *Localización y descripción de la zona de estudio*

En la búsqueda y revisión de la literatura, se evidencia que el proyecto es viable, puesto que se tuvo en cuenta que el Departamento del Magdalena es el mayor productor de banano nivel nacional, ya que participa con cerca del 48% de las explotaciones agrícolas y por ser el cultivo de banano la principal fuente de ingresos para la zona bananera y la Ciénaga Grande de Santa Marta (Moreno y Toro, 2019). El municipio de Zona Bananera está conformado por 11 corregimientos: Sevilla, Río Frío, Guamachito, Soplador, Palomar, Varela, La Gran Vía, Santa Rosalía, Orihueca, Guacamayal y Tucurínca (El tiempo, 1999).

Se escoge la finca “Julia Ester” (ver figura 4) ubicada en el corregimiento de Río Frío del Municipio Zona Bananera, con una extensión total de 2 ha y se encuentra localizada entre los paralelos 10° 9' y 10° 55' Latitud Norte y entre los meridianos 74° 06' y 74° 17' oeste de Greenwich y a una altura de 30 m.s.n.m (Ver figura 5). Tiene una temperatura media anual superior a los 24°C, una humedad relativa del 72% y una precipitación media anual de 1500 a 2000mm. La finca se encuentra asociada a la cooperativa Bananera de Río Frío COOBAFRIO (ver anexo 2 y 3) cuya asociación lleva más de 15 años de estar constituida.

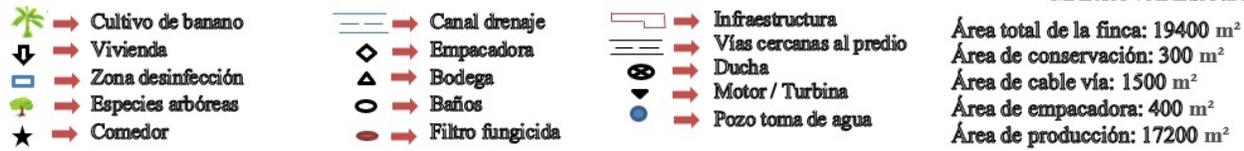
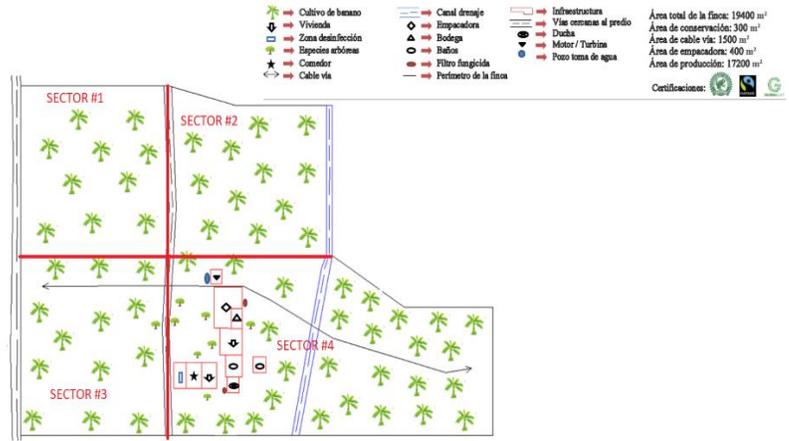


Fig. 4. Croquis de la finca Julia Ester



Fig. 5. Localización Del Área de trabajo.

3.1 Sensores para la medición de pH.

Para la medición del pH se han desarrollado diferentes metodologías a partir de compuestos orgánicos y el uso de electrodos de vidrio. El desarrollo de materiales ha permitido obtener tecnologías que mejoran la eficiencia de estas mediciones tal es el caso de los pHFETS (pH Sensitive Field Effect Transistors), los sensores de pH tipo metal/óxido para las medidas a altas temperaturas y presiones. La mejor temperatura para la medición del sensor de pH es de alrededor de los 25°C para obtener los valores más confiables (Martínez y otros, 2012).

3.1.1 Selección de los sensores.

De acuerdo con la revisión de fuentes bibliográficas para el diseño del sistema de monitoreo se tuvo en cuenta ciertos requisitos como: costos económicos, resistencia, que sea fácil de transportar, que tenga una alta confiabilidad, que su implementación sea lo más simple posible y que sea seguro. También, se sopesaron otros aspectos como, por ejemplo: la variable a medir y sus características, junto con las especificaciones del sensor como son el rango de medición, la precisión, tiempo de respuesta, consumo y temperatura de medición, sumado a esto, un reconocimiento del área en el cual se implementará el sistema (si es urbano o rural, condiciones climáticas, cobertura de la red móvil).

Los sensores tienen diversas clasificaciones que van de acuerdo con diferentes criterios: la variable que miden (temperatura, presión, humedad, distancia, velocidad, etc.),

la naturaleza de la variable de salida (digitales y analógicos) o el tipo de variable que se tiene a la salida (resistivos, capacitivos e inductivos). Este último criterio es de utilidad, porque según la variable de salida, la forma de uso del sensor y el acondicionamiento que él puede requerir varía (Ebel y Nestel,1993).

En la tabla 1 se muestra una comparación de diferentes sensores de pH analógicos y digitales. Se hace una breve descripción de ventajas y desventajas de dichos sensores.

Tabla I. Comparación de sensores.

Tipo de sensor		
	Ventajas	Desventajas
<p data-bbox="354 1058 448 1083">Análogo</p> <p data-bbox="201 1121 597 1331">Sensores en los que la señal de salida es de carácter continuo puede tomar cualquier valor dentro de unos márgenes determinados y llevan la información en su amplitud.</p>	<p data-bbox="623 1058 1044 1268">La salida varía de forma continua. Normalmente la información está en la amplitud. Cuando la información está en la frecuencia se denominan “cuasi-digitales”.</p> <p data-bbox="623 1331 862 1398">Forma sencilla de uso Son de bajo costo</p>	<p data-bbox="1070 1058 1490 1398">Tienen poca resolución, típicamente no proporcionan más de 3 cifras. El error de paralaje limita la exactitud a $\pm 0.5\%$ a plena escala en el mejor de los casos. Las lecturas se presentan a errores graves cuando el instrumento tiene varias escalas. La rapidez de lectura es baja, típicamente 1 lectura/ segundo.</p>
<p data-bbox="363 1423 438 1449">Digital</p> <p data-bbox="201 1486 597 1646">Sensores que generan señales eléctricas que únicamente toman un número finito de valores entre un máximo y un mínimo.</p>	<p data-bbox="623 1423 1044 1772">Tienen alta resolución alcanzando en algunos casos más de 9 cifras en lecturas de frecuencia y una exactitud de ± 0.002. No están sujetos al error de paralaje. Pueden eliminar la posibilidad de errores por confusión de escalas. Tienen una rapidez de lectura que puede superar las 1000 lecturas por</p>	<p data-bbox="1070 1423 1490 1675">El costo es elevado. Son complejos en su construcción. Las escalas no lineales son difíciles de introducir. En todos los casos requieren de fuente de alimentación.</p>

	segundo. Puede entregar información digital para procesamiento inmediato en computadora.	
--	--	--

Nota: Fuente: Valenzuela (2020)

3.1.2. Tipos de sensores de pH.

Existen varios tipos de electrodos de pH disponibles para ser usados en laboratorios y en la industria. Independiente de su estado, todos son compuestos por vidrio y, por lo tanto, pueden quebrarse. Se encontraron más de 50 fabricantes de sensores de pH, los cuales ofrecen una diversidad de modelos y precios que se ajustan a los presupuestos. A continuación, se describen algunos sensores de pH consultados:

Sensor PH-4502C: es un dispositivo que permite medir el PH con ayuda de una sonda que es la que toma la lectura (electrodo E201) mediante el conector BCN; el pin Po puede conectarse directamente a un pin analógico de un Arduino. La tabla 6 muestra sus especificaciones y otras características. Es de gran utilidad para trabajar en cultivos hidropónicos, acuarios, laboratorios, o procesos de fermentación (Unit-Electronics, 2021) . En el mercado tiene un costo que oscila entre los 130.000 y 150.000 pesos.

Sensor E11B4: es un dispositivo que nos ayuda medir el pH con ayuda de un electrodo E11B4 para un conector BNC. Tiene un costo de 780 dólares.

Sensor SEN0169: Este es un kit profesional de medidor de sensor de pH con un electrodo industrial. Tiene una conexión simple, conveniente y práctica incorporada y una larga vida útil, lo que lo hace muy adecuado para el monitoreo en línea a largo plazo. Tiene un LED que funciona

como indicador de encendido, un conector BNC y una interfaz de sensor PH2.0. El precio de este sensor gira alrededor de los 350.000 pesos.

Sensor SEN0161: Es un dispositivo medidor de PH análogo. La señal de salida es filtrada por hardware con un pasa-bajos y la librería integra el método de calibración de dos puntos para identificar soluciones estándar (4.0 y 7.0). Con este sensor, una board de control y la librería se puede implementar rápidamente para construir el sensor de PH sin necesidad de soldaduras u otros. El precio oscila entre 100.000 y 150.000 pesos. Tiene un voltaje de alimentación de 5V lo cual lo hace compatible con tecnologías TTL como lo es Arduino, PIC, AVR, DSP, Raspberry. Cuenta con un potenciómetro de offset el cual ayuda a calibrar la medición de PH. En el anexo 5 se encuentra una fotografía de este sensor.

Sensor SEN0249: tiene una sonda de pH con un escudo de protección en forma de lanza hecho de acero inoxidable con una punta afilada. Se puede clavar directamente en el material semisólido blando para medir el valor de pH, como tierra o alimentos húmedos. Este kit es compatible con Arduino y fácil de usar. El precio puede estar oscilando entre 300.000 y 400.000 pesos. En el anexo 4 se encuentra una fotografía de este sensor.

Elección del sensor de pH.

Teniendo en cuenta las características de los sensores consultados anteriormente, en la tabla 2 se muestran las especificaciones y comparaciones entre ellos para proceder a la selección de los sensores, en donde, los sensores SEN0169 y SEN0161 proveen características útiles para el desarrollo del sistema de monitoreo, pero, se escoge para la medición del pH del agua el SEN0161 y para la medición del pH del suelo se escogió el sensor SKU: SEN0249 respecto a las demás

propuestas son los más apropiados, ya que tienen ciertas características que el sistema de monitoreo debe cumplir satisfactoriamente a los siguientes criterios: que las mediciones del nivel de pH en el agua y el suelo son altamente precisas, portabilidad, un manejo sencillo por parte del interesado.

Tabla II. Comparación entre diferentes tipos de sensores de pH

Nombre de sensor	Características								
	Alimentación	Consumo	Rango de medición	Temperatura de medición	Precisión	Tiempo de respuesta	Onda	Controlador	Salida
PH-4502C	5.00 V	5-10mA	0-14	0-80°C	± 0.1pH (25°C)	<5S	BNC	pH 2.0 (3 pines)	Análogo
E11B4	5.00 ± 0.2 V	5-10mA	0-14	0-80°C		1min		Arduino Rapsberry	Análogo
SD-14 ^a 16	12 ~ 24V	14 mA	0-14	0-50°C	± pH 0.1				Digital
SEN0169	3.3~5.5V		0-14	0-60°C	0,1pH (25°C)	<1 min	BNC	Arduino	Análogo
SEN0161	3.3~5.5V	3.3-5.5V	0-14	5-60°C	0,1pH (25°C)	<1 min	BNC		Análogo
SEN0249	5.0V	5.0-4.0V	0-14	0-60°C	± pH 0.1	<2min	BNC		Análogo

3.1.3 Tipos de sensores de nivel de profundidad.

SENSOR HC-SR04: este dispositivo está formado por un emisor y un receptor de ultrasonidos. Estos ayudan a medir la distancia a la que se encuentra un objeto justo frente a él, enviando un pulso de ultrasonidos y midiendo el tiempo que transcurre hasta que vuelve dicho pulso (Leantec, 2019). Es un componente de entrada, es decir, su funcionamiento consiste en

entregar la información correspondiente a la distancia a través del tiempo de un pulso en su pin de señal ECHO, la tarjeta Raspberry Pi a su vez recibe la señal y obtiene el tiempo de duración del pulso con uno de sus GPIO configurado como entrada. El precio de este sensor oscila entre los 10.000 y 70.000 pesos.

Sensor LVCN414: Es un sensor fiable para la medición por ultrasonidos, rentable y de alto rendimiento. Es ideal para depósitos pequeños de fluido. Permite flexibilidad en las aplicaciones diseñadas para la integración del sistema, conductancia y sensores de presión. Se configura fácilmente a través de una conexión USB y el software compatible con Windows XP (Omega Spectris Company, 2021).

Esta referencia brinda precisión y exactitud que permite para la medición en tiempo real, reducción de los costos operativos y aumento de la productividad. Las mediciones de nivel o el control de la automatización pueden ser monitoreadas en una pantalla local o remotamente en un PLC. El precio de este sensor está comprendido entre 1.500.000 y 2.000.000 de pesos (Omega Spectris Company, 2021).

Sensor PDCR-1800: son sensores de alto rendimiento totalmente sumergibles con salida de milivoltios o miliamperios para medir niveles de líquido hidrostático. Está diseñado específicamente para mediciones de nivel y profundidad en una variedad de entornos: agua subterránea, agua de pozo, aguas residuales, agua de mar, canales, ríos y otras aplicaciones similares.

El transistor 2N2222: es de silicio de baja potencia y diseñado para aplicaciones de amplificación lineal y conmutación. Este transistor tiene una alta demanda debido a que es muy bueno amplificando pequeñas corrientes y tensiones pequeñas o medianas, además de trabajar con frecuencias medianamente altas. Se trata de un transistor bipolar y de tipo NPN. Es fabricado en diferentes encapsulados los más comunes son los TO-92, TO-18, SOT-23, y SOT-223.

Elección del sensor para el nivel de profundidad.

Teniendo en cuenta las características de los sensores consultados anteriormente, en la tabla 3 se muestran las especificaciones y comparaciones entre ellos para proceder a la selección de los sensores, en donde, al comparar las características de los tres sensores para la medición del nivel de profundidad y el transistor 2N2222 se decidió seleccionar las entradas digitales de la tarjeta de desarrollo para ser utilizados como detectores del nivel del agua teniendo en cuenta un distanciamiento entre cada uno de los puertos; que tienen la capacidad de detectar a través del cable por conducción al entrar en contacto con el agua 3 niveles de agua (bajo, medio y alto) dentro del pozo, cada uno de estos niveles serán detectados de acuerdo a la longitud del cable que se utilizó: bajo es 10% 5 metros, 50% son 10 metros y el 100% son 18metros que es el nivel de profundidad total del pozo a muestrear, con esta información se pretende dar fundamentos al cultivador para que éste analice y decida si su pozo almacena suficiente agua para el riego del cultivo, considerando que el primer nivel (de menor a mayor) como deficiente para el proceso del riego de los cultivos.

Por otro lado, es preciso indicar que al considerar algunas características físicas del pozo de agua como por ejemplo el diámetro que estos proveen, la existencia de rocas y su profundidad (mayor a 15m), se consideró que los anteriores sensores no eran los más adecuado para la medición del nivel de profundidad del pozo de la finca.

Tabla III. Comparación entre diferentes tipos de sensores de nivel de profundidad

Nombre de sensor	Alimentación	Consumo	Rango de Medición	Temperatura de medición	Precisión	Tiempo de respuesta	Longitud del cable	Precio en pesos
HC-SR04	5.00 V		2cm-450cm		3mm	2mni	1m	32.000
LVCN414	24 Vdc	0,5W	1,25m	-35 a 60°C	3mm	1min	1,2m	1.200.000 - 1.500.000

Sistema De Monitoreo Sobre La Profundidad De Agua En Pozos y El pH Que ... 43

PDCR-1800	12 ~ 24V		0-14	-20 a 60°C	5mm	1min	29m	2.000.000 -3.500.000
-----------	----------	--	------	------------	-----	------	-----	----------------------

Nota: Fuente: (Omega Spectrix Compan,; Direct industry, 2021)

3.1.4 Descripción general de la tarjeta de desarrollo

Se seleccionó la tarjeta de desarrollo Raspberry pi 3B+, ya que esta posee disponibilidad en el mercado y a la vez, funcionalidad y características que permiten la interconexión de dispositivos, posee diversos lenguajes de programación. Esta tarjeta integra puertos y módulos para la realización de tareas similares a las de un equipo de cómputo. Cuenta con una bandeja para una memoria Micro SD, que contiene el sistema operativo y archivos del sistema, por tanto, los datos obtenidos por los sensores se almacenaran en esta Micro SD con suficiente almacenamiento para el sistema operativo y los archivos generados por el sistema de adquisición de datos. Tiene 4 puertos USB 2.0 y un controlador de ethernet. Dicho controlador puede alcanzar hasta los 300 Mbps. Incluso podemos conectar una cámara especialmente diseñada para una Raspberry, así como una pantalla que utilizan los conectores CSI. Las especificaciones se pueden ver en el anexo 6. Además, se utilizó un conversor análogo MCP3008, ya que es muy útil para la Raspberry Pi en la lectura de los valores de sensores analógicos, en donde, se procede a hacer una breve descripción:

3.1.5 Descripción del conversor análogo digital MCP3008.

Se trata de un dispositivo electrónico que convierte una señal analógica de voltaje o corriente, en una señal digital que puede ser procesada por un ordenador. Este conversor tiene ocho canales de 10-bit, compatible con Raspberry pi y trasmite los datos a través del protocolo serial SPI (Microchip Technology Inc, 2008). Las especificaciones se encuentran en el anexo 7.

3.1.6. Descripción de la red.

Para diseñar la red en el cultivo de banano ubicado en la Finca “Julia Ester”, se consideró que la zona provee las necesidades mínimas para el funcionamiento del sistema en cuanto a energía y cobertura de red celular, el cual fue enlazado a la tarjeta Raspberry Pi 3B+ (módulo emisor), se establece una comunicación inalámbrica que permite visualizar los valores muestreados y para ello se eligió una memoria Micro SD que tenga una velocidad de transferencia de datos de mínimo 10MB/s, además se debe tener en cuenta que, como cualquier sistema de almacenamiento, mejora su rendimiento si la capacidad de la memoria no está ocupada completamente.

La siguiente figura muestra el esquema de la red Iot del sistema de monitoreo diseñado en este estudio:

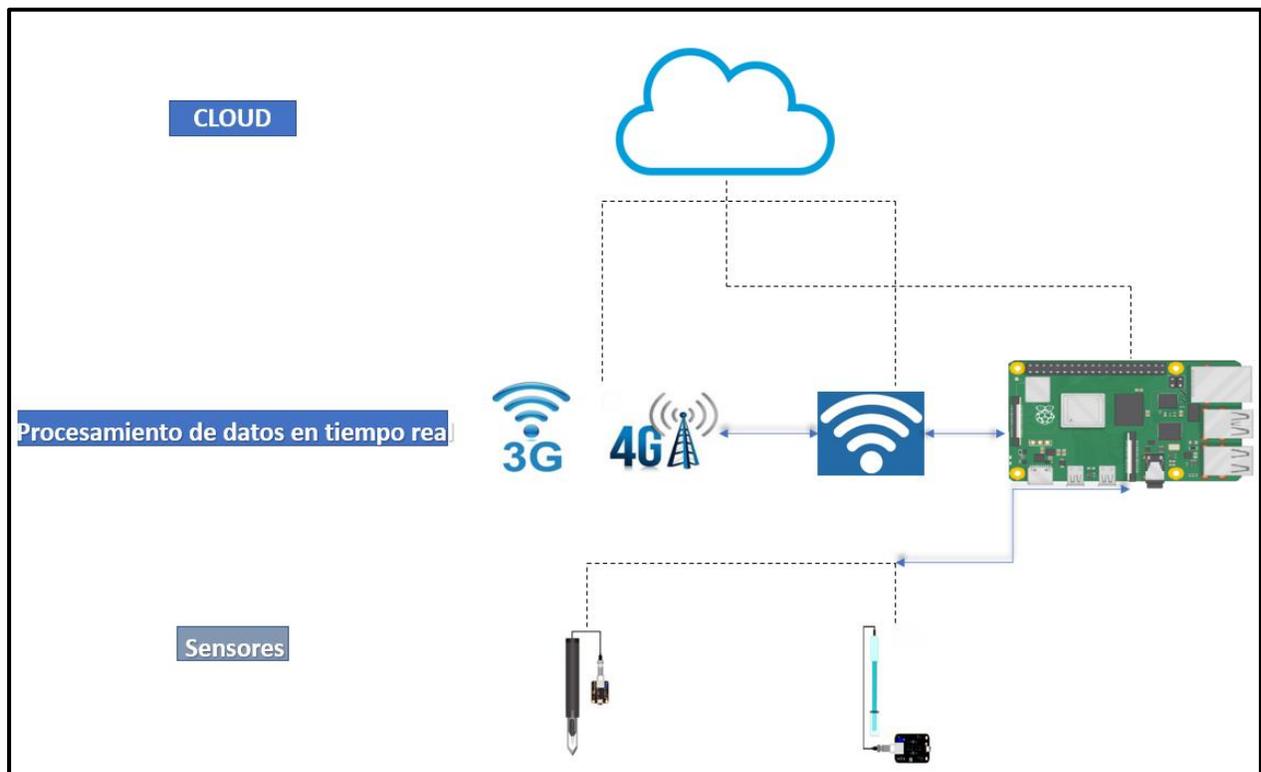


Fig. 6. Diagrama de la red IoT.

En las capas de conexión de IoT existen siete capas. En este caso se utilizó cuatro capas, como lo son: la capa de redes y comunicación, la capa de servicio y la capa de aplicaciones. Este tipo de capas se han diseñado para poder gestionar los dispositivos. Si estos dispositivos están constantemente enviando datos, como son el sensor pH de suelo, sensor de pH agua y sensor de profundidad de pozo al servidor web Thingspeak.

El siguiente diagrama de bloques (figura 7) demuestra el proceso del sistema. Al observar el diagrama, se puede identificar las principales funciones del sistema. Esto incluye la entrada de datos a la tarjeta de desarrollo Raspberry pi 3b+ comunicada al puerto GPIO y el convertor analógico MCP3008 que está conectado con los sensores escogidos:

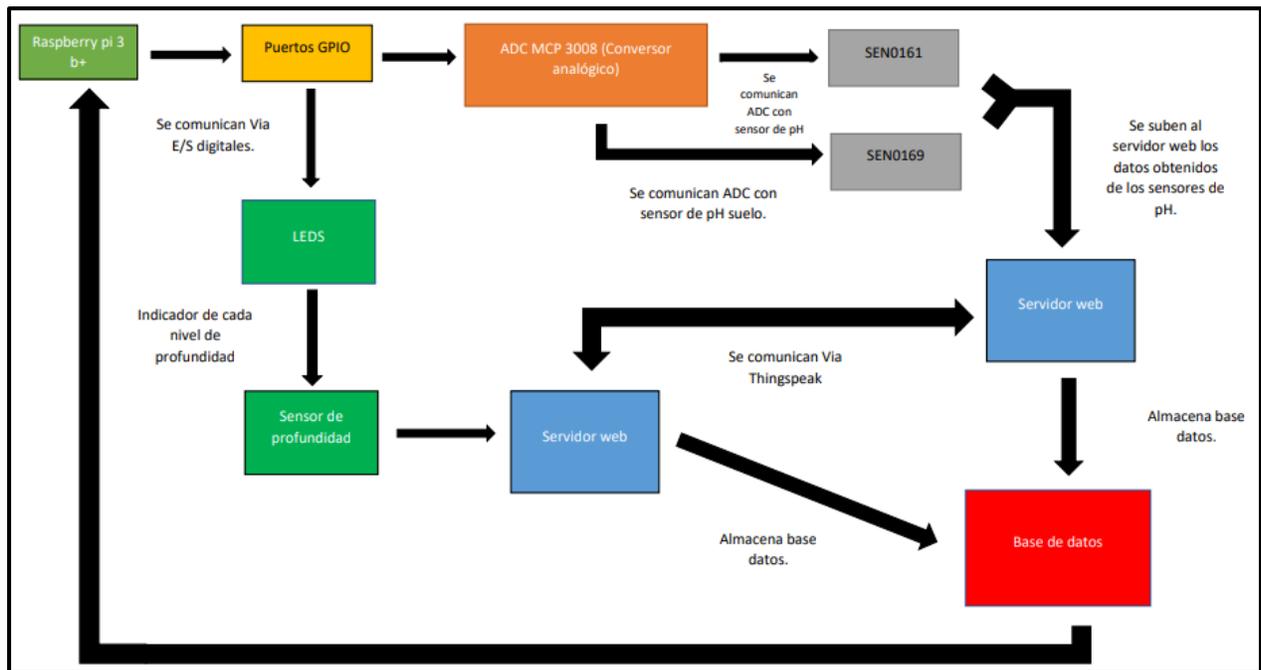


Fig. 7. Diagrama de bloques del sistema de monitoreo

En la figura 8 se ilustra el diagrama de flujo del sistema en general:

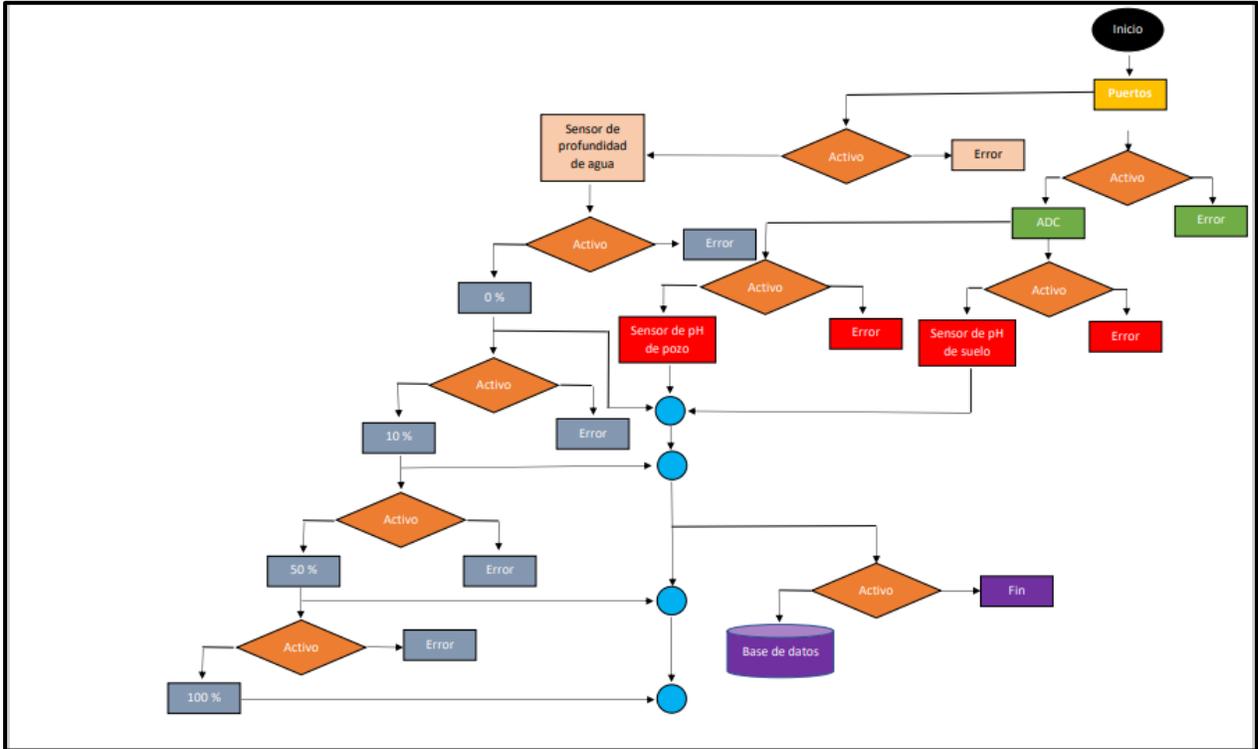


Fig. 8. Diagrama de flujo del sistema

3.1.7 Descripción de la conexión general y diseño del sistema de monitoreo

En la figura 9 se puede ver el dispositivo general el cual está compuesto por los sensores SEN0161 y SEN0249. Ver anexo 8 para identificar las conexiones.

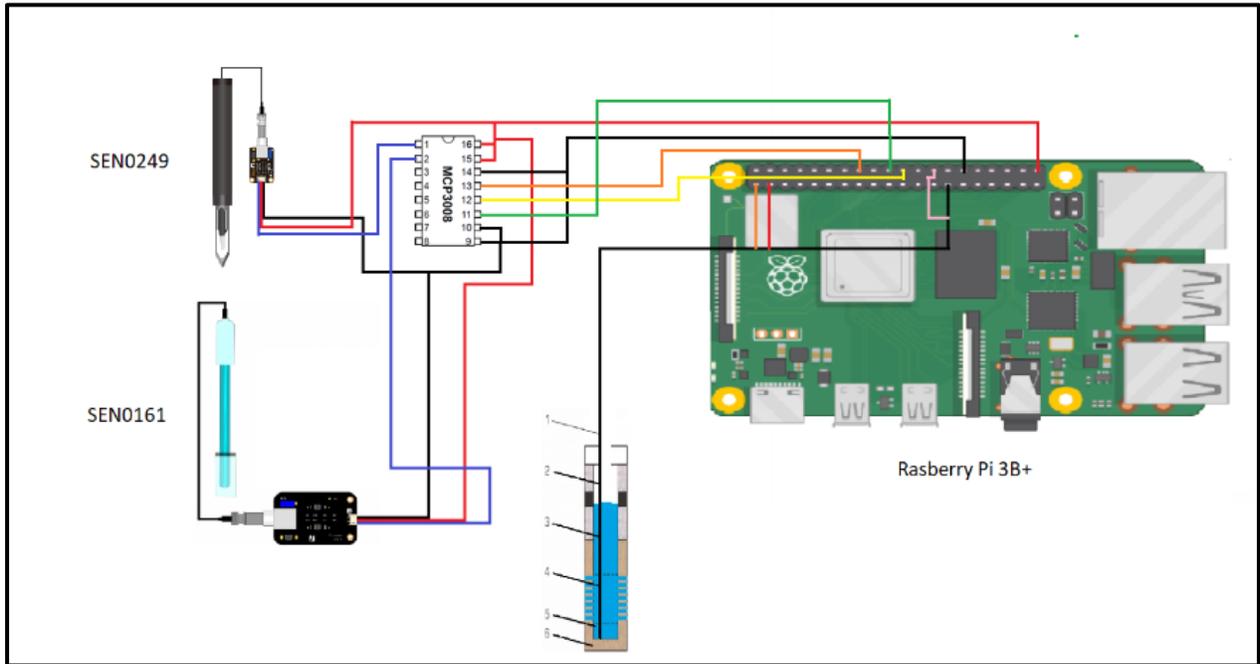


Fig. 9. Diagrama esquemático del sistema de monitoreo

En la siguiente figura 10 se muestra la conexión con el conversor MCP3008 y el SEN0161 el cual presenta tres pines, uno de alimentación, otro que va a tierra (GND) y la salida. El sensor SEN0161 está constituido por tres pines, uno de alimentación (cable rojo), otro que va a tierra (cable negro) y la salida (cable naranja). El medidor de pH requiere ser calibrado antes de ser utilizado, puesto que las temperaturas en el lugar de estudio son superiores a los 25°C, y esta variable afecta los sensores con un error de 0.1.

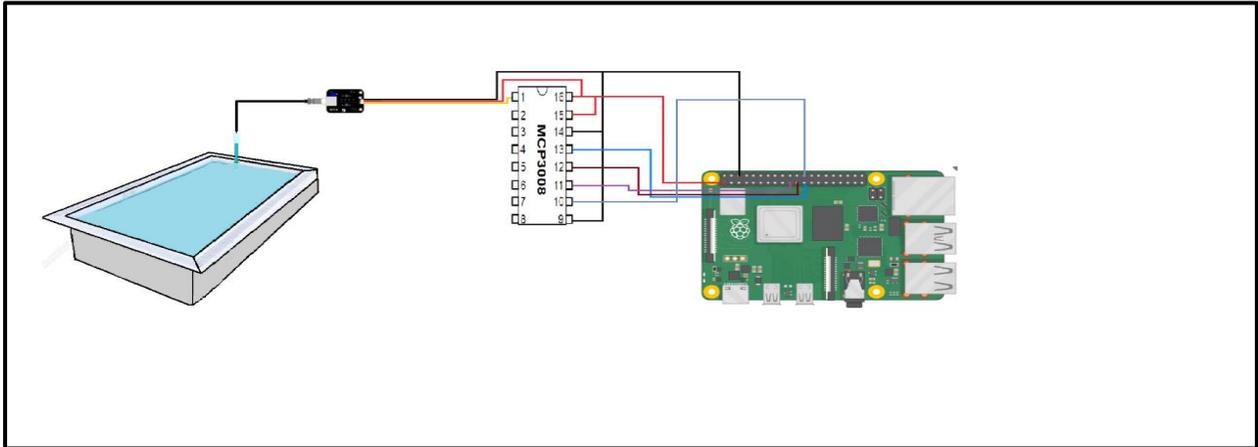


Fig. 10. conexión del convertor MCP3008 y el SEN0161

Cuando ya están conectados los dispositivos de medición (hardware) se procede a la elaboración del código de programación (software). Las conexiones con la Raspberry Pi será en los pines 1 y 17 , 9 y 16 los cuales son 3.3v, Ground y GPIO23 respectivamente. En la figura 11, se muestra la conexión del sensor SN0249 al convertor MCP3008, la cual es conectada con cuatro pines (11,12,13 y14) para la comunicación serial. Al igual que el medidor de pH de agua, el medidor de pH para suelo también debe ser calibrado antes de ser utilizado.

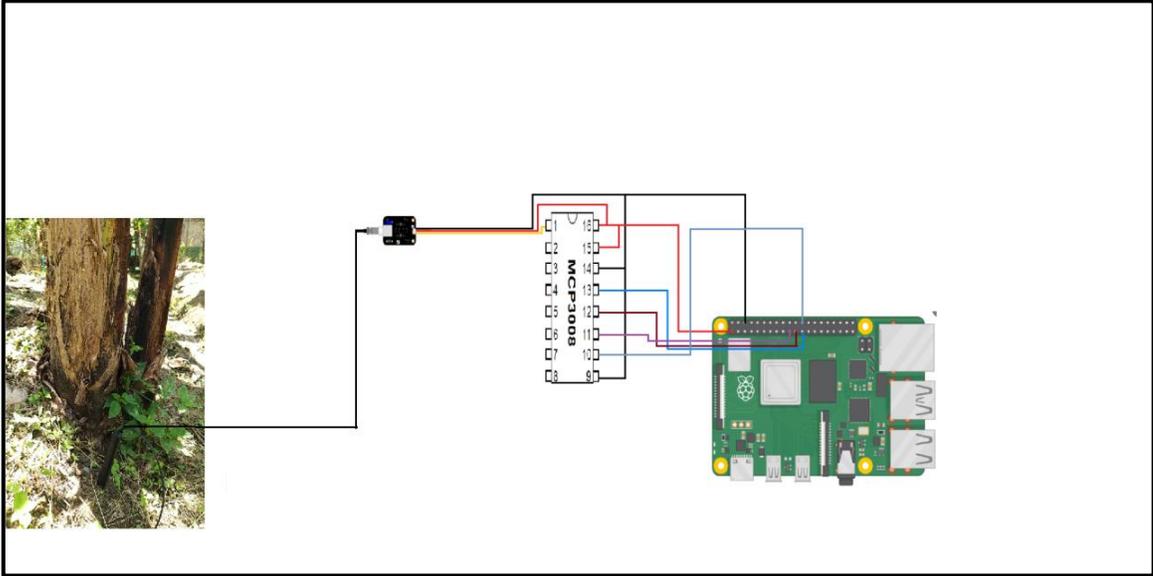


Fig. 11. Conexión sensor SEN0249 y convertor MCP3008

En la figura 12, se muestra la conexión del cable utilizado para detectar el nivel de agua, en donde, se puede ver el cable utilizado para la detección del nivel de agua según la distancia definida

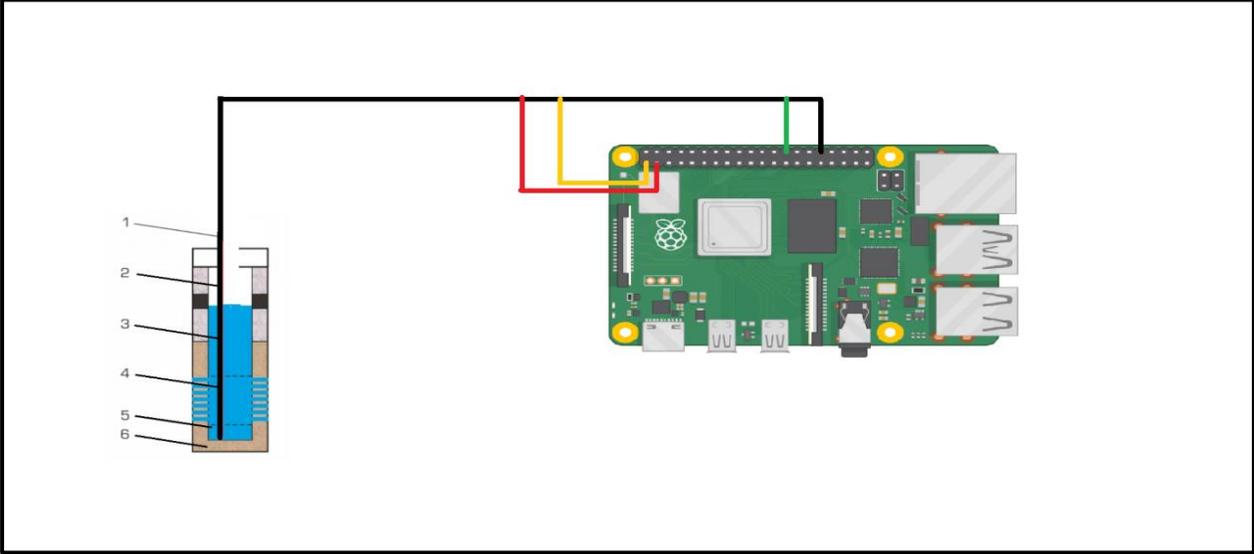


Fig. 12. Conexión puertos digitales Rapsberry Pi 3B+

Tabla IV. Configuración de cableado

NUMERO	SIGNIFICADO	COLOR	PUERTO
1	Cableado Para Medir Profundidad	NEGRO	N/A
2	Margen De Error	N/A	N/A
3	100% Del Nivel De Agua	VERDE	GPIO 22
4	50% Del Nivel De Agua	AMARILLO	GPIO 21
5	10% Del Nivel De Agua	ROJO	GPIO 20
6	Sedimentación		

X. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO.

En este capítulo se describen las pruebas, en donde, en el área controlada se verificó el funcionamiento de cada uno de los sensores durante una semana, y en la prueba in situ se efectúa la toma de datos, con un período de muestreo de cada 2 días en cada sector. Los sensores del sistema ubicados en la zona de estudio envían de forma instantánea e inalámbrica las muestras cuantificadas a través del conversor MCP3008 y son enviadas y procesadas por la tarjeta Raspberry Pi 3B+ por intermedio de la red celular a la plataforma de monitoreo IoT que para este caso es Thingspeak.

4. *Implantación del sistema de monitoreo.*

Inicialmente, el sistema de monitoreo para poder tener una detección fiable requiere de calibración, y una vez terminada, se procede con la medición de las dos variables de estudio.

4.1.1. Prueba en área controlada

En la fase de prueba en área controlada el sistema de monitoreo con los tres sensores utilizados se sometió a pruebas de funcionalidad y hubo verificación de las conexiones. Inicialmente realizó la calibración de los sensores de pH. Esta calibración se logró antes del funcionamiento del sistema de monitoreo. Para el calibrado se realizaron varias pruebas sometiendo los sensores a varias mediciones para compararlo con mediciones en el laboratorio, en donde, se registra una práctica (En el anexo 9 se presenta el informe completo de la práctica) desarrollada en el laboratorio de química de la Universidad del Magdalena, haciendo mediciones con un pH-metro profesional de laboratorio SI Analytics modelo LAB-845 a muestras de suelo y agua, los resultados obtenidos son puestos en la tabla 3 para la medición del pH en suelo, a manera de comparación.

Tabla V. Datos descriptivos de pH en laboratorio y área controlada.

ANALISIS DESCRIPTIVOS			
SENSOR	MEDIA	D.ESTANDAR	VARIANZA
SEN0161	6,61	0,63	0,18

LAB-845	7,01	0,69	0,17
SEN0249	6,54	0,43	0,23
LAB-845	6,79	0,62	0,33

Fuente: Autores

Se observa que las mediciones más cercanas al valor obtenido por los sensores SEN0161 y SEN0249 en los muestreos generan una medición menor a la esperada en comparación con los equipos de laboratorio. Además, la medición más próxima al valor de referencia del equipo SI Analytics LAB-845 es la generada por el SENSOR SEN0161, y los valores obtenidos por el SENSOR SEN0249 son inferiores.

4.1.2. Descripción y esquemas

Las pruebas en área controlada son aquellas mediciones realizadas a porciones de tierra o directamente al suelo de jardines de la ciudad de Ciénaga, y se realizaron más de cinco mediciones a varias fracciones de tierra. Para la medición del pH del agua, se tomaron varias muestras de agua potable de varios sitios de la ciudad de Ciénaga, a las cuales se hizo alrededor de cinco mediciones.

En la siguiente figura se puede observar la configuración de la plataforma web utilizada:

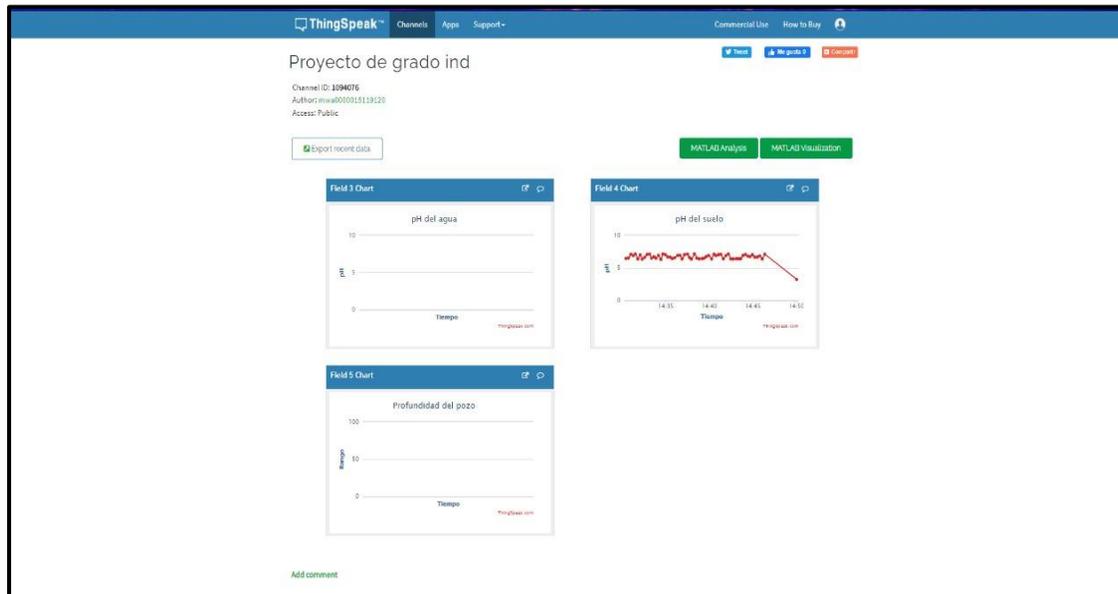


Fig. 13. Configuración de la plataforma de visualización

4.1.3 Prueba in situ.

En la validación para la prueba in situ, se tomaron entre 70 y 100 mediciones del pH del agua y suelo, para así comparar los registros in situ con los registros de las mediciones que se hicieron en laboratorio. La figura 14, muestra el diagrama de cajas y bigotes para los datos de pH de agua en el laboratorio y en el área in situ:

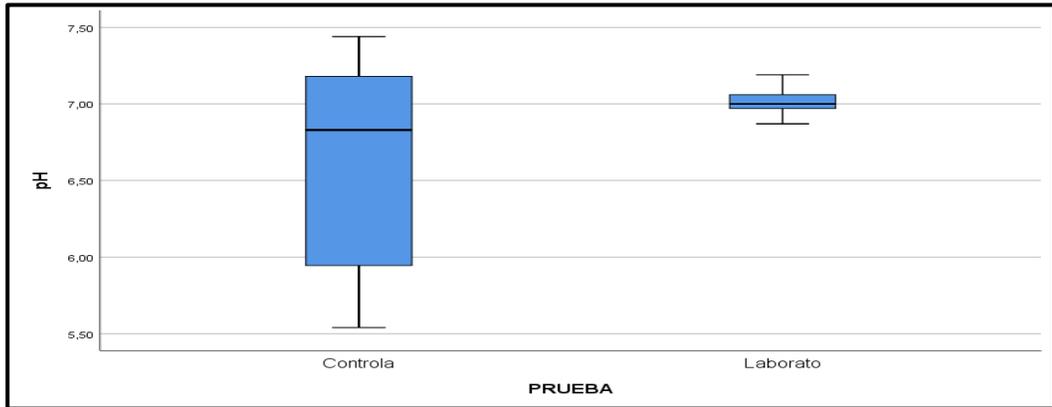


Fig. 14. Distribución de datos de pH en el laboratorio y área in situ

La figura 15, muestra la frecuencia del pH del agua in situ en 100 observaciones.

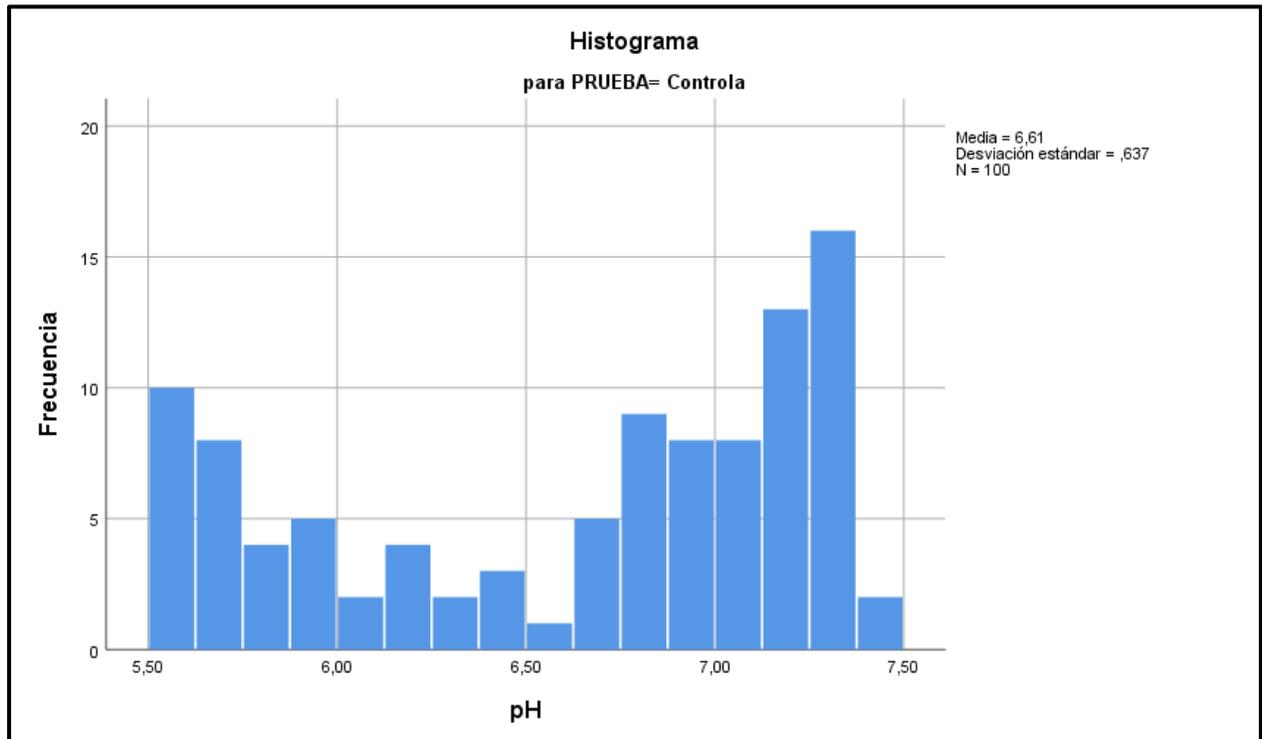


Fig. 15. Histograma del pH en área in situ.

La figura 16, expone la frecuencia del pH del agua en el registro de mediciones de 100 observaciones.

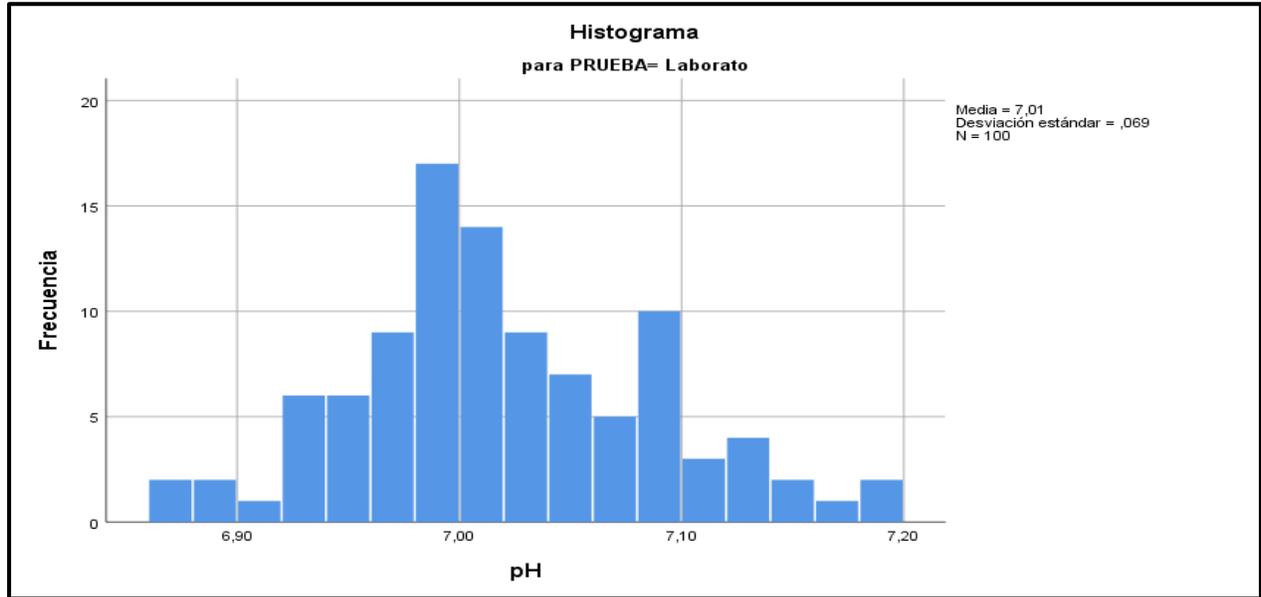


Fig. 16. Histograma del pH en Laboratorio

A continuación, se pueden observar las gráficas que se hicieron para el pH del suelo, en donde, La figura 17, muestra el diagrama de cajas y bigotes para los datos en el laboratorio y en el área in situ, en donde, para el área controlada y el laboratorio el valor mínimo es de 5,09 y 5,54 y el valor máximo es de 7,48. Y 7,44 respectivamente.

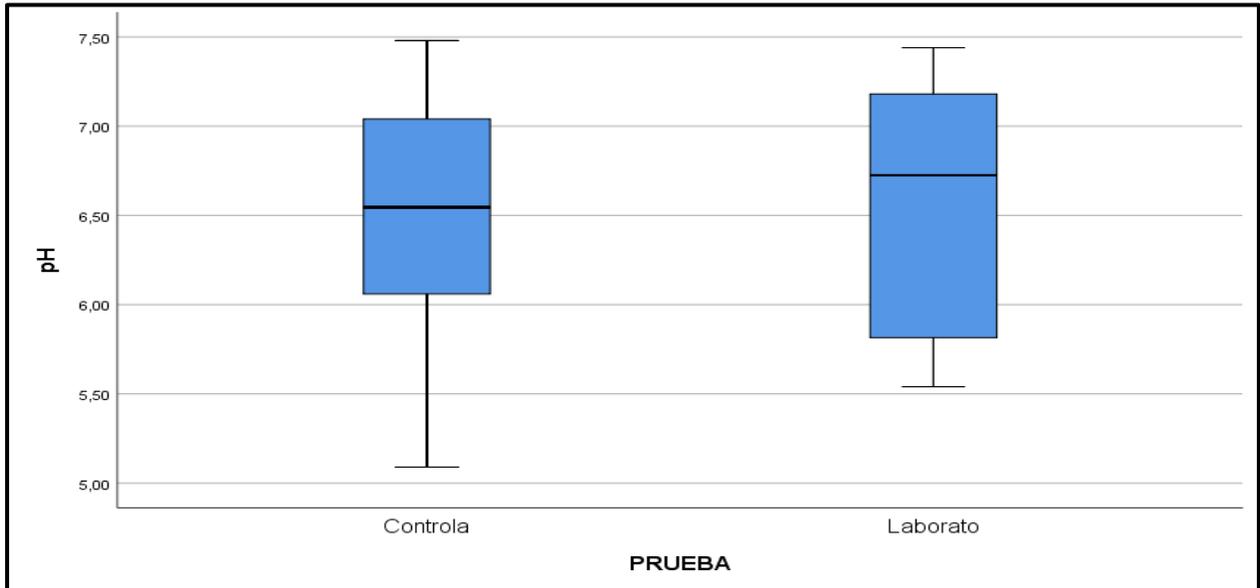


Fig. 17. Diagrama de cajas y bigotes

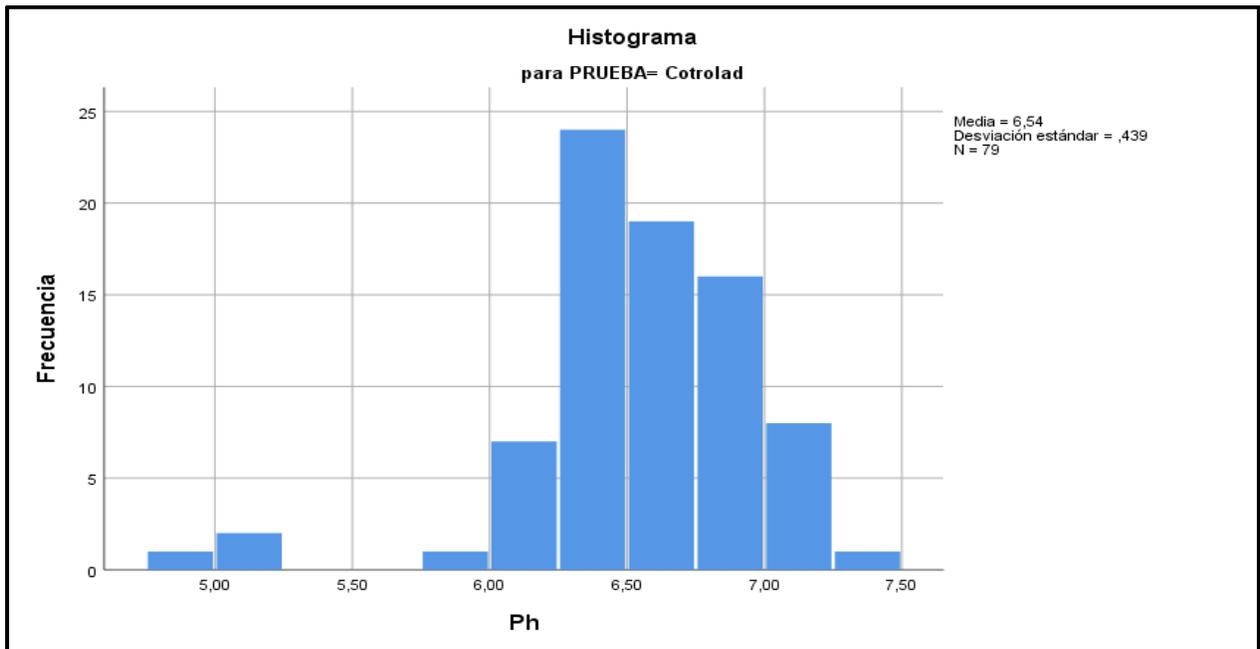


Fig. 18. Distribución de los datos de pH en el área in situ

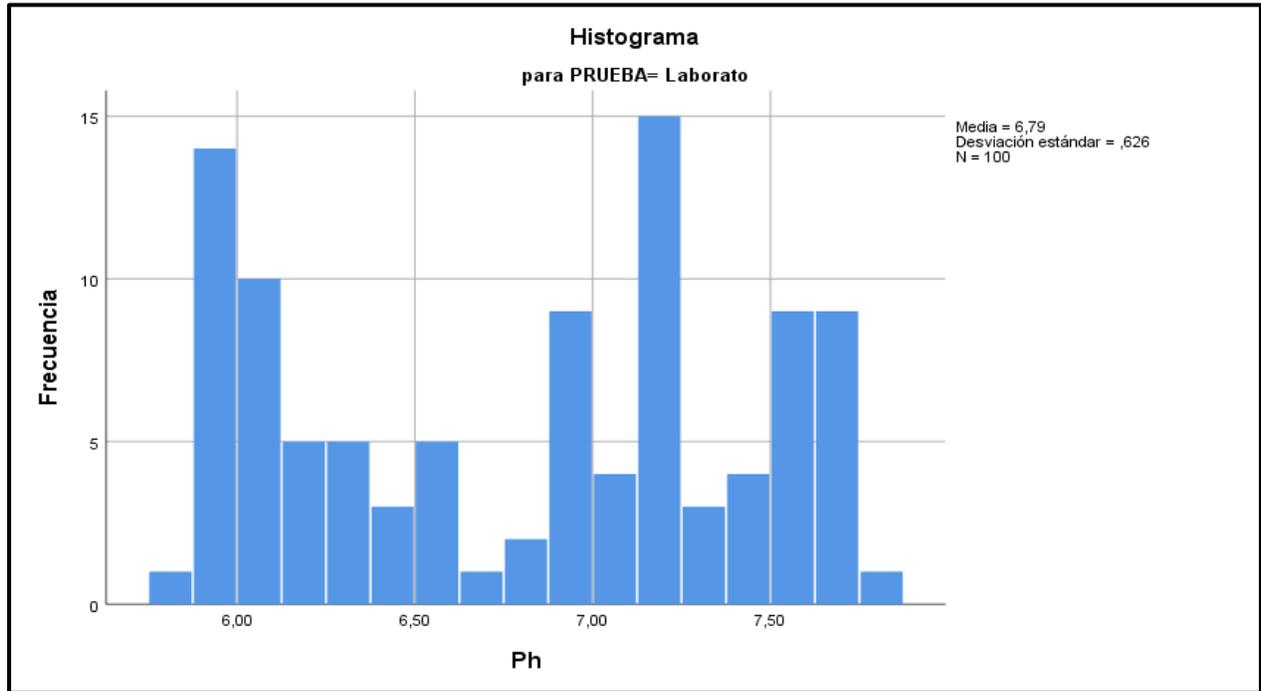


Fig. 19. Distribución de datos de pH en Laboratorio

De modo general, la validación del sistema de monitoreo fue positivo ya que se obtuvo el comportamiento esperado, puesto que al compararlo con las pruebas que se hicieron en el laboratorio, se expresa que los sensores elegidos presentan un mínimo de error, y las diferencias a nivel de los datos descriptivos de las medias, desviación y varianzas son muy pequeñas; lo que muy posiblemente se deba a que las temperaturas tanto en el área controlada como in situ son superiores a los 25°C.

Las condiciones son simuladas por ejemplo para la medición del pH del agua se utilizó un mini-estanque (piscina), donde se implementó el sensor SEN0161 (previamente calibrado) y empezó a transmitir los datos de la variable a medir (ver figura 20).



Fig. 20. Montaje del sensor SEN0161 in situ. Fuente: (Autores)

En la ubicación de la estación de muestreo, se tuvo como requisito la necesidad de una buena cobertura de la red móvil (3G) de tal manera que ésta que comunicada con los cuatro sectores o puntos de muestreo en los que se dividió la finca. En la figura 21, se puede observar el montaje final del sistema de monitoreo in situ. Aquí se muestra el posicionamiento final del montaje que se llamó puesto de control (se encuentra resguardado de la intemperie para no afectar el dispositivo). Al dividir la finca en cuatro sectores, se instala el sistema en el puesto de control en una zona estratégica para los cuatro sectores, a una distancia de 20 metros para cada sector.

Montaje final



Fig. 21. Montaje final del sistema de monitoreo. Fuente: (Autores).

En la figura 22 se puede observar, la medición del pH en el suelo de las plantaciones de banano, abriendo un hoyo en el suelo, se llena de agua destilada y se introduce el electrodo del sensor. En la figura 15 se muestra la medición del nivel de profundidad del pozo. Y en la figura 23, se muestra el montaje de la medición del nivel de profundidad del pozo con el sensor o sistema utilizado.



Fig. 22. Montaje del sensor SEN0249 in situ. Fuente: (Autores).



Figura 23. Fig. 23. Montaje sensor de nivel de profundidad in situ.

XI.RESULTADOS

5. Resultados en área controlada

La siguiente etapa consistió en la toma de los datos del pH del agua, pH del suelo y nivel de profundidad del agua del pozo, por un período de 2 días, por espacios cortos de tiempo (de 5 a 10 minutos) y se obtuvo un registro de los datos durante el tiempo de muestreo.

5.1.1 Resultados pH de agua

En esta prueba se consideraron tiempos de muestreo de 10s y 30s. Con estos resultados se valida que la comunicación serie entre la tarjeta de desarrollo y el sensor y la red IoT se realiza satisfactoriamente. Como se observa en la parte de los registros de visualización, el texto en color negro del recuadro rojo muestra el registro de hora y fecha en que las señales son emitidas y recibidas por el sensor.

Se puede observar en la figura 24 los valores detectados por el sensor de pH SEN0161 el cual, generó en un tiempo de 5 minutos las primeras pruebas de los datos de pH, arrojando un valor de 7,25



Fig. 24. Registros del valor del pH en el agua en prueba de área controlada. Fuente: (Autores)

5.1.2. Resultados pH de suelo

Los valores detectados por el sensor de pH SEN0249 el cual, al igual que la medición del pH del agua se realizaron por espacios cortos de tiempo (de 5 a 10 minutos), en la figura 25 se puede apreciar las mediciones, obteniendo un valor de 6,75.

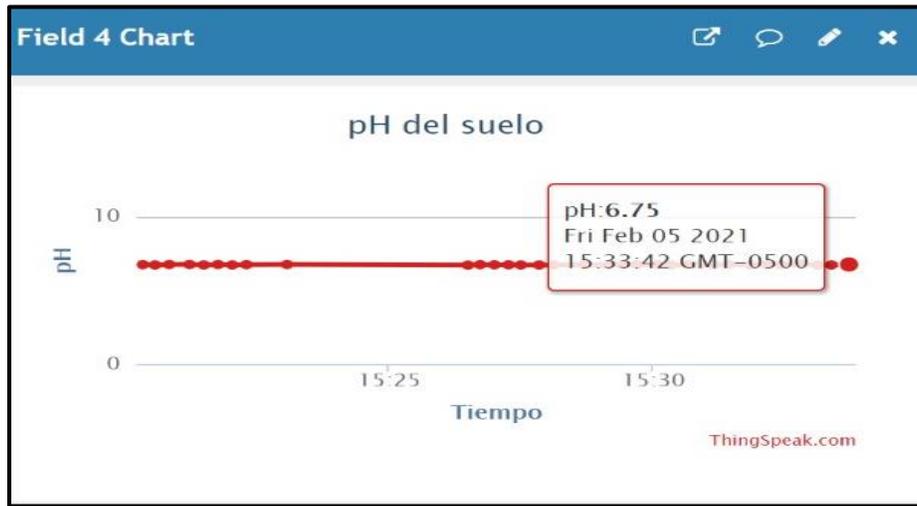


Fig. 25. Registro de valor del pH del suelo en la fase de prueba de área controlada. Fuente. (Autores)

5.1.3 Resultados de la prueba in situ

Para las variables estudiadas, se realizaron más de seis mediciones en toda la zona de estudio, teniendo en cuenta la división en cuatro sectores, lo cual corresponde a la variabilidad de las características físicas y químicas del suelo en los sectores muestreados en el cultivo de banano. Es preciso mencionar que tal vez, el sensor de pH en la prueba in situ pudo perder su precisión por las temperaturas del lugar que generalmente fueron superiores a los 25°C la mayor parte del tiempo del muestreo.

5.1.4 Resultados pH del agua in situ.

La siguiente tabla, permite visualizar el comportamiento del pH del agua en la zona de estudio durante el período de muestreo:

Tabla VI. Valores promedios de pH para cada sector.

FECHA	MUESTRA DE AGUA	SENSOR	pH
28-04-2021	1	SENSOR SEN0161	6,71
29-04-2021	2	SENSOR SEN0161	7,23
03-05-2021	3	SENSOR SEN0161	7,26
08-05-2021	4	SENSOR SEN0161	6,88
10-05-2021	5	SENSOR SEN0161	6,77

Para el sector 1, el 28 de abril de 2021 se registra durante un período de 10 minutos el valor de 6.71, como lo muestra la siguiente figura:

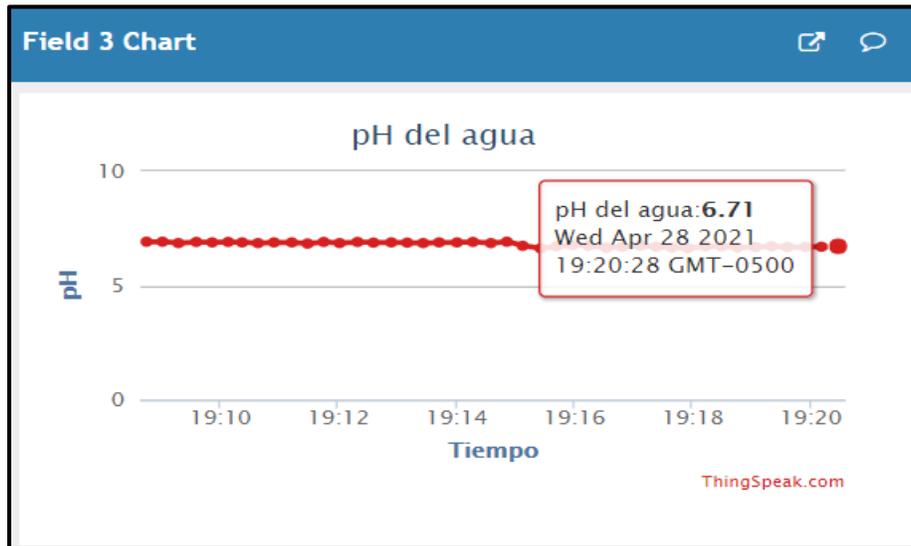


Fig. 26. Registro de valores de pH del agua. Fuente: (Autores)

Para el día 29 de abril, se muestra en la figura 27 que ya aquí el sistema registra valores de pH neutros, arrojando un valor de 7,23.

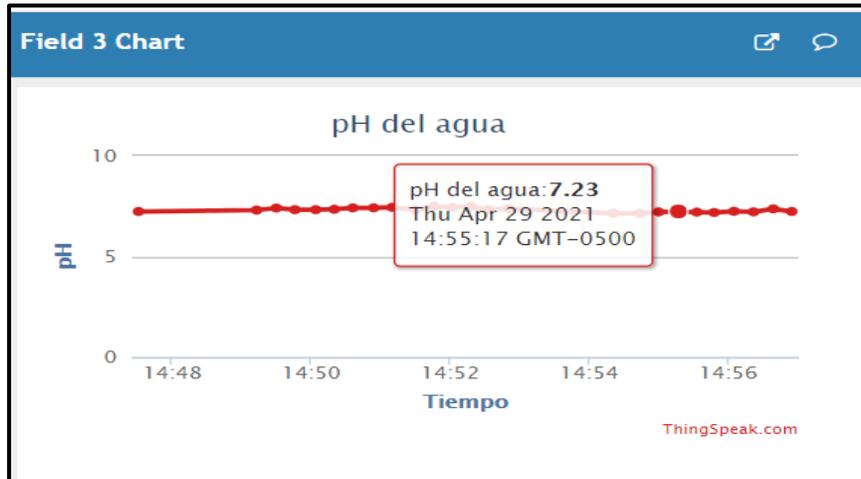


Fig. 27. Resultado de la detección del sistema para el pH del agua. Fuente: (Autores)

En la figura 28 se puede observar que los resultados se mantienen constantes con el pasar de los días, por lo cual se manifiesta que el agua para el riego del cultivo de banano tiene un pH neutro.

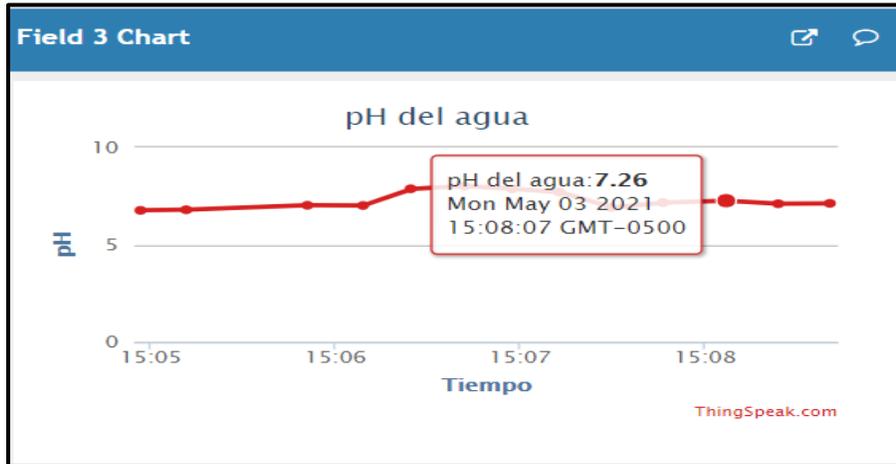


Fig. 28. Resultado para el pH del agua. Fuente: (Autores)

5.1.5 Resultados pH del suelo in situ

La siguiente tabla, muestra el comportamiento del pH del suelo en los cuatro sectores del lugar durante el período de muestreo:

Tabla VII. Valores de pH registrados por el sensor SEN0249

SECTOR	MUESTRA DE SUELO	SENSOR	pH
1	1	SENSOR SEN0249	6,41
1	2	SENSOR SEN0249	6,63
2	3	SENSOR SEN0249	6,74

2	4	SENSOR SEN0249	6,34
3	5	SENSOR SEN0249	5,98
4	6	SENSOR SEN0249	6,51

De acuerdo con los datos de la tabla 6, se puede afirmar que el sector 3 tiene un suelo relativamente ácido, ya que fue el que presentó un valor de pH bajo (5,98), indicando que en este sector pueden existir ciertas características fisicoquímicas (lluvias, fertilizantes) que puedan estar alterando este pH, así mismo, según la revisión de la literatura los cultivos de mejor aspecto se encuentran en condiciones ligeramente ácidas o muy ligeramente alcalinas con pH de 6 a 7.5, en donde, la condición ideal de pH del suelo es de 6.5.

En la figura 29 se observa el sensor de pH SEN0249 generó las mediciones de pH, arrojando resultados con un promedio de 6,41 para el sector 1, tal como se muestra:

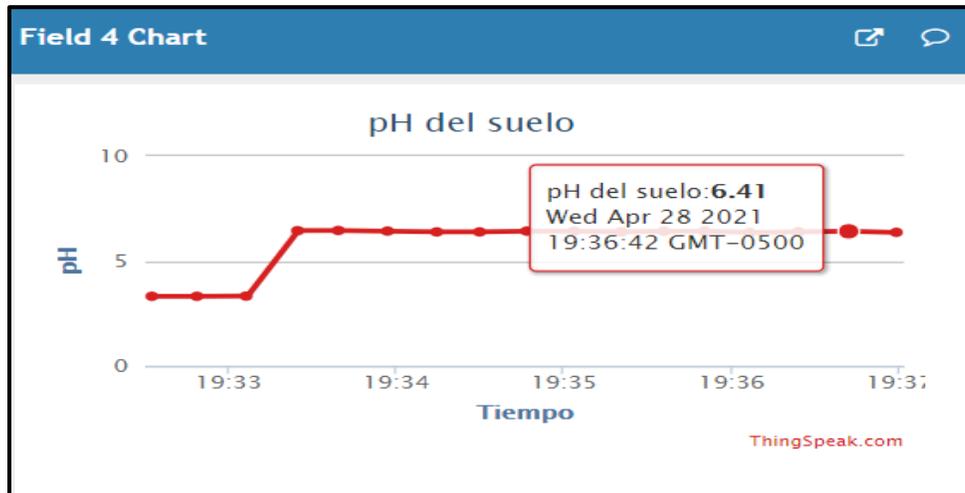


Fig. 29. Resultados de pH del suelo. Fuente: (Autores)

En la figura 30, se puede observar que para un espacio de tiempo de 4 días (30 de abril a 3 de mayo) el valor promedio del pH para el suelo en el sector 2 es de 6,74.

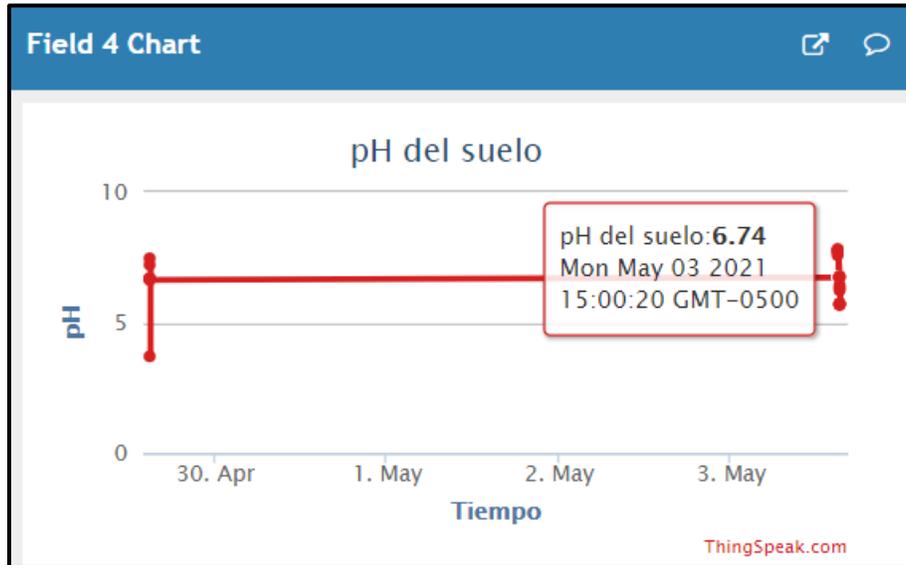


Fig. 30. Valores de pH del suelo en el sector 2. Fuente: (Autores)

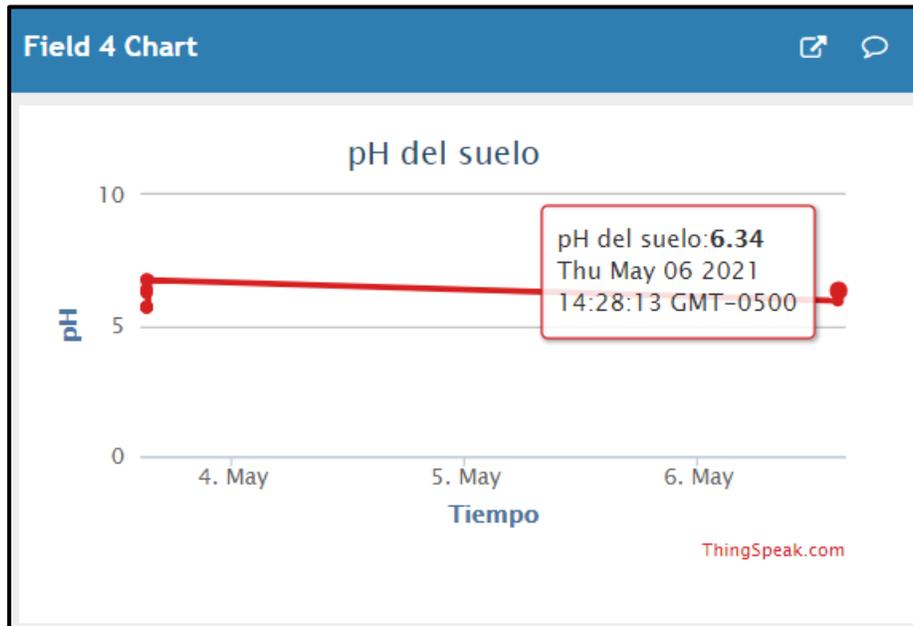


Fig. 31. Valores de pH del suelo sector 2. Fuente: (Autores)

En la figura 31, se muestra que los días 4, 5 y 6 de mayo el valor promedio del pH para el suelo en el sector 2 fue de 6,34.

La figura 32 muestra el valor de pH en el sector 3 para los días 4, 5, 6, 7 y 8 de mayo del año 2021, en el cual se evidencia un promedio para el pH de 5,98. En este sector, el suelo se encuentra en un rango de 5.5 y 6.5 en los valores de pH, lo cual indica según la teoría, que estos suelos son relativamente ácidos.



Fig. 32. Valores de pH in situ. Fuente: (Autores)



s)

Fig. 33. Registros de valores de pH del suelo in situ. Fuente: (Autores)

La figura 33 muestra el valor de pH en el sector 4 para los días 7, 8, 9 y 10 de mayo del año 2021, en el cual se evidencia un promedio para el pH de 6,51. En este sector, el suelo se encuentra en un rango de 5.5 y 6.5 en los valores de pH.

5.1.6 Resultados Nivel De Profundidad Del Agua in situ.

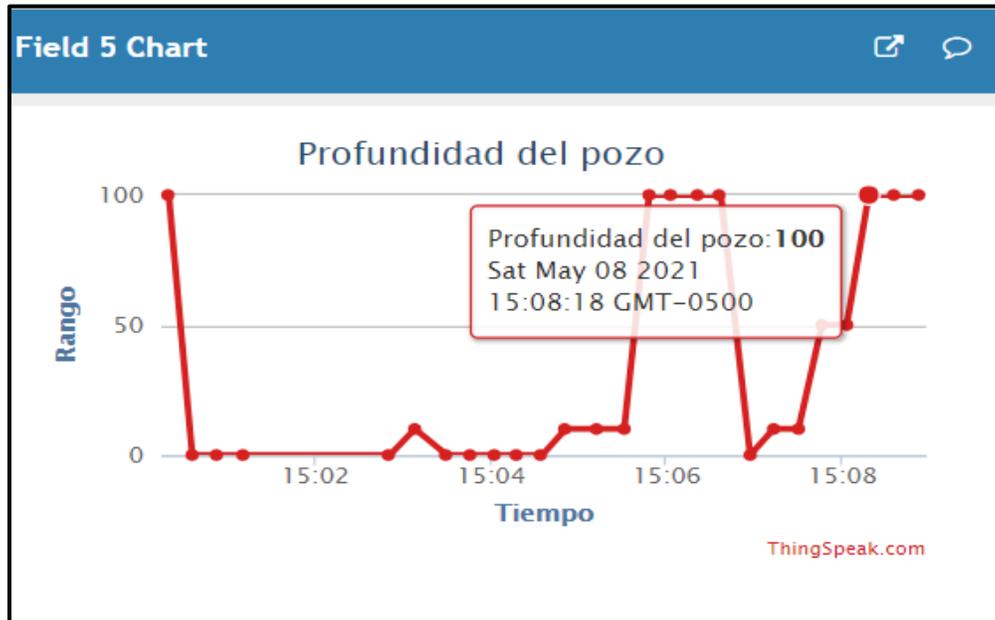
En la figura 34 se contempla los datos de la respectiva medición de la profundidad del agua en los pozos utilizados para el riego de los cultivos de banano. En las primeras pruebas que se hicieron por un período de tiempo de 5 días en espacios cortos de tiempo (de 5 a 10 minutos), se observaron las mediciones de nivel de profundidad, arrojando resultados con un resultado de 50% que equivalen a nivel medio (10 metros), tal como se muestra en la siguiente figura.



Fig. 34. Registros de profundidad del pozo. Fuente: (Autores)

En la figura 35, se evidencia un nivel de profundidad del pozo del 100% correspondiente a un nivel alto que corresponde a 18 metros que es la totalidad de metros del pozo. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede decir que para esta fecha hubo un período de lluvias en la zona, lo cual abastece el pozo.

Adicionalmente se debe tener en cuenta que la sonda utilizada al realizar el proceso de medicion, antes de ingresar el sensor de profundidad al agua marca un valor de 0% que hace referencia a la nulidad del contacto de la sonda con el agua. Este empieza a variar mientras se estabiliza los valores de la sonda al detectar la profundidad del agua.



son mínimas en cuanto a los valores de las medias, desviación y varianza; lo que muy posiblemente se deban a que las temperaturas tanto en el área controlada como in situ son superior a los 25°C. Por tanto, se puede decir que el sistema de monitoreo cumple con los parámetros óptimos de diseño (selección de materiales, precisión, funcionalidad y costos).

En la implementación del sistema de monitoreo utilizado, se desarrolló con componentes y tecnologías de uso libre y fácil manejo, todo esto con la finalidad de desarrollar un producto tecnológico que se encuentre al alcance de los cultivadores de banano de la zona bananera del corregimiento de Río Frío, especialmente en la Finca “Julia Ester”. También, con la implementación del sistema de monitoreo se logró reconocer de manera práctica los aportes que puede otorgar el sistema para mejorar las metodologías de trabajo del cultivador, a la hora de hacer un seguimiento del pH del suelo y del agua.

Tanto en el área controlada como in situ se evidencia que los sensores y puertos digitales presentan un comportamiento constante en un tiempo real. Sin embargo, la temperatura del sitio de estudio por lo general es superior a 25°C, lo que de algún modo pudo afectar levemente la medición de las variables estudiadas al momento de comparar las mediciones en laboratorio.

De igual forma, los resultados que se registraron durante el periodo de experimentación conllevan a deducir que los sectores muestreados tienen valores de pH en el suelo se encuentra entre el rango de 5.98 y 6.74, es decir suelos relativamente ácidos según las fuentes consultadas. Para los valores de pH en el agua, estos oscilaron entre 6,7 y 7,2. En lo que se refiere al nivel de profundidad las variaciones estuvieron en un rango entre el 50 y 100%.

REFERENCIAS

- [1] V. I. Adamchuk, M. T. Morgan, and D. R. Ess, "AN AUTOMATED SAMPLING SYSTEM FOR MEASURING SOIL pH," *Trans. ASAE*, vol. 42, no. 4, pp. 885-, Jul. 1999, doi: 10.13031/2013.13268.
- [2] "Ashton, K (2009) That 'Internet of Things' Thing In the Real World Things Matter More than Ideas. RFID Journal. - References - Scientific Research Publishing." [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkpozje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1871898](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkpozje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1871898) (accessed Jul. 29, 2021).
- [3] N. C. Parra, "Diseño de un protocolo de monitoreo en pozos de la red local, para una gestión sustentable del agua subterránea en Colombia," *Ing. Civ.*, Jan. 2017, Accessed: Jul. 29, 2021. [Online]. Available: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/392.
- [4] COLLAZO PAULA, "BASES CONCEPTUALES Y MUESTREO DE LA CALIDAD DEL AGUA," *Universidad de la República*, Sep. 22, 2015. http://capacitacion.sirh.ideam.gov.co/encuentro2/Ponencias/PDF_AS/3. Bases conceptuales y muestreo de la calidad del agua.pdf (accessed Jul. 29, 2021).
- [5] R. F. J. M. L. Delgado Eduardo, "Índice de calidad y salud de suelos para plantaciones bananeras en cuatro países de américa latina y el caribe," *Seielo*, 2010. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612010000100007 (accessed Jul. 29, 2021).
- [6] DFROBOT, "PH_meter_SKU__SEN0161_-DFRobot," *DFROBOT*. https://wiki.dfrobot.com/PH_meter_SKU__SEN0161_ (accessed Jul. 29, 2021).
- [7] F. Ebel and • S Nestel, "Sensores para la técnica de procesos y manipulación Sensores de proximidad Libro de texto."
- [8] V. A. Escobar E, "Sistema de monitoreo energético y control domótico basado en tecnología

- “internet de las cosas,” *universidad del norte*.
<https://login.ezproxy.uninorte.edu.co/login?url=https://doaj.org%2Farticle%2F6a296f40d0654c589763980db5dec28f> (accessed Jul. 29, 2021).
- [9] J. Fonseca-Beltrán, G. Cazarez-Ayala, J. de J. Montes de Oca-Flores, H. I. Del Ángel Bahena, and C. A. Aguilar-Avelar, “Módulo de entrenamiento basado en microcontroladores pic®: diseño e implementación,” *Ra Ximhai*, pp. 325–332, Dec. 2011, doi: 10.35197/RX.07.03.2011.02.JF.
- [10] “Proyecto FONTAGRO - Calidad y Salud de Suelos Bananeros en América Latina y el Caribe - MUSALAC.” <http://banana-networks.org/musalac/regional-research-projects/proyecto-fontagro-calidad-y-salud-de-suelos-bananeros-en-america-latina-y-el-caribe/> (accessed Jul. 29, 2021).
- [11] Sánchez Guillermo and Tintinago Diana, “AMÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA UN DISPOSITIVO DE MONITOREO AMBIENTAL DE CENTROS DE CÓMPUTO DE BAJO COSTO BASADO EN TECNOLOGÍA ARM Y SOFTWARE DE CÓDIGO ABIERTO APLICABLE A UNA PEQUEÑA Y MEDIANA EMPRESA,” Mar. 2015.
- [12] Ganadero Contexto, “Sistemas de riego, beneficio clave para el agro colombiano | CONtexto ganadero | Noticias principales sobre ganadería y agricultura en Colombia,” *contextoganadero*, Feb. 25, 2013. <https://www.contextoganadero.com/reportaje/sistemas-de-riego-beneficio-clave-para-el-agro-colombiano> (accessed Jul. 29, 2021).
- [13] Garcia Edwin, “Artículos científicos: Monitoreo, Seguimiento y Evaluación,” Feb. 25, 2013. <http://edwingarcia1975.blogspot.com/2013/02/monitoreo-seguimiento-y-evaluacion.html> (accessed Jul. 29, 2021).
- [14] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, “Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions,” *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 29, no. 7,

pp. 1645–1660, Sep. 2013, doi: 10.1016/J.FUTURE.2013.01.010.

- [15] Gutiérrez Andrea, “EVALUACIÓN DEL USO POTENCIAL DEL SENSOR VERIS PH MANAGER CONSIDERANDO LA INFLUENCIA DE LA HUMEDAD DEL SUELO Y DE LA FRACCIÓN ARCILLA EN SUS LECTURAS.,” 2017. https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/941/Tesis_final_pdf.pdf;jsessionid=7192C7049E26D7A1329CA6CCFFE78ADF?sequence=1 (accessed Jul. 29, 2021).
- [16] Leantec, “Datasheet HC-SR04,” Accessed: Jul. 29, 2021. [Online]. Available: www.leantec.es.
- [17] Llamas Luis, “Medir distancia con Arduino y sensor de ultrasonidos HC-SR04,” Jun. 16, 2015. <https://www.luisllamas.es/medir-distancia-con-arduino-y-sensor-de-ultrasonidos-hc-sr04/> (accessed Jul. 29, 2021).
- [18] López Rodolfo and Cubillos Diana, “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO QUE PERMITA LA LECTURA DE TEMPERATURA Y PH Y REGULE EL NIVEL DEL AGUA DE UN ACUARIO DEL LABORATORIO DE ACUICULTURA DEL PROGRAMA DE ZOOTECNIA DE LA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA SEDE FUSAGASUGÁ,” Nov. 2016, Accessed: Jul. 29, 2021. [Online]. Available: [https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/345/DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO QUE PERMITA LA LECTURA DE TEMPERATURA Y PH Y R.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/345/DISEÑO_E_IMPLEMENTACIÓN_DE_UN_SISTEMA_DE_MONITOREO_QUE_PERMITA_LA_LECTURA_DE_TEMPERATURA_Y_PH_Y_R.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [19] M. L. Luna-Gonzalez, S. M. Becerra-Bayona, N. Serrano-Diaz, and R. A. Lobo-Quintero, “Implementación de tecnologías libres y sensores remotos para un biobanco: el desafío de producir a bajo costo,” *Inf. tecnológica*, vol. 31, no. 2, pp. 149–162, Apr. 2020, doi: 10.4067/S0718-07642020000200149.

- [20] E. D. Lund, V. I. Adamchuk, K. L. Collings, P. E. Drummond, and C. D. Christy, "Development of soil pH and lime requirement maps using on-the-go soil sensors," Accessed: Jul. 29, 2021. [Online]. Available: www.veristech.com.
- [21] Saavedra MAdruga and Javeir Francisco, "Contribución al desarrollo de sensores de temperatura y redes de sensores en tecnología de fibra óptica - Biblioteca virtual VirtualPro.co," 2006. <https://www.virtualpro.co/biblioteca/contribucion-al-desarrollo-de-sensores-de-temperatura-y-redes-de-sensores-en-tecnologia-de-fibra-optica> (accessed Jul. 29, 2021).
- [22] H Martinez *et al.*, "Sistema optoelectrónico de medida de pH para sensores de película delgada. - Dialnet," *Dialnet*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5038426> (accessed Jul. 29, 2021).
- [23] Microchip, "MCP 3004/ 3008," *Microchip*, 2008, Accessed: Jul. 29, 2021. [Online]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21295d.pdf>.
- [24] L. de Jesús Millán Cardona and H. José Ciro Velásquez, "Caracterización mecánica y físico-química del banano tipo exportación (CAVENDISH VALERY)," Accessed: Jul. 29, 2021. [Online]. Available: <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/136/1/10.163-192.pdf>.
- [25] Minambiente, "Programa Nacional de Aguas Subterráneas | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible," *Minambiente*. <https://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/planificacion-de-cuencas-hidrograficas/acuiferos/programa-nacional-de-aguas-subterraneas> (accessed Jul. 29, 2021).
- [26] Moreno Lenis and Toro Laura, "Modelo financiero integral para cultivo de banano de pequeños productores del municipio de jardín Antioquia MODALIDAD," 2019, Accessed: Jul. 29, 2021. [Online]. Available: http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/13734/1/ToroLaura_2019_

ModeloFinancieroBanano.pdf.

- [27] A. V. RESENDE, HURTADO S.M.C, VILELA M de F, CORAZZA E.J, and L. . SHRATSUCHI, “Aplicações da agricultura de precisão em sistemas de produção de grãos no Brasil. - Portal Embrapa,” 2014. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1002916/aplicacoes-da-agricultura-de-precisao-em-sistemas-de-producao-de-graos-no-brasil> (accessed Jul. 29, 2021).
- [28] Rivera Evelin, Sánchez MAgali, and Dominguez Hercilia, “pH como factor de crecimiento en plantas .” <https://core.ac.uk/download/pdf/234019718.pdf> (accessed Jul. 29, 2021).
- [29] A. José *et al.*, ““METAMODELO PARA LA INTEGRACIÓN DEL INTERNET DE LAS COSAS Y REDES SOCIALES,”” 2017, Accessed: Jul. 29, 2021. [Online]. Available: <http://di002.edv.uniovi.es/~cueva/investigacion/tesis/Tesis-JoseIgnacio.pdf>.
- [30] Romero Lidice, Piña Félix, and Goire Maria, “Red de sensores inalámbricos para las casas de cultivos protegidos “ San José” ,” *SCIELO*, Apr. 2018. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282018000100002 (accessed Jul. 29, 2021).
- [31] H. Sancho and E. Molina, “Efecto de la concentración del H3O+ y Mg en el crecimiento inicial y la absorción de nutrimentos en plantas de banano cultivadas en solución hidropónica,” *Siembra*, vol. 3, no. 1, pp. 37–52, Oct. 2016, doi: 10.29166/SIEMBRA.V3I1.257.
- [32] A. Serbanati, C. M. Medaglia, and U. B. Ceipidor, “Building Blocks of the Internet of Things: State of the Art and Beyond,” *Deploying RFID - Challenges, Solut. Open Issues*, Aug. 2011, doi: 10.5772/19997.
- [33] S. N. A. U. Nambi, C. Sarkar, R. V. Prasad, and A. Rahim, “A unified semantic knowledge base for IoT,” *2014 IEEE World Forum Internet Things, WF-IoT 2014*, pp. 575–580, 2014,

doi: 10.1109/WF-IOT.2014.6803232.

- [34] ITU, “Y.2060 : Visión general de la Internet de las cosas.” <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I/es> (accessed Jul. 29, 2021).
- [35] Valderrama Yeison, “Diseño e implementación de un instrumento electrónico de medida de pH para terreno agrícola. - 10596/13356.” <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/13356> (accessed Jul. 29, 2021).
- [36] Valenzuela Carlos, “Sensores Analógicos Y Digitales Ingenier mec nica Docente Carlos Miguel - StuDocu.” <https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-tecnologico-de-boca-del-rio/instrumentacion-y-control/sensores-analogicos-y-digitales/7951931> (accessed Jul. 29, 2021).
- [37] C. Rica Villarreal-Núñez, “Agronomía Mesoamericana,” 2013, Accessed: Jul. 29, 2021. [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43729228007>.
- [38] Zamora Gabriel and Valdizón Yader, “Evaluación preliminar de las características Físicoquímicas de las aguas subterráneas de la Cuenca 72 del municipio de San Juan del Sur en el mes de Abril del año 2013.” <https://repositorio.unan.edu.ni/5611/1/65727.pdf> (accessed Jul. 29, 2021).

XIII. ANEXOS

ANEXO 1. Tabla de antecedentes

AUTORES	PAÍS	VARIABLES	METODOLOGÍA	CARACTERÍSTICAS	APORTES
Kumar, S; Babankumar S, Thakur R, Kumar M. (2015)	India	pH	Revisión bibliográfica sobre técnicas de detección de pH del suelo	Se describen las técnicas de detección de pH del suelo basadas en ISFET y tecnología conductimétrica, pero ambas las tecnologías tienen algunos inconvenientes.	Implementación de un sensor de pH del suelo in situ basado en nano tecnología.
Anzures H, Sanchez A, Castañeda J, Mino G, Guerrero J, Cortez L. (2015).	México	Temperatura Corriente	Aplicada	Trata sobre un sistema de monitoreo remoto a través de una pantalla inteligente para sensores de temperatura y corriente utilizando una red híbrida CAN-ZIGBEE. El CAN bus es usado como medio de transmisión de datos a corta distancia mientras que Zigbee es empleado para que cada nodo de la red pueda interactuar de manera inalámbrica con el nodo principal. De esta manera la red híbrida	Diseño de un sistema de monitoreo remoto a través de una pantalla inteligente para sensores de temperatura y corriente utilizando una red híbrida CAN-ZIGBEE.

Sistema De Monitoreo Sobre La Profundidad De Agua En Pozos y El pH Que ... 81

				combina las ventajas de cada protocolo de comunicación para intercambiar datos.	
Flores, M; Flores F, Velasco V, Gonzalez G, Jurado F. (2015).	México	Humedad del suelo	Experimental	Se diseñan y desarrollan tres nodos sensores enfocados al monitoreo de humedad en suelo. Se seleccionaron y acoplaron sensores que miden la humedad del suelo con el principio de reflectometría en el Dominio de la Frecuencia (RDF); se describe el método de calibración con el método volumétrico como referencia para obtención de los parámetros de ajuste en los nodos sensores de la RIS.	Sistema propuesto basados en RIS que facilita el monitoreo de la medición de humedad del suelo, y puede formar parte de una nueva metodología para el monitoreo y administración del agua.
Castro N, , Chamorro L, y Viteri C. (2016).	Colombia	Humedad del suelo	Experimental	Se describe el diseño e implementación de una red de sensores inalámbricos que es capaz de obtener mediciones de humedad del suelo de diferentes zonas de un cultivo de fresas y, según los datos recogidos, determina el tiempo de riego y la zona particular que se debe regar utilizando el método de goteo	El diseño de una WSN, para medir humedad volumétrica en un cultivo de fresas.
Gomez J; Castaño S,	Colombia	Humedad del suelo	Experimental	El sistema de IoT para el monitoreo de los parámetros obtenidos en tiempo real en un	El diseño de un sistema con IoT, en un cultivo protegido.

Sistema De Monitoreo Sobre La Profundidad De Agua En Pozos y El pH Que ... 82

Mercado T, Fernandez A, y García J. (2017)		Humedad relativa Radiación UV		cultivo protegido despliega efectivamente la información obtenida a través del sistema la cual se actualiza automáticamente y es mostrada en la app web que permite al usuario tener los datos ya sea a través del web site o en su móvil.	Es un sistema viable ya que permite un bajo coste haciéndolo accesible en especial para las áreas rurales o apartadas.
Sanchez N, Quintero E, Méndez A, Valderrama Y. (2019)	Colombia	pH suelo	Tecnología aplicada	Diseño de un instrumento de medida de pH que permita monitorear las variables al momento de iniciar un proceso agrícola. Se optó por un electrodo de encapsulamiento metálico; este tiene características muy similares al tipo ISFET, con un rango de tensión entre 800mV a -800mV aproximadamente, siendo los valores más próximos a 0V los que indican un nivel de pH 7.	Diseño de un prototipo de pH-metro teniendo en cuenta los costos de implementación del prototipo (alrededor del 50%) respecto a los pH-metros usados para realizar las pruebas, lo que garantiza confiabilidad en la medición.
Amaya, A, y Cruz L. (2017).	Colombia	pH Conductividad Nivel de agua	Aplicada	La selección de los sensores fue con base en la funcionalidad y bajo costo para cada una de las variables del sistema. La tarjeta de desarrollo seleccionada fue Arduino UNO, basada en el microcontrolador ATmega328P.	Uso de sensores para monitorear un cultivo hidropónico.

Sistema De Monitoreo Sobre La Profundidad De Agua En Pozos y El pH Que ... 83

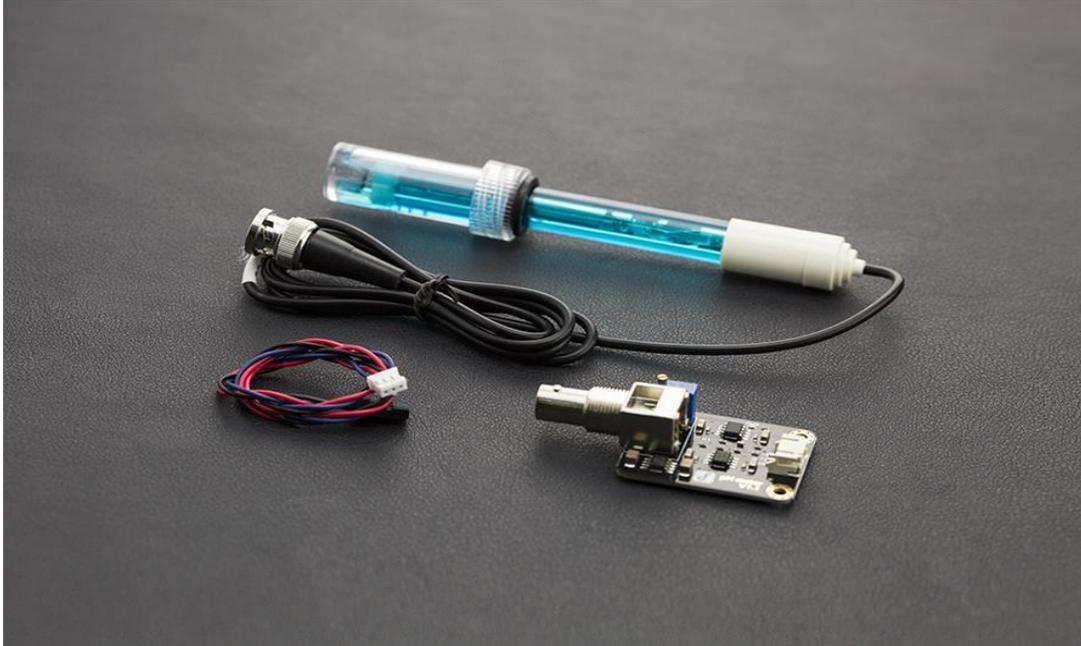
				<p>para la medición del pH se seleccionó el kit “Analog pH Meter Pro” de DFRobot que incluye un sensor industrial con precisión de ± 0.1pH a 25°C y que el fabricante especifica que puede permanecer sumergido en el fluido por periodos prolongados</p>	
<p>González, J, Nuñez B, y Viloria P. (2012).</p>	<p>Colombia</p>	<p>Temperatura</p>	<p>Experimental</p>	<p>Se muestra la implementación de un sistema de adquisición de datos para el monitoreo de la temperatura utilizando el sensor LM35. Que consta de varias etapas; acondicionamiento de la señal, conversión de la señal de análoga a digital, adquisición de la señal por el puerto paralelo del computador e implementación de una interfaz gráfica en C++ para visualizar el comportamiento del sensor.</p>	<p>Implementación de un sistema de adquisición de datos para el monitoreo de la temperatura utilizando el sensor LM35.</p>
<p>Osma J, y Villamizar D. (2020).</p>	<p>Colombia</p>	<p>Temperatura Humedad Luz</p>	<p>Experimental</p>	<p>Se desarrolla un sistema que permite la visualización de las variables físicas de temperatura del ambiente, humedad del ambiente, humedad del suelo e intensidad de luz en una huerta urbana en tiempo real, se</p>	<p>Se demostró que es viable transmitir los datos obtenidos de sensores a internet mediante la implementación de Shield Ethernet. Al conectar un</p>

Sistema De Monitoreo Sobre La Profundidad De Agua En Pozos y El pH Que ... 84

				<p>evidencio los diferentes procesos para la conformación de una red IoT, desde la toma de datos por medio de los sensores implementados en el desarrollo del proyecto, el procesamiento de la información que se realizó por medio del microcontrolador de Arduino uno.</p>	<p>microcontrolador a un servidor web, se logró la transmisión de los datos capturados, mediante una red de área local.</p>
<p>Toro B, y Parrado A, (2018).</p>	<p>Colombia</p>	<p>VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.</p>	<p>Investigación Mixta: cuantitativa y cualitativa</p>	<p>Se diseñó una metodología para el monitoreo, seguimiento y control de la calidad del agua subterránea en dos escuelas ecoeficientes ubicadas en Puerto Rico, Meta.</p>	<p>El diseño del manual para el monitoreo, seguimiento y control de la calidad del agua subterránea..</p>

Fuente: (Autores)

ANEXO 2. Sensor SEN0161



Especificaciones del sensor SEN0161.

Module Power	5.00V
Circuit Board Size	43mm*32mm
pH measuring Range	0-14
Measuring Temperature	0-60°
Accuracy	±0.1pH (25°)
Response Time	≤1min
pH Sensor with BNC Connector	Yes
PH2.0 Interface(3foot patch)	Yes

Gain Adjustment Potentiometer	Yes
Power Indicator LED	Yes

Nota: Fuente: (DFRobots, 2016)

ANEXO 3. Sensor SEN0249



Especificaciones del sensor SEN0249.

Module Power	5.00V
Circuit Board Size	43mm*32mm
pH measuring Range	0-14
Measuring Temperature	0-60°
Accuracy	±0.1pH(25°)

Sistema De Monitoreo Sobre La Profundidad De Agua En Pozos y El pH Que ... 87

Response Time	≤1min
pH Sensor with BNC Connector	Yes
PH2.0 Interface(3foot patch)	Yes
Gain Adjustment Potentiometer	Yes
Power Indicator LED	Yes

Nota: Fuente: (DFRobots, 2016)

ANEXO 4. Especificaciones tarjeta Raspberry Pi 3B+

Especificaciones Raspberri Pi 3B+	
Modelo	Raspberri Pi 3B+
Fuente de alimentacion	Micro USB de hasta 5V 2.5A
Bandeja Micro SD	Cargar sistema Operativo y almacenar datos
Puerto de Pantalla DSI	Conector de pantalla táctil Raspberry Pi
Puerto de Cámara CSI	Conector para cámara Raspberry Pi
Puerto HDMI	Trasmitir audio y video entre dos dispositivos
Salida de Estéreo	4 polos
Puerto de vídeo	Video Compuesto
USB 2.0	4 puertos
GPIO Extendido	40 pines
RAM	1GB
WIFI	BCM43438
Bluetooth	Baja energía (BLE) Versión 4.1
100-Base	Conexión Ethernet de 100 Mbps

Nota: Fuente: (Autores)

ANEXO 5. Especificaciones del conversor MCP3008

Voltaje de operación:	2.7 v – 5.5 v
Numero de pines	14
Numero de canales	8
Resolución	10 bits
Conversor	ADC
Consumo máximo de corriente	500 μA

Sistema De Monitoreo Sobre La Profundidad De Agua En Pozos y El pH Que ... 88

Rango de temperatura de trabajo	-40°C to +85°C
Interfaz serial SPI (modos 0,0 y 1,1)	
Disponible en paquetes PDIP y SOIC	

ANEXO 6. Especificación de las conexiones del sistema de monitoreo

NUMERO	MCP3008	SIGNIFICADO	PUERTO RASPBERRY	SENSOR SEN 0161	SENSOR SEN0249
1	CH0	Entrada analógica	X	✓	x
2	CH1	Entrada analógica	X	x	✓
3	CH2	Entrada analógica	X	x	x
4	CH3	Entrada analógica	X	x	x
5	CH4	Entrada analógica	X	x	x
6	CH5	Entrada analógica	X	x	x
7	CH6	Entrada analógica	X	x	x
8	CH7	Entrada analógica	X	x	x
9	DGND	Tierra digital	Pin 9	x	x
10	CS/SHDN	Entrada de selección / apagado de chip	X	x	x
11	Din	Entrada de datos en serie	Pin 19	x	x
12	Dout	Salida de datos en serie	Pin 21	x	x
13	CLK	Reloj serial	Pin 23	x	x
14	AGND	Tierra analógica	Pin 9	x	x
15	VREF	Entrada de voltaje de referencia	Pin 1	x	x
16	VDD	Fuente de alimentación de + 2,7 V a 5,5 V	Pin 1	x	x
17	N/A	GPIO-20	Pin 38	N/A	N/A
18	N/A	GPIO-21	Pin 40	N/A	N/A
19	N/A	GPIO-22	Pin 15	N/A	N/A
20	N/A	GND	Pin 9	N/A	N/A

21	N/A	VCC	Pin1	N/A	N/A
----	-----	-----	------	-----	-----

ANEXO 7. Práctica de laboratorio

Fecha y lugar: mayo 12 de 2021, laboratorio de Química. Universidad del Magdalena.

Participantes: Frank Perez Orozco (estudiante), Luis Alexander Herrera (ingeniero).

Metodología: Se utilizaron instrumentos de laboratorio para la medición de pH, es decir pH-metro, agua destilada, papel absorbente, mezclador de vidrio, vasos de vidrio, probetas y balanza. La prueba de laboratorio se llevó a cabo dos etapas. En la primera se tomaron mediciones de pH a una muestra de agua de la finca “Julia Ester” con un pH-metro de laboratorio equipo SI Analytics LAB-845. En la segunda se tomaron mediciones de pH de suelo de los cuatro sectores de la finca. Se registraron los valores de pH en la siguiente tabla:

SECTOR	MUESTRA	SENSOR	pH agua	pH suelo
1	1	LAB-845	6,83	6,98
1	2	LAB-845	6,71	6,91
2	3	LAB-845	6,69	7,63
2	4	LAB-845	6,74	7,74
3	5	LAB-845	6,72	7,84
4	6	LAB-845	6,68	7,75

Las siguientes fotos son evidencias del procedimiento de la práctica de laboratorio:

