



Instituto Tecnológico Superior de Xalapa

Subdirección de Posgrado e Investigación

**Diseño de arquitectura IoT escalable
para caracterización del suelo cultivable
de la región montañosa central del
estado de Veracruz.**

Que presenta

Miguel Carrillo Alarcón

Para la obtención del grado de

Maestro en Sistemas Computacionales

Director: Omar Alba Hernández

Codirector: Miguel Ángel Sánchez Martínez

Xalapa-Enríquez Veracruz, a 18 de febrero de 2022

CONTENIDO

CAPITULO I PROTOCOLO DE TESIS	9
1.1 ANTECEDENTES.....	10
1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.3 OBJETIVO	16
1.3.1 Objetivo general	16
1.3.2 Objetivos específicos	16
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	17
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	18
1.5.1 Alcances.....	18
1.5.2 Limitaciones	18
1.6 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	18
1.7 HIPÓTESIS.....	19
1.8 METODOLOGÍA	20
1.8.1 Método y Tipo de investigación	20
1.8.2 Técnicas y Herramientas.....	21
1.8.3 Procedimiento	21
1.8.4 Variables Independientes.....	22
1.8.5 Variables Dependientes	23
1.9 RIESGOS Y CONSIDERACIONES ÉTICAS.	23
CAPITULO II MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	24
2.1 INTRODUCCIÓN.....	25
2.2 AGRICULTURA DE PRECISIÓN	25
2.3 EL SUELO	27
2.4 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS	28
2.4.1 Color del suelo	28
2.4.2 Textura del suelo.....	29
2.4.3 Porosidad	29
2.5 ANÁLISIS DEL SUELO.....	29
2.6 INTERNET DE LAS COSAS (IoT)	31

2.7 ARQUITECTURAS	32
2.7.1 Arquitectura de 3 capas	33
2.7.2 Arquitectura de 4 capas	34
2.7.3 Arquitectura de 5 capas	34
2.8 ESTADO DEL ARTE.....	34
2.8.1 Metodología	34
2.8.2 Resultados	37
2.8.3 Conclusiones.....	40
CAPITULO III DISEÑO DE LA ARQUITECTURA IOT	46
3.1 DETERMINACIÓN DE VARIABLES DE CARACTERIZACIÓN.....	47
3.1.1 Nitrógeno (N).....	47
3.1.2 Fósforo (P) y potasio (K)	47
3.1.3 Acidez en los suelos (PH)	48
3.1.4 Conductividad Eléctrica (EC)	48
3.2 SELECCIÓN DE SENSORES Y OTROS DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS	49
3.2.1 Arduino.....	49
3.2.2 Sensores utilizados	50
3.2.3 Sensor de nitrógeno/fósforo/potasio del suelo	50
3.2.4 Sensor de pH	51
3.2.5 Sensor de Conductividad Eléctrica (EC) de Suelo	51
3.2.6 Módulo De Comunicación Rs485 Con Max485.....	51
3.3 SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS DE PRESENTACIÓN DE DATOS	52
3.3.1 JSP.....	52
3.3.2 MySQL	53
3.3.3 HQL.....	53
3.4 CONSTRUCCIÓN DE LA ARQUITECTURA	53
3.4.1 Sensor de Nitrógeno, Fosforo y Potasio (NPK).....	54
3.4.2 Sensor de Conductividad Eléctrica (EC)	60
3.4.3 Sensor de Acidez (pH)	61
3.4.4 Integración de los 3 sensores en una sola conexión.....	62
3.4.5 Página de visualización de datos	63
3.4.6 Conectividad ESP32 Y placa de Arduino	68
3.4.7 Conexión a internet y almacenamiento de información en la nube.	69

CAPITULO IV IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS	71
4.1 IMPLEMENTACIÓN PRACTICA DE LA ARQUITECTURA IOT	72
4.1.1 Prácticas en la estancia en Coacoatzintla Ver.	72
4.1.2 Cantidad de agua y nivel de compactación del suelo.....	73
4.1.3 Proximidad entre sensores.....	77
4.1.4 Interferencia en los sensores por rocas y otros elementos	80
4.2 CONCLUSIONES	84
4.3 TRABAJOS FUTUROS.....	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
ANEXO A: CARACTERÍSTICAS DE LOS DISPOSITIVOS UTILIZADOS PARA CREAR LA ARQUITECTURA.....	93
Placa de Arduino.....	93
Sensores de nitrógeno/fósforo/potasio del suelo	93
Sensor de PH.....	94
Sensor de Conductividad Eléctrica (EC) de Suelo	94
Módulo De Comunicación Rs485 Con Max485.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Método para el diseño de arquitectura IoT. Fuente: Propia	21
Figura 2 Ejemplo de un reporte de un análisis de fertilidad del suelo. Fuente: ¿Cómo crece y se nutre una planta de maíz? (p. 63) por Castellanos et al., 2019, Fertilab.	30
Figura 3 Arquitecturas IoT. Fuente: https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/12985833	
Figura 4 Parte de la Matriz de clasificación utilizada para examinar los documentos encontrados. Fuente: Propia.	37
Figura 5 Grafica de integración de tecnologías aplicadas a la arquitectura. Fuente: Propia.....	41
Figura 6 Grafica de numero de capas que forman a las arquitecturas. Fuente: Propia.....	41
Figura 7 Grafica gráfica de variables medidas en las arquitecturas. Fuente: Propia	42
Figura 8 Gráfica de dispositivos usados para las mediciones. Fuente: Propia	42
Figura 9 Grafica de tipos de información obtenida. Fuente: Propia.....	43
Figura 10 Grafica de tecnologías usadas para procesar y visualizar información. Fuente: Propia.....	43
Figura 11 Grafica de tecnologías para transmitir información. Fuente: Propia.....	44
Figura 12 Grafica de tipos de almacenamiento. Fuente: Propia.....	44
Figura 13 Grafica que muestra cual fue el uso de la información obtenida. Fuente: Propia.....	45
Figura 14 Placa Arduino Uno. Recuperado de https://uelectronics.com/producto/arduino-uno-rev3/	49
Figura 15 Sensor NPK. Fuente: https://eiccontrols.com/es/inicio/480-sensores-de-nitrogeno-fosforo-y-potasio-del-suelo-salida-4-20ma.html	50
Figura 16 Sensor de pH. Fuente: https://electronilab.co/tienda/sensor-analogico-de-ph-de-0-14/	51
Figura 17 Sensor EC Fuente: https://www.amazon.com/-/es/conductividad-profesional-impermeable-medidor-detector/dp/B082V7JC6R	51
Figura 18 Modulo Rs485. Fuente: https://naylampmechatronics.com/conversores-ttl/62-conversor-rs485-a-serial-ttl.html	52
Figura 19 Sensor de Conductividad Electrica. Fuente: Propia	53
Figura 20 Sensor de acidez (PH). Fuente: Propia.....	54
Figura 21 Sensor de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK). Fuente: Propia.....	54
Figura 22 Placa Arduino Uno. Fuente: Propia	54

Figura 23 Pantalla LCD. Fuente: Propia.....	54
Figura 24 Módulo De Comunicación Rs485 Con Max485. Fuente: Propia	55
Figura 25 Jumpers. Fuente: Propia	55
Figura 26 Protoboard. Fuente: Propia	55
Figura 27 Batería Recargable 5000mah 5v 9v 12v. Fuente: Propia.....	55
Figura 28 Conexión del LCD a la placa. Fuente: Propia	56
Figura 29 Diagrama de conexiones sensor NPK. Fuente: Propia	56
Figura 30 Programa de control para el sensor NPK. Fuente: Propia	56
Figura 31 Pantalla de para mostrar los datos del sensor NPK. Fuente: Propia.....	57
Figura 32 Primeras pruebas. Fuente: Propia.....	57
Figura 33 Conexiones de energía. Fuente: Propia.....	57
Figura 34 conexión completa y datos en la pantalla. Fuente: Propia	58
Figura 35 Conector de alimentación DC. Fuente: Propia	58
Figura 36 Alimentación a la placa de Arduino con batería portable. Fuente: Propia	58
Figura 37 Conexiones sensor EC. Fuente: Propia	59
Figura 38 Invernadero del ITSX y muestras de suelo. Fuente: Propia	59
Figura 39 Diagrama de conexiones sensor EC. Fuente: Propia.....	60
Figura 40 Conexión y pruebas con el sensor EC. Fuente: Propia.....	60
Figura 41 Diagrama de conexiones sensor PH. Fuente: Propia.....	61
Figura 42 Grafica para configuración del sensor de PH. Fuente: Propia	61
Figura 43 Conexión y pruebas con el sensor de pH. Fuente: Propia	62
Figura 44 Diagrama de conexión de los 3 sensores. Fuente: Propia	63
Figura 45 Netbeans. Fuente: Propia	64
Figura 46 MySql y visualizacion de variables mediante phpMyAdmin. Fuente: Propia.....	64
Figura 47 Página principal del sitio de visualización de datos. Fuente: Propia	65
Figura 48 Pagina de editar. Fuente: Propia.....	65
Figura 49 Clasificación de los datos almacenados por los sensores. Fuente: Propia	66
Figura 50 Grafica de los datos almacenados. Fuente: Propia.....	66
Figura 51 Página entrada_datos.ph. Fuente: Propia.....	67
Figura 52 Sitio almacenado en 000webhost. Fuente: Propia	67
Figura 53 conexión Esp32 y placa de Arduino mediante una protoboard. Fuente: Propia.....	68

Figura 54	envió de datos simulados NPK de la placa de Arduino. Fuente: Propia	68
Figura 55	Datos leídos y almacenados por parte de la Esp32. Fuente: Propia.....	69
Figura 56	Código y puesta en marcha de este para envió de datos a internet por al Esp32. Fuente: Propia.....	69
Figura 57	Registros más representativos de las mediciones en Coacoatzintla Ver. Fuente: Propia.....	73
Figura 58	Secado al sol de las muestras de suelo. Fuente: Propia.....	74
Figura 59	Resultados de la muestra 1 (prueba de humedad y compresión de tierra). Fuente: Propia	74
Figura 60	Resultados de la segunda muestra (prueba de humedad y compresión de tierra). Fuente: Propia.....	75
Figura 61	Resultados de la tercera muestra (prueba de humedad y compresión de tierra). Fuente: Propia	75
Figura 62	Muestra de suelo en maceta con mucha agua agregada. Fuente: Propia	76
Figura 63	Resultados obtenidos de la muestra de tierra en maceta. Fuente: Propia	76
Figura 64	Resultados de la prueba de proximidad con la muestra en maceta (solo sensor EC). Fuente: Propia	77
Figura 65	Resultados de la prueba de proximidad con la muestra en maceta (solo sensor NPK). Fuente: Propia.....	77
Figura 66	Resultados de la prueba de proximidad con la muestra en maceta (sensores NPK Y CE). Fuente: Propia	78
Figura 67	Sensores Separados (NPK Y PH juntos sin interferirse y el EC en una muestra de agua). Fuente: Propia.....	78
Figura 68	Prueba de proximidad con los sensores estando en la misma muestra (sensores NPK, PH Y EC). Fuente: Propia	79
Figura 69	Sensores en la misma muestra en cada extremo (NPK Y PH en un lado y EC en el otro extremo). Fuente: Propia	79
Figura 70	Resultados de la prueba con la última muestra (prueba de proximidad entre sensores). Fuente: Propia	80
Figura 71	Filtrado de muestras de tierra para eliminar rocas, desecho inorgánico, etc. Fuente: Propia	80
Figura 72	Datos obtenidos de la muestra 1 con la tierra filtrada y los 3 sensores conectados. Fuente: Propia.....	81
Figura 73	Datos obtenidos de la muestra 1 con solo el sensor de pH conectado. Fuente: Propia.....	81
Figura 74	Datos obtenidos de la muestra 1 con solo el sensor de NPK conectado. Fuente: Propia.....	82

Figura 75 Datos obtenidos de la muestra 1 con solo el sensor de EC conectado. Fuente: Propia.....	82
Figura 76 Datos de la muestra 2 con la tierra filtrada y los 3 sensores conectados. Fuente: Propia.....	82
Figura 77 Datos obtenidos de la muestra 3 con la tierra filtrada y los 3 sensores conectados. Fuente: Propia.....	83

CAPITULO I PROTOCOLO DE TESIS

1.1 ANTECEDENTES

Los avances tecnológicos de los últimos años han alcanzado a diferentes áreas del desarrollo como lo son la miniaturización de chips y de diversos sistemas microelectromecánicos, de igual manera a las tecnologías de Internet como lo han sido el surgimiento de la computación en la nube, el desarrollo y uso de servicios web, así como las distintas formas de almacenamiento y análisis de información. Últimamente, la mejora en los sensores que usan tecnologías RFID (Radio Frequency-ID) y UPnP (Universal Plug and Play) han permitido, que en su conjunto, se haya desarrollado el siguiente paso de evolución tecnológica denominada “El Internet De Las Cosas”.

Internet de las cosas o IoT (Internet of Things) se refiere a la conexión de objetos tecnológicos o que sean electrónicos e internet, este concepto tanto del avance de la tecnología como a la necesidad de compartir y controlar las cosas que nos rodean (González, 2013).

IoT puede estar constituido por distintos niveles de capas, sin embargo, el más básico está formado por tres diferentes niveles, los cuales según (Tonato Chuquimarca & Sinche Maita, 2022) serían los siguientes:

- **Capa de Percepción:** es la encargada de obtener la información del ambiente por medio de sensores (Acidez, humedad, conductividad eléctrica, movimiento, etc.) o con el uso de objetos inteligentes, el principal componente de esta capa son los dispositivos.
- **Capa de Red:** tiene por función la conexión de los dispositivos inteligentes, los dispositivos de red y los servidores. Se ocupa de transmitir y procesar los datos obtenidos por los sensores a los servidores que se encargaran de almacenarlos, todo esto mediante redes de comunicación cableadas o inalámbricas.

- **Capa de Aplicación:** es aquella donde se ubican todos los servicios que el sistema brindará a sus usuarios, Es la capa a la cual el usuario final accede y conoce casi en su totalidad, siendo el resto de la estructura (Percepción y Red) un proceso desconocido.

Estas capas permiten la sistematización de distintas actividades que normalmente no utilizaban tecnología y que ahora pueden optimizarse. Ya que el uso de tecnologías de la información proporciona distintas ventajas como pueden ser:

- Fácil acceso a los datos
- Adquisición de información
- Procesamiento rápido de la información
- Transmisión rápida
- Almacenamiento y análisis de la información
- Interactividad

Tecnología y sociedad son ahora compañeros inseparables, que se han fusionado para ofrecer un nuevo nivel de servicios. TI trata de computadores, dispositivos móviles, sensores, redes, de nuevos conceptos y paradigmas socio-tecnológicos (Parra-Valencia et al., 2017)

Existen diferentes campos donde IoT se presenta y estos pueden ser la adaptación generalizada de las distintas redes basadas en el protocolo IP, la miniaturización de dispositivos, los avances en el análisis de datos y surgimiento del cómputo en la nube, el área de la salud, aplicaciones y sitios web dedicados al aprendizaje, tecnologías aplicadas a la seguridad, optimización de los procesos del área de producción de las empresas, la agricultura, etc.

La aplicación de esta IoT, en los distintos procesos de producción, ha hecho que entremos en una nueva etapa conocida como industria 4.0 dónde se están introduciendo de manera masiva los sistemas “ciber físicos” como los mencionados

en párrafos anteriores, los cuales, conectan la industria con interfaces para distintos servicios aumentando así la productividad.

Al analizar los beneficios de IoT en la industria ha hecho que distintas personas se hayan propuesto la implementación de estos mismos principios en las zonas agrícolas, llevándonos a entrar a la agricultura 4.0.

Dada la importancia de la agricultura desde hace mucho tiempo se viene trabajando en sistemas que permitan optimizar procesos, para mejorar la producción. Estos han estado vinculados con las mejoras genéticas de las plantas, erradicación de plagas, técnicas de siembra entre otros.

Los cambios extremos en el clima, en muchas regiones del mundo y en especial las zonas tropicales afectan directamente el comportamiento de la productividad de los cultivos. A raíz de estas situaciones, se han venido desarrollando nuevas tecnologías que se deriven en conocer el estado de los cultivos y la calidad de la tierra que van desde las condiciones de humedad del suelo, temperatura, y niveles de radiación.

La posibilidad de la incorporación de las tecnologías relacionadas con el Internet de las Cosas (IoT), la recolección de información, el monitoreo y la evaluación de un sistema de cultivo resulta determinante para una efectiva toma de decisiones, mejora o corrección de la producción para alcanzar el completo abastecimiento mundial, aún más, cuando el inadecuado manejo de los recursos hídricos pone en peligro cubrir esta necesidad.

Los cultivos protegidos dan la posibilidad de controlar el clima y los aspectos físico-químicos, para lograr mejorar la productividad. (Gómez et al., 2017).

Aplicar todas estas tecnologías para mejorar la producción de los cultivos y la eficiencia agrícola establecen las condiciones para desarrollar esta agricultura 4.0.

A su vez, aplica un modelo matemático predictivo que controla variables como la humedad, la luz, temperatura, pH entre otros; logrando así ajustarlos a las necesidades propias del cultivo.

La incorporación de dispositivos microelectrónicos es fundamental para que las condiciones de la planta sean óptimas y el clima no determina su crecimiento, obteniendo resultados eficientes y eficaces en la agricultura 4.0, por ejemplo, al lograr que solo la cantidad de macronutrientes y micronutrientes se suministran a los cultivos y evitando proporcionar más o menos de los necesarios (Zapata & Cárdenas, 2019).

El uso de sensores y dispositivos microelectromecánicos permite medir distintas propiedades del suelo como son la composición química del suelo, el nivel de pH, nivel de humedad, cantidad de materia orgánica, etc., esto puede permitir realizar una mejor elección a la hora de elegir fertilizantes, el tipo de cultivo más idóneo al suelo que se tenga y otros aspectos que sin el uso de estos dispositivos no sería fácil reconocer, permitiendo lograr un mayor aprovechamiento del suelo.

La agricultura de precisión, definida por (García, E., & Flego, F. (2008). Agricultura de precisión) como “un conjunto de técnicas orientado a optimizar el uso de los insumos agrícolas (semillas, agroquímicos y correctivos) en función de la cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de la producción agrícola” nos dice que esta mejora se logra no solo midiendo la variabilidad de los datos del suelo sino también tomando acción con base a esas diferenciaciones de manera que se proporcione de manera correcta los nutrientes según las necesidades del cultivo.

1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La creación de una arquitectura IoT aplicable al agro veracruzano presenta diferentes retos a la hora de crear una estructura que recolecte datos del suelo veracruzano y los transmita a los distintos servicios en la nube para crear un mapa de condiciones del campo con los datos obtenidos, qué sea útil a la hora de seleccionar fertilizantes y los distintos productos enfocados a la mejora de la producción de productos agrícolas en Veracruz.

Para llegar a crear una arquitectura IoT aplicable al agro veracruzano se debe entender todo lo que conlleva poner en marcha esta tecnología como:

- Identificación de los sensores e instrumentos electrónicos idóneos para poner en marcha esta arquitectura.
- La configuración para poner en marcha estos dispositivos.
- Cómo se transmitirá los datos obtenidos de los distintos sensores a todos aquellos dispositivos que permitan su almacenamiento en la nube y los sitios web donde se consulte y analice esta información.
- Los costos económicos, juegan aquí, un papel importante ya que en muchas ocasiones el agro veracruzano y en especial, los agricultores o las distintas asociaciones agrícolas no cuentan con un presupuesto holgado que permita la adquisición de tecnología aplicable a sus procesos agrícolas.

Por lo tanto, los principales aspectos a tratar y resolver son:

- Selección de las variables necesarias para alimentar diversos sistemas de información.
- Definir la forma en que se va a recolectar los datos, es decir, el tipo de sensores a utilizar.

- Selección de los mecanismos de tratamiento y transmisión de la información de manera remota.
- Diseñar la arquitectura que conjugue sensores, controladores, transmisores y protocolos de comunicaciones necesarios para resolver la necesidad de información.

Uno de los aspectos principales a tomar en cuenta y que tiene mucho peso en este proyecto es el económico, por lo tanto, no sólo se debe de elegir los dispositivos electrónicos correctos para recolectar la información sino también que estos sean de bajo costo sin demeritar la calidad de la solución y que permitan ser adquiridos con mayor facilidad por las personas que trabajan en el área agrícola en Veracruz.

Es necesario que el sistema tenga gran usabilidad, a fin de que el usuario final conecte y configure el sistema sin ayuda especializada, disminuyendo con ello los costos de instalación, quedando al alcance de la mayoría de los productores agrícolas.

1.3 OBJETIVO

1.3.1 Objetivo general

Diseñar una arquitectura IoT escalable que permita al agro veracruzano avanzar hacia la Agricultura 4.0 a mediano plazo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar las variables que se requieren medir en el suelo para determinar su estado a fin de ser cultivable.
- Analizar e identificar los sensores necesarios para medir las variables sobre las condiciones del suelo que aumenten la producción agrícola.
- Investigar los mecanismos de procesamiento y transmisión de datos necesarios para almacenar la información en una base de datos remota.
- Diseñar la propuesta de arquitectura que resuelva el problema de recolección de datos sobre la condición del suelo y su almacenamiento remoto.
- Evaluar los costos económicos para la construcción de la arquitectura y los posibles esquemas de escalamiento.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La alimentación es una de las necesidades básicas del ser humano, esencial para tener un crecimiento pleno tanto físico como psicológico; y para lograr que ésta sea digna es necesario que se alcance su seguridad y soberanía.

La seguridad alimentaria se da cuando las personas tienen en todo momento, acceso físico y económico a cantidades suficientes de alimentos sanos para satisfacer las necesidades básicas de nutrientes, y lograr por consecuencia, una vida sana y activa.

Para alcanzar esta seguridad alimentaria los Programas Nacionales Estratégicos del CONACYT (PRONACES) hacen mucho énfasis en que se alcance, en el país su soberanía, entendiéndose esta como “el derecho de cada nación a mantener y desarrollar su capacidad de producir alimentos básicos, en lo concerniente a la diversidad cultural y productiva y el derecho a producir nuestro propio alimento en nuestro territorio” (Mariscal Méndez et al., 2017), esto con el objetivo de que nuestro país defina políticas y estrategias adecuadas para transformar los sistemas de la nación para poder producir alimentos saludables y culturalmente apropiados para la población.

Una de las estrategias para lograr este objetivo es lograr una optimización que permita la utilización idónea de los recursos de los suelos veracruzanos y, para ello, es necesario conocer las características de estos y es aquí donde se hace necesaria la construcción de una arquitectura IoT.

En el campo veracruzano, muchas personas se basan en los conocimientos tradicionales y la experiencia adquirida con los años sin considerar las características de los suelos para poder elegir fertilizantes y cualquier otro producto que enriquezca la tierra para mejorar los cultivos.

El diseño de una arquitectura IoT para la caracterización del suelo veracruzano es una necesidad si se quiere mejorar la eficiencia en la producción agrícola y la calidad de los productos que ahí se obtienen.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1 Alcances

- El proyecto se limitará a la investigación de diferentes tecnologías existentes para la implementación de un sistema de adquisición de datos necesarios para la caracterización de suelos cultivables, así como las posibles tecnologías de IoT que permitan su interconexión y transmisión de información a una base de datos.
- Se logrará definir una arquitectura escalable o ad-hoc que permite en el futuro su actualización, o la adquisición de nueva tecnología y ampliación de la ya existente de manera que pueda lograrse una mejora continua de la tecnología usada,

1.5.2 Limitaciones

- Debido a que la tecnología IoT es relativamente nueva y se desarrolla fuera de nuestro país, la limitación técnica observable es la posibilidad de no encontrar componentes accesibles.
- Aunado a lo anterior, el componente económico es otra limitante a la hora de elegir dispositivos ya que se necesita que además de ser compatibles tengan el menor costo posible.

1.6 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Qué arquitecturas IoT se han propuesto para obtener información del suelo en la agricultura?

¿Qué variables son importantes medir a fin de mejorar la producción agrícola?

¿Qué mecanismos son necesarios para validar la arquitectura propuesta?

1.7 HIPÓTESIS

Tras haber analizado la problemática y fijar los objetivos a lograr se establece el siguiente enunciado como hipótesis de trabajo:

Es posible crear una arquitectura IoT escalable que permita al agro veracruzano incursionar en la era de la Agricultura 4.0. Esto puede ser posible mediante la implementación de un sistema de adquisición de datos construido con componentes de bajo coste, pero no de baja calidad, permitiendo así, iniciar la caracterización de los suelos veracruzanos con la finalidad de desarrollar una agricultura de precisión a largo plazo.

1.8 METODOLOGÍA

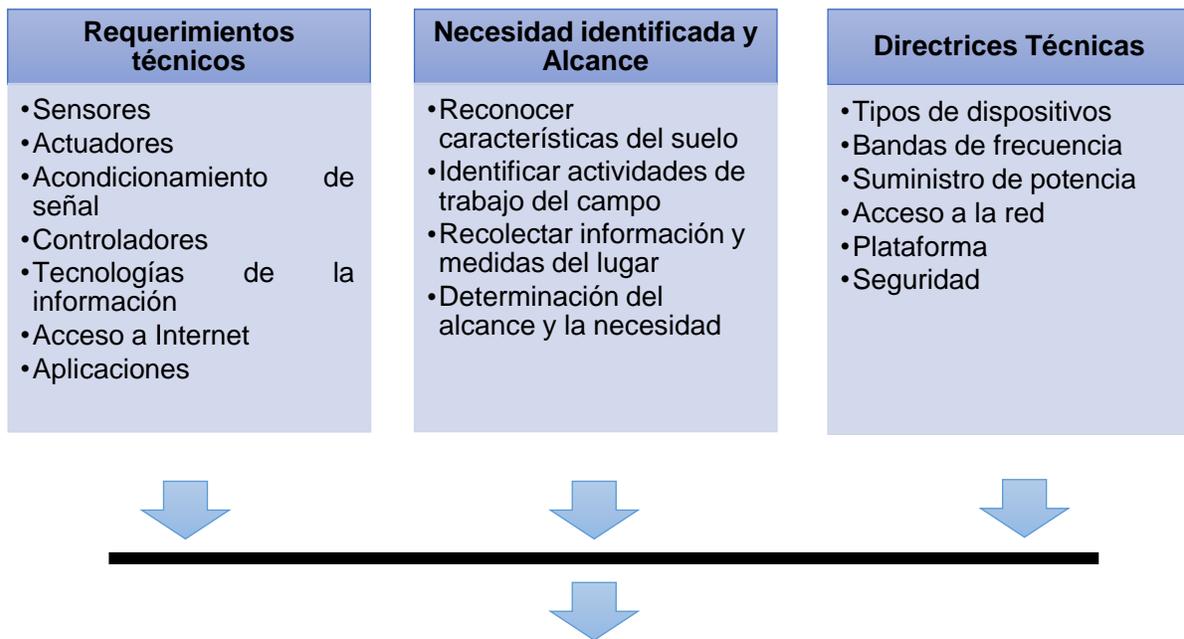
Establecer una metodología clara que permita una planificación y seguimiento de cada fase del proyecto es primordial para el desarrollo del mismo, de esta manera que se asegura que se puedan cumplir los objetivos en los plazos establecidos y con los recursos necesarios para el mismo.

A continuación, veremos que método se estableció de manera que se aborde la problemática a resolver de manera que se puedan obtener resultados fiables, usando técnicas útiles para la investigación, con un procedimiento claro para llevar a cabo la ejecución del proyecto, identificando además las variables dependientes e independientes con las que se trabajara.

1.8.1 Método y Tipo de investigación

El modelo de investigación usado para este proyecto será mixto con un énfasis cuantitativo-cualitativo, ya que en su mayoría se recabarán datos en un inicio, que permita comprender las características de los suelos a analizar para posteriormente identificar la clase de dispositivos necesarios para diseñar y poner en marcha la arquitectura IoT en el agro veracruzano.

Basado en la propuesta de (Ramírez Madrid, 2018) la metodología para la especificación del proyecto a desarrollar será la siguiente:



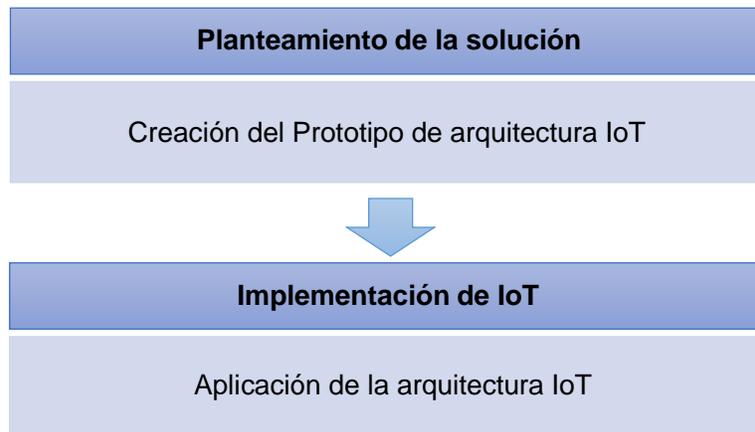


Figura 1 Método para el diseño de arquitectura IoT. Fuente: Propia

Teniendo ya el método con el que se trabajara y que será una guía para el desarrollo del proyecto es importante identificar que técnicas y herramientas serán necesarias y esto se identificara en la siguiente sección.

1.8.2 Técnicas y Herramientas

Algunos de los instrumentos que se prevé sean usados en el diseño de la arquitectura IoT son los siguientes:

- Fichas de resumen
- Procesador de textos
- Diario de campo
- Guion de entrevista
- Cuestionarios
- Cámaras
- Diagramas
- Planos
- Cuadros comparativos

1.8.3 Procedimiento

Los pasos a seguir que se tienen considerados para la construcción de la arquitectura IoT son los siguientes:

1. Hacer una investigación con el fin de poder encontrar información que permita comprender la composición de los suelos, el nivel de pH y de humedad y toda aquella información útil de los suelos que se necesita medir.
2. Analizar las condiciones y medidas de los lugares donde estará aplicando esta arquitectura para comprender así, los tipos de sensores necesarios para llevar a cabo la recolección de la información.
3. Hacer una búsqueda de información acerca de los dispositivos de hardware necesarios para poder poner en marcha la arquitectura que se va a diseñar.
4. Teniendo ya los dispositivos elegidos, buscar los requisitos, así como la configuración necesaria para que estos funcionen correctamente.
5. Basado en el tipo de información recolectada por los sensores, está se debe analizar para el almacenamiento y permita un análisis y toma de decisiones más acertada con base a esta.
6. Con la información obtenida se procederá a crear una arquitectura que permita identificar la estructura de trabajo identificando la ubicación de cada dispositivo de hardware, así como la cantidad que necesitaremos.

Ahora que ya se especificó cual será el procedimiento a seguir es necesario definir cuáles serán las variables que analizaremos y que permitirán comprender mejor las condiciones que los suelos que se estarán analizando.

1.8.4 Variables Independientes

Las variables independientes son aquellas que se tratan y analizan como posibles causas de una problemática a tratar en cualquier proyecto, al manipularlas podemos comprender mejor el fenómeno que estamos estudiando.

Estas son las que se han identificado y se trabajaran en el proyecto:

- Cantidad de pH del suelo
- Cantidad y tipos de componentes a analizar
- Medidas de los lugares donde se establecerán los sensores
- Grado de sensibilidad de los sensores

1.8.5 Variables Dependientes

Las variables dependientes son los fenómenos o efectos que se espera observar en respuesta a las variables independientes.

Aquí están algunas de las que se prevé se manejarán en la arquitectura.

- Cantidad de sensores a usar
- Posición de los sensores
- Medidas de separación entre sensores que permitan un óptimo registro de datos
- Número de dispositivos y sitios donde almacenar la información
- Tipo de dispositivos y sitios donde almacenar la información

1.9 RIESGOS Y CONSIDERACIONES ÉTICAS.

Entre los riesgos que presentan es no encontrar dispositivos adecuados para la caracterización de los suelos veracruzanos considerando el aspecto económico y la compatibilidad entre dispositivos.

Será necesario analizar la información personal y sensible de los individuos que intervendrán en el uso de esta arquitectura para tratarla con las medidas de seguridad correspondiente y no afectar a alguien el manejo inadecuado de la misma.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1 INTRODUCCIÓN

La agricultura se lleva a cabo involucrando diferentes actividades como son la siembra y/o cosecha tomando en cuenta un calendario predeterminado, aplicando técnicas basadas en conocimientos heredados de los antepasados y usando la experiencia propia del campesino.

Esta actividad humana es muy importante en México pues, más allá de la importancia económica, el sector agrícola es el motor para el desarrollo económico y social del país, ya que permite satisfacer las necesidades de alimentación de la población, como comenta (Mariscal Méndez et al., 2017), cada nación tiene el derecho de desarrollar su capacidad de producir los alimentos propios de su región, pero para ello, es necesario que se mejoren las técnicas y formas que se tienen para producir los mismos.

El proceso de producción agrícola desde la época prehispánica se ha visto enriquecido con diversos descubrimientos y técnicas que surgieron a partir de la experiencia, por ejemplo, la tradición de sembrar junto al maíz otras plantas como el frijol y la calabaza hicieron que el nitrógeno consumido por el maíz se recuperará gracias al frijol, esto permitió una mayor producción de los cultivos, el cual es el principio de la técnica denominada MILPA.

La agricultura en un inicio aprovechaba la lluvia de los lugares donde se sembraba (lluvias de temporal) o el agua de los ríos junto a los cuales se realizaban los cultivos, sin embargo, técnicas posteriores permitieron introducir sistemas de riego, terrazas o islas flotantes denominadas chinampas, que en su tiempo, fueron tecnologías que optimizaron la distribución de agua por los plantíos logrando así una mejora tanto en calidad como en cantidad de los alimentos.

En la era digital, la vida de las personas cambio por el desarrollo de tecnologías, su aplicación facilitó la optimización de áreas como comunicación, transporte, ocio, etc., y estas innovaciones en otras áreas sociales, como la producción de bienes y servicios mejoraron la satisfacción de las necesidades de cada individuo. La agricultura, cómo encargada de proporcionar los alimentos que consumirá la población, se ha visto también beneficiada con la llegada de estos nuevos artículos tecnológicos permitiendo así que surja la agricultura de precisión.

2.2 AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Las características del suelo y de los cultivos tiene diferencias que permiten que las cosechas varíen en el tiempo y espacio por lo tanto se necesita atender estas desigualdades de acuerdo con las características específicas de cada sitio y es aquí donde entra la agricultura de precisión definida como “conjunto de técnicas orientado a optimizar el uso de los insumos agrícolas (semillas, agroquímicos y

correctivos) en función de la cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de la producción agrícola.” (Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur & Agricultura (IICA), 2006), esta optimización se logra distribuyendo de manera correcta los insumos necesarios en el proceso de producción, dependiendo del potencial y de la necesidad de las áreas de manejo.

Un ejemplo es que en lugar de aplicar fertilizantes o pesticidas de manera uniforme, de la manera que tradicionalmente se maneja, la agricultura de precisión ayudan a los productores a mejorar la “puntería” y hacer uso de estos insumos en los sitios donde solo sean necesarios o existan algunas deficiencias que deban corregirse, para que esto sea posible, es necesario contar con datos que permitan tomar las decisiones con más certeza, para ello es necesario contar con información directamente del campo y que sea almacenada y/o distribuida por medio del Internet y es aquí donde la tecnología IoT es aplicable a la agricultura para lograr mejores rendimientos de la producción.

En los últimos años, se han desarrollado una gran diversidad de dispositivos electrónicos que ayudan en la agricultura de precisión, entre ellos, se encuentran los que realizan distintos tipos de análisis, normalmente estos dispositivos son llamados sensores, y de acuerdo a (Alberto et al., 2014) se pueden definir cómo: “Un dispositivo que responde a un estímulo físico, mide la cantidad del estímulo físico, y la convierte en una señal generalmente eléctrica, que puede ser leída por un observador o por un instrumento, en base a esta definición, es básicamente un dispositivo eléctrico”.

Existen una gran diversidad de sensores para medir diferentes variables, de diferente naturaleza, como los físicos para medir longitud, temperatura, químicas para detección de sustancias específicas o peligrosas o microsensores capaces de medir dichas variables en sistemas biológicos, los biosensores que utilizan segmentos vivos o el resultado de seres vivos para la estimación, sensores de temperatura, de proximidad para identificar cualquier movimiento, de presión para estimar el peso de un gas o fluido, ópticos que se utilizan para distinguir energías electromagnéticas como la luz, de fibra óptica utilizados para cuantificar fotones, sensores de humedad, etc. (Sureshkumar et al., 2018)

Los sensores disponibles, considerados más relevantes en la agricultura de precisión, son los que cuantifican elementos como nitrógeno, calcio o la acidez del suelo (pH) y con ellos, junto con otros dispositivos electrónicos y distintas tecnologías, se definen arquitecturas que analizan los suelos para tomar decisiones más apropiadas en fertilizantes y tipos de cultivo.

2.3 EL SUELO

Existen distintos tipos de suelo catalogados en función de varios factores como son: su composición química, cantidad de materia orgánica, etc., varios sistemas de clasificación de los suelos han surgido a lo largo de los años sin embargo uno de los más importantes es la clasificación FAO-UNESCO (1975) que en muchos países se ha utilizado.

Según (Castellanos, 2000) los órdenes de suelo de la clasificación FAO-UNESCO son las siguientes:

Acrisol. Es un suelo muy ácido o pobre que se da en zonas tropicales o templadas, su vegetación puede ser de selva o de bosque, su color puede ser amarillo o rojo y esta propenso a la erosión.

Andosol. Es un suelo que proviene de cenizas volcánicas, se da en zonas templadas o de selva, su vegetación esta compuesta por pinos, encinos o abetos, su capa superficial es de color negro y presenta problemas de fijación de fósforo.

Arenosol. En áreas tropicales o templadas, este suelo presenta mucha arena, como su nombre indica, su vegetación es escasa y puede ser de selva, bosque o matorral, no son suelos muy fértiles y está propenso a la erosión moderada a alta.

Cambisol. Este suelo es de formación más reciente, se encuentra en cualquier clima y en el crece cualquier tipo de planta, en el subsuelo presentan capas con acumulaciones de arcilla, calcio, etc., presentan una probabilidad de erosión de moderada a alta.

Kastañozem. Estos suelos son altamente fértiles ya que son ricos en materia orgánica y son ideales para la producción agrícola.

Phaeozem. Estos suelos son considerados fértiles y se dan en zonas tropicales o templadas, en ellos puede crecer cualquier tipo de vegetación, son suelos de montaña y según donde se ubiquen dependerá su erosión.

Fluvisol. Son suelos formados por depósitos provenientes de inundaciones periódicas de arroyos o ríos, están en cualquier clima, especialmente en zonas con acumulación de agua, donde hay plantas de selva o matorrales y pastizales.

Gleysol. Se forman en lugares donde se acumula agua estancada producto de lluvias. Son de colores con tonos azul, verde o gris, se encuentran casi en cualquier tipo de clima y su vegetación, por lo general, es de pastizales o cañaverales, son poco propensos a la erosión.

Histosol. Estos suelos se dan en climas cálidos o templados donde haya una humedad considerable, tienen mucha materia orgánica ya que se encuentran en zonas de pantanos, no son susceptibles a la erosión.

Litosol. Son suelos no muy desarrollados con una profundidad de no más de 10 cm, que se puede encontrar en cualquier tipo de clima y con crecimiento de plantas muy variada, son suelos de montaña y su erosión depende de dónde se encuentren ubicados.

Nitosol. Su origen proviene de rocas intrusivas básicas o lavas volcánicas básicas, las plantas que en él crecen son de selva o bosque y, son buenos para cultivos de caña de azúcar, arroz y plátano. Su probabilidad de erosión es moderada a alta.

Planosol. Este suelo es poco fértil que impide el crecimiento de las raíces, tiene una acidez alta, son muy propensos a la erosión y su vegetación por lo general es de pastizal, se da en climas semiáridos o templados.

Regosol. Son suelos de color claro, susceptibles a la erosión dependiendo del terreno en el que se encuentren, están presentes en múltiples climas y las plantas que en él crecen son muy variadas.

Rendzina. Son suelos compuestos de materia orgánica, se encuentran normalmente sobre materiales ricos en calcio, son moderadamente propensos a la erosión y se encuentran en climas templados o cálidos.

Solonchak. Están presentes en lugares donde haya acumulaciones de sales solubles, de origen no sódico, las plantas que ahí crece deben tener una tolerancia a las sales, no son propensos a la erosión.

Vertisol. Son suelos duros, arcillosos a los cuales se les hace muchas grietas cuando no llueve por mucho tiempo, pueden ser de color negro, rojizos o grises, no son propensos a la erosión y suelen estar en climas cálidos o templados.

Xerosol. En ellos la vegetación que crece es de tipo matorral desértico, se realiza la agricultura exitosamente si se tiene alguna fuente de agua con los que se puedan regar.

Yermosol. Este es el suelo que se encuentra en los climas desérticos, y se encuentran por lo general en el norte de México, sí cerca de ellos hay alguna fuente acuífera con los que pueden ser regados se puede dar la producción agrícola.

2.4 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS

Los contenidos en macronutrientes y micronutrientes son parte esencial en la composición de los suelos ya que estos indican en gran manera, qué tan preparados están estos para la producción agrícola, sin embargo, existen otras características que son necesarias a tomar en cuenta, como:

2.4.1 Color del suelo

El color del suelo no suele afectar directamente al crecimiento de las plantas, pues depende mucho de la temperatura y la humedad de para considerarse en los procesos agrícolas.

Los de color más oscuro tienen mucha humedad, los rojos se encuentran en zonas tropicales y con contenido de hematita, los verde y olivo tienen presencia de hierro en forma reducida, aquellos con matices azules, grises o verdosos que pueden tener vetas o no, se forman debido a que se encontraron en situación de inundación y

carencia de aire por un largo periodo, los blancos se forman por la falta de intemperización de las rocas que los formaron.

2.4.2 Textura del suelo

Esta es una característica importante del suelo y (Rucks et al., 2004) explica que la textura se debe a la cantidad de materiales que forman el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla. Para determinar la textura hay que determinar el porcentaje de cada elemento que forma ese suelo, la cantidad de arena gruesa, arena fina, limo y arcilla, grava y gravilla.

2.4.3 Porosidad

El crecimiento de las plantas, según (Rucks et al., 2004) está determinado por factores atmosféricos, biológicos y edáficos. Estos últimos son físicos y químicos en cambio en los primeros son las propiedades del suelo quienes determinan el crecimiento radicular y la dinámica del aire y del agua. Éstas se establecen por las características del espacio del suelo que no está ocupado por sólidos, denominado espacio poroso. Dentro de éste existen macroporos y microporos.

Los macroporos no retienen el agua contra la fuerza de la gravedad, y por lo tanto son los responsables del drenaje y la aireación del suelo, los microporos son los que retienen agua, parte de la cual es disponible para las plantas. La porosidad total es la suma de macroporos y microporos.

2.5 ANÁLISIS DEL SUELO

Para conocer las características del suelo es necesario hacer un análisis que permita distinguir los rasgos y componentes que lo forman, esta actividad debe realizarse, de preferencia, anualmente ya que, dependiendo del tipo de cultivo para el que vaya a utilizarse el suelo se determinan los requerimientos de fertilización.

La muestra es importante que represente las características del terreno a evaluar y, por ello (Castellanos et al., 2019) indica que el primer paso es sectorizar en diferentes lotes la superficie donde se analizará, considerando las diferencias en color, textura, pendiente del terreno, salinidad, cultivo anterior y uso de mejoradores o enmiendas. Una vez hecho esto, se examina cada sector en forma independiente, evitando mezclar secciones diferentes.

La porción de tierra que se envía al laboratorio proviene de 15 a 25 submuestras de cada parte del terreno. Todas deben recolectarse de 30 cm de profundidad, depositarse en una cubeta de plástico y luego vierten en un plástico para preparar una mezcla homogénea de la que se toma un kg para enviarlo a análisis. La muestra debe de identificarse correctamente, indicando el cultivo a establecer, el cultivo anterior, la meta de rendimiento esperada, e indicar si se incorporaron residuos de

cosecha, estiércol, composta u otro abono orgánico y, finalmente, incluir una dirección de correo electrónico y número de teléfono para contactar al propietario o responsable.

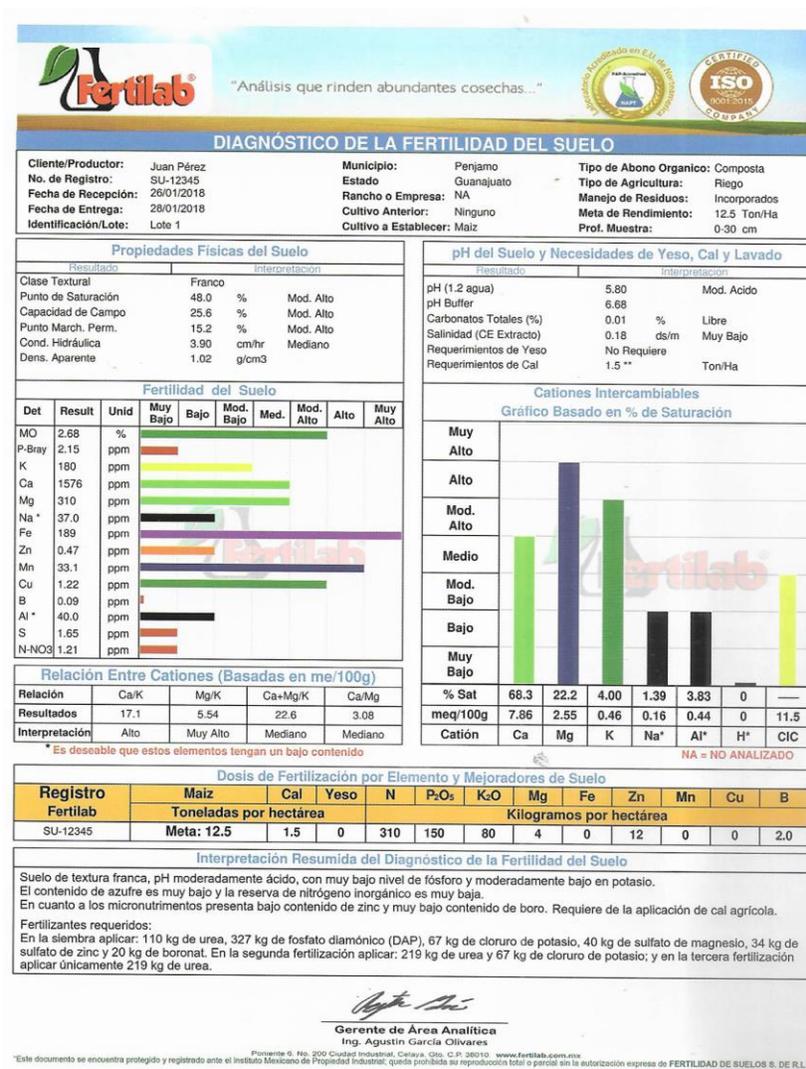


Figura 2 Ejemplo de un reporte de un análisis de fertilidad del suelo. Fuente: ¿Cómo crece y se nutre una planta de maíz? (p. 63) por Castellanos et al., 2019, Fertilab.

En el reporte de fertilidad existen diferentes componentes que forman el suelo como son, calcio, potasio, fósforo, nitrógeno, etc. que, junto con las propiedades de los suelos, son características que se deben considerar para cualquier proyecto agrícola, pero para realizar este tipo de análisis, muchas veces se requiere de empresas que ofrecen sus servicios con altos costos monetarios y que pueden llegar, a necesitar tiempo considerable para poder realizarlo y detectar las necesidades de fertilización.

2.6 INTERNET DE LAS COSAS (IoT)

Internet de las cosas o IoT (Internet of Things) se refiere a la conexión de objetos tecnológicos o electrónicos e internet, este concepto se deriva del avance de la tecnología y a la necesidad de compartir y controlar las cosas que se encuentran al rededor (González, 2013).

El IoT está conformado por tres diferentes capas o niveles:

- El nivel básico corresponde a la etapa de sensores, que obtienen el valor de los macronutrientes que se requiere medir o procesar. Todo lo que presentan estos dispositivos corresponde a diferentes tipos de datos y es obtenida en diversos formatos.
- El nivel intermedio corresponde a la capa de comunicaciones, conformada por infraestructura de redes cableadas e inalámbricas que son el mecanismo para transferir toda la información recolectada a la última capa.
- El nivel superior está conformado a su vez por tres capas denominadas: capa de tecnología, capa de middleware y la capa de aplicación, que en conjunto son las que proporcionan toda la funcionalidad de las soluciones IoT al usuario final, es decir, son el cerebro de los sistemas de control y automatización.

La aplicación de estas diferentes capas permite actividades que anteriormente no se habían automatizado principalmente por la inexistencia de tecnologías que recaban la información y posteriormente procesarla, pero gracias a la aparición de las arquitecturas IoT hoy en día todos estos procesos se optimizan. El uso de las tecnologías de la información en estas áreas de aplicación proporciona distintos beneficios como:

- Adquisición de información en ubicaciones donde anteriormente no era posible.
- Fácil acceso a los datos, al estar almacenados en la nube y están disponibles en todo tiempo.
- Procesamiento rápido de la información mediante la utilización de tecnologías de clúster u otros mecanismos que aumenten el poder de cómputo.
- La información es transmitida con mayor rapidez, de manera bidireccional entre la fuente de datos y la unidad de procesamiento y control.
- Logra obtener un conocimiento oculto de la información recabada mediante el uso de técnicas de minería, gracias a que los datos están disponibles y almacenados en la nube
- Se realiza monitoreo en tiempo real, aumentando la interactividad de los sistemas.

En las últimas décadas la tecnología y la sociedad se han convertido en compañeros inseparables, se han fusionado para ofrecer un nuevo nivel de servicios y un estatus de vida mucho más cómodo. En particular las referentes a la Información (TIC's) no es sólo hablar de computadoras, dispositivos móviles, sensores, redes, entre otras similares sino también abarca nuevos conceptos y paradigmas socio-tecnológicos (Parra-Valencia et al., 2017)

Existen diferentes campos donde IoT ha impactado y ha venido a convertirse en una base tecnológica necesaria, y esto puede deberse a la adaptación generalizada de las distintas redes basadas en el protocolo IP, la miniaturización de dispositivos, los avances en el análisis de datos y el surgimiento del cómputo en la nube. Entre los campos en los que ha incursionado están: el área de la salud, el aprendizaje a distancia, las tecnologías aplicadas a la seguridad personal e infraestructuras, optimización de los procesos del área de producción de las empresas y como objeto de este trabajo, la agricultura, entre muchos otros.

La aplicación de esta tecnología en los distintos procesos de producción ha llevado a definir una nueva etapa de evolución conocida como la industria 4.0, donde se están introduciendo de manera masiva los sistemas “ciber físicos” que conectan la industria con interfaces para distintos servicios aumentando así la productividad.

2.7 ARQUITECTURAS

Una arquitectura de IoT es un sistema de elementos constituyentes, estructura de red y tecnologías de nube que funcionan de conformidad con los protocolos y estándares de seguridad establecidos, además, se distinguen los dispositivos y sensores de las capas de la arquitectura del Internet de las Cosas (IoT) para rastrear la consistencia de un sistema a través de protocolos y puertas de enlace (Guineape, 2022).

Dada la gran variedad de dispositivos que existen en el campo de IoT, así como las distintas formas de integrarlos con otras plataformas de infraestructura y aprovisionamiento de servicios, deben existir arquitecturas estándar que sirvan de referencia al momento de diseñar arquitecturas que pudieran ser aplicadas a la agricultura (Pérez et al., 2019), muchos de los dispositivos y servicios existentes han sido agrupados mediante la definición de capas, y, dependiendo del número de que las constituyen se han definido sus clasificaciones.

Según (Vargas & Cecilia, 2019) pueden ser clasificadas según el número de niveles diferenciados que las constituyen, y en donde contienen 3, 4 y hasta 5, en la imagen que se muestra a continuación se observan las secciones que constituye cada arquitectura:

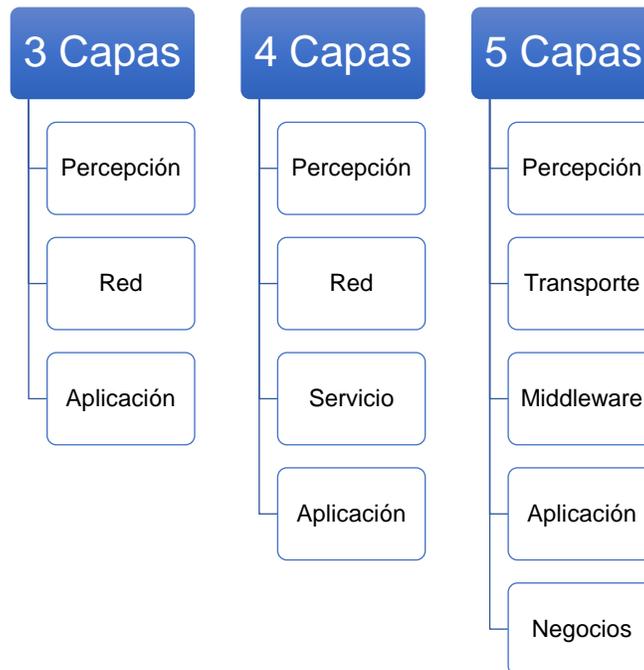


Figura 3 Arquitecturas IoT. Fuente: <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/129858>

2.7.1 Arquitectura de 3 capas

Está conformada por las capas de percepción, de red y de aplicación.

- **Capa de percepción:** En ella se incluyen todos los dispositivos físicos de IoT (sensores y actuadores). Su función principal es identificar dispositivos, es decir, identificar inequívocamente los sensores y actuadores para conocer el origen y destino de los datos transmitidos, cuando los datos se recopilan se transforman en señales digitales para pasarlos a la siguiente capa. Así, esta capa recibe la información de la capa superior para llevarla a cada módulo actuador.
- **Capa de red:** Es responsable de transportar la información por la nube desde la capa de percepción hasta la capa de aplicación y viceversa, esto lo lleva a cabo mediante la interconexión de dispositivos físicos, de red y servidores.
- **Capa de aplicación:** En esta parte de la arquitectura están los programas (software) y servicios del usuario, que usan la información transportada por la capa inmediatamente inferior y si hay que enviar una respuesta a la capa de percepción. Adicionalmente a estas tareas, permite compartir datos con otras aplicaciones, servicios, sistemas y plataformas.

2.7.2 Arquitectura de 4 capas

Esta arquitectura incluye, además de las tres capas vistas antes, la de servicio, que se presenta entre la de red y la de aplicación.

- Capa de servicio: almacena los datos de la capa de red y extrae información de valor del procesamiento y análisis para tomar decisiones automáticas basadas en los resultados generados. Administrar y proporciona un conjunto diverso de servicios a las otras secciones.

2.7.3 Arquitectura de 5 capas

Finalmente, esta arquitectura, incluye la capa de negocios adicional a lo anteriormente visto, además, aquí la capa de servicio es llamada middleware y la de red se denomina transporte.

- Capa de negocios: Administra todo el sistema de IoT, apoya el proceso de toma de decisiones incluidas las aplicaciones, los modelos de negocio y la privacidad.

Hasta el momento existen distintas arquitecturas que han sido creadas para proyectos de Agricultura de precisión. A continuación, se presentan algunas de las que han sido recuperadas y consideradas de interés para este proyecto.

2.8 ESTADO DEL ARTE

En la agricultura de precisión se han creado distintas arquitecturas integrando sensores, tecnologías de comunicación y transmisión de datos y, dispositivos de medición que recogen y procesan la información registrada por los sensores, el objetivo de este estado del arte es examinar la información obtenida de la revisión sistemática de literatura realizada para conocer las distintas tecnologías y arquitecturas creadas para analizar los suelos y que luego se verán.

2.8.1 Metodología

Para realizar la revisión sistemática de las distintas lecturas y documentos acerca de las arquitecturas IoT y tecnologías asociadas al análisis de los suelos se utilizó la metodología de Kitchenham y Charters (Carrizo et al., 2018), como guía para este proceso de investigación.

Este procedimiento comienza con la determinación de las preguntas que guiarán la investigación y con ello clasificar el material bibliográfico de una mejor manera. Como resultado de este proceso se generaron cuatro preguntas generales y quince sub-preguntas que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1.- Preguntas de investigación. Fuente: Propia

Preguntas	Sub-preguntas
P1. ¿Como se integra la arquitectura?	¿Qué se presenta?: una arquitectura, una red o sensores En caso de ser una arquitectura, ¿Cuántas y cuales capas define? En caso de ser red, ¿En qué tecnología está basada?
P2. ¿Con que métodos y técnicas se realizan las lecturas del sistema?	¿Cuáles son las variables del suelo que se están midiendo? ¿Con que frecuencia se hacen las mediciones? ¿Se requiere un proceso extra para obtener el valor del parámetro medido? ¿Qué dispositivos de medición se están usando?
P3. ¿Como utiliza la información del sistema?	¿La información obtenida es de forma analógica o digital? ¿Se requiere de algún dispositivo para procesar la información obtenida? ¿Qué tecnología utilizan para la transmisión de datos? ¿La información se puede registrar de manera local? ¿Para qué se está usando la información obtenida? Identifica algún tema abierto
P4 Que aporta ese artículo a mi trabajo	¿Que hicieron los autores? ¿Qué aspecto puede resolver en mi trabajo? ¿Como podría serme de utilidad?

Como siguiente paso en el procedimiento se definieron las cadenas de búsqueda a partir de la combinación de las palabras claves que se consideraron más relevante de acuerdo con el tema tratado. Estas se conformaron mediante la adición o eliminación de términos que presentaron mejores resultados al momento de ejecutarlas, las cadenas de búsqueda utilizadas se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2.- Cadenas de búsqueda. Fuente: Propia

IOT AND (architecture or system) AND (measurement or sensing) AND (soil variables) AND (precision agriculture)
(Underground sensing) AND (Sensors for real-time monitoring of soil) AND (IOT) AND (Wireless Sensor Network) AND (architecture or system) AND (measurement or sensing) AND (soil variables) AND (precision agriculture)
(Sensors for real-time monitoring of soil) AND (IOT) AND (Wireless Sensor Network) AND (architecture or system) AND (measurement or sensing) AND (soil variables) AND (precision agriculture) AND (Mexico) AND (soil components)
(agriculture) AND (soil) AND (Wireless Sensor Network) AND (architecture or system) AND (soil variables) AND (precision agriculture) AND (soil components)

A continuación, se definieron criterios de exclusión que permitieron afinar la búsqueda y discriminar los resultados que no eran relevantes para la investigación, los términos que sirvieron para dicha diferenciación fueron:

- machine learning
- irrigation
- data mining

En la Tabla 3, se muestran las bases de datos donde se ejecutaron las cadenas mencionadas anteriormente, así como la cantidad de resultados que se obtuvieron. En primer lugar, se muestran los resultados sin criterio de exclusión 7,978 artículos totales; después se limitó la búsqueda a artículos publicados en los últimos cinco años quedando solo 6,404; luego, se seleccionaron solo aquellos relevantes a la investigación realizada (677) y que contestaban las preguntas de investigación (44), obteniendo finalmente 16 artículos para nuestro estudio.

Tabla 3.- Bases de datos utilizadas y artículos encontrados en cada una. Fuente: Propia.

	Google Académico	Springer	Science direct	IEEE	ACM	Total
Aplicación de la cadena de búsqueda	3,910	1231	180	452	2205	7,978
Selección por fecha	3,120	1204	163	212	1705	6,404
Aplicación de criterios para descartar	193	175	62	168	79	677
Relevancia	5	15	7	7	10	44
Contestan las preguntas de investigación	4	7	2	4	3	20
Encontrados	4	5	2	2	3	16

Una vez recuperados los distintos documentos, se construyó una matriz para el procesamiento y clasificación de los artículos. La información contenida en ellos:

Subpreguntas	Constructos	A1 An architecture and its tools for integrating IoT and data in agriculture scenarios	A2 Smart agriculture system using IoT	A3 A model for productivity and soil fertility prediction oriented to various agriculture	A4 Design and implementation of a cloud-based IoT scheme for precision agriculture	A5 An IoT-based Insular Monitoring Architecture for Smart Viticulture	A6 Internet of things to networks smart devices for ecosystem monitoring	A7 An IoT-based system for precision farming	A8 Signals in the Soil: An Introduction to Wireless Underground Communications	A9 Study of Wireless Communications Technologies on Internet of Things for Precision Agriculture	A10 Smart Sensing System for Precision Agriculture	A11 Portable, wireless, and effective Internet of things-based sensors for precision agriculture	A12 IoT Architecture Based on Wireless Sensor Network Applied to Agricultural Monitoring: A Case of Study of Cassia Crops in Ecuador	A13 SENTE SENSING AND MANAGEMENT OF OT-BASED AGRICULTURAL ELEMENTS	A14 Propuesta de una Arquitectura para Soportada en IoT	A15 IMPROVING SUSTAINABILITY IN AGRICULTURE USING WIRELESS SENSOR NETWORKS	A16 The Analysis of Different Types of IoT Sensors for smart agriculture and Management		
¿Como se integra la arquitectura?	¿Qué se presenta? una arquitectura, una red o sensores	arquitectura red	x		x	x		x					x	x	x	x		8	
		sensores	x	x		x	x	x	x				x	x	x	x	x		3
		reflectometría																	11
		infrarrojo			x			x											2
	En caso de ser una arquitectura, ¿Cuántas y cuáles capas define?	3				x			x				x						3
		2	x													x			2
		No es clara			x												x		1
																			1
																			0
	En caso de ser red, ¿En qué tecnología está basada?	LSN						x											1
	WUC							x										1	
																		0	
¿Con que métodos y técnicas realizan las lecturas del sistema?	PH			x								x	x						3
	humedad	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x				11
	Dioxido de carbono											x		x					2
	Oxigeno											x							1
	¿Cuáles son las variables del suelo que se están midiendo?	presión	x		x														2
		Temperatura	x	x		x	x		x				x	x	x	x	x		10
		Luminosidad	x				x						x	x	x	x			6
		Conductividad eléctrica			x									x					2
		Intensidad Luvia				x	x	x											3
		Luz ultravioleta																	1
		Viento				x	x												2
		24 horas		x															1
	¿Con que frecuencia se hacen las mediciones?	Tempo real						x	x										3
		10 minutos																	1
		4 horas													x				1
	Por lapsos de tiempo				x							x						2	
	No menciona	x		x		x						x						4	
¿Se requiere un proceso extra para obtener el valor del parámetro medido?																		0	
																		0	
¿Qué dispositivos de medición se están usando?	IMDFPOL							x										1	
	Raspberry Pi	x			x	x												3	
	Arduino		x						x									3	
	Xbee											x						1	
	No menciona			x														1	

Figura 4 Parte de la Matriz de clasificación utilizada para examinar los documentos encontrados. Fuente: Propia.

El análisis de los datos contenidos en los distintos documentos encontrados en la investigación; a través de la matriz de clasificación de la Figura 1, permitió llegar a los resultados que se presentan en la siguiente sección.

2.8.2 Resultados

A continuación, se presentan los resultados a cada una de las preguntas generales que se plantearon al inicio de la investigación, estos se obtuvieron tras realizar el análisis a la matriz con los estudios recopilados en la revisión sistemática de literatura.

P1. ¿Como se integra la arquitectura?

En la Figura 5, se muestra que en la mayor parte de los proyectos descritos en los documentos lo que se utiliza como solución a las diversas problemáticas son arquitecturas IoT, por ejemplo (Gaikwad et al., 2021) nos muestra una sistema en la cual mediante la combinación de un kit de Arduino y los sensores integrados a este, así como una aplicación para teléfonos móviles y un servidor de base de datos donde se analizan variables como humedad y temperatura del suelo con el fin de ser utilizado en la agricultura de precisión, otras tecnologías encontradas fueron, sensores en solitario como el de (Mishra et al., 2019) usado en la India la medición de temperatura y humedad para reducir las dificultades de los agricultores indios y

brindar precisión en la medición de los parámetros de los cultivos, con valores precisos tomados en diferentes intervalos de tiempo, en los análisis descritos por (Li et al., 2019) la reflectometría hace uso de la propiedad de eléctrica del suelo para medir la humedad, o el infrarrojo para medir calor y fluctuaciones de humedad, ambos proyectos se usan en ecosistemas sin embargo es aplicable a la agricultura.

En cuanto al número de capas de las cuales están formadas las arquitecturas encontradas, en la Figura 6 se nota, que en la mitad son de 3 capas como la arquitectura implementada por (Khattab et al., 2016) que se compone de: una capa frontal que recopila la información; una capa de puerta de enlace que conecta la capa de front-end a Internet y una capa de backend en la que se lleva a cabo el almacenamiento y procesamiento de datos, las arquitecturas de 4 capas son utilizadas en menor cantidad como en el proyecto de (Montoya et al., 2017) en la cual su arquitectura proponen una capa de captura, capa de almacenamiento, capa de procesamiento y la capa de consulta, sin embargo en algunos casos las capas no están definidas de manera concreta por el autor como en el caso de (Gresl, 2020) el cual describe el diseño e implementación de las diversas tecnologías que conforman su arquitectura pero no delimita las capas que forman su arquitectura.

P2. ¿Con que métodos y técnicas se realizan las lecturas del sistema?

En la Figura 7 se ve que, aunque muchas variables registradas en las distintas arquitecturas las que más se miden fueron humedad, temperatura y luminosidad, solo algunos proyectos usan sensores para medir el pH, importante para el crecimiento de las plantas.

Los dispositivos de medición más usados son raspberry pi como se muestra en la Figura 8, por ejemplo en el proyecto de (Voutos et al., 2018) que hace uso de la Raspberry Pi 3, o en otros casos Arduino, utilizado en el sensor portable de (Gsangaya et al., 2020) el cual uso la placa Arduino Uno R3, sin embargo algunos otros proyectos utilizan dispositivos como Xbee (Guillermo et al., 2019) en el cual sirve como nodo comunicador que recibe los datos y los envía a la puerta de enlace, o iMIGPDL un terminal inteligente de adquisición de datos que conecta los sensores y los instrumentos de observación (Li et al., 2019).

P3. ¿Como utiliza la información del sistema?

Aquí se encontró que la mayoría de los dispositivos hacen uso de instrumentos en los cuales la información obtenida es digital y que se representa de manera más clara en la Figura 9, por ejemplo en el sistema creado por (Mishra et al., 2019) se usaron los sensores de temperatura y humedad que tienen pines para datos digitales (aunque también contaba con pines para datos analógicos), sin embargo, en la arquitectura de (Prakash, 2021) los sensores obtenían la información de forma analógica la cual se envía al microprocesador para su transformación digital.

Para procesar y visualizar la información se utilizaron diferentes dispositivos como los celulares, los cuales, en la Figura 10, se muestran como los predominantes en los diferentes proyectos, en la arquitectura de (Helfer et al., 2019) el asistente móvil en el cual se visualizan los datos procesados está diseñado para teléfonos inteligentes Android e iOS, en el caso de la arquitectura de (Prakash, 2021) los usuarios acceden a los datos desde la nube iniciando sesión y por el formato de la información presentada, deben hacerlo desde una computadora, sin embargo otros proyectos decidieron crear sitios web accesibles tanto para celulares y computadoras como el caso de (Guillermo et al., 2019) el cual desarrolló su capa de aplicación de manera que permita la accesibilidad desde Android, iOS, Windows Phone y navegador web, a través de lenguajes de programación como HTML, CSS y AngularJS.

En la figura 11, se observa que la tecnología dominante en los diferentes proyectos para transmitir información es a través de wifi con un 73%, solo en algunos casos usaron otras como el bluetooth que en el caso de (Celestrini et al., 2019) lo incluyó entre las varias tecnologías de conectividad que usa, el GSM de la telefonía móvil para conectarse a Internet (Voutos et al., 2018) o el Transceptor nRF24L01 banda ISM de 2,4 GHz que fue elegido para la comunicación inalámbrica por (Khattab et al., 2016) debido a su bajo consumo de energía.

En la mayoría de los proyectos el almacenamiento se hizo en línea usando los diferentes servicios en la nube que existen abarcando un 77% como se nota en la Figura 12, sin embargo, en proyectos como el de (Gaikwad et al., 2021) que al ser un sensor portable debe tener modos de recopilación de datos en línea y fuera de línea para el caso de situaciones donde no se cuente con red se almacene la información de manera local hasta ser enviada a los servicios en línea.

En las diferentes arquitecturas y sensores analizados el uso que se le daba a la información, por lo general, recaía en 2 tipos de uso tal como se muestra en la figura 13, el primer uso fue el simple monitoreo de variables para optimización de recursos como en el caso de (Mishra et al., 2019) que al ser un sensor todavía muy sencillo (ya que se sigue trabajando en mejoras) únicamente se dedica a recolectar datos sobre humedad y temperatura, sin embargo, en arquitecturas más avanzadas se realiza una aplicación de reglas automatizadas con los datos obtenidos, ejemplo de ello es (Khattab et al., 2016) que después del análisis de los datos obtenidos por los sensores, el sistema es capaz de tomar la acción adecuada, como rociar químicos o fertilizantes, regar las plantas, etc. Esto se implementa a través de un conjunto de actuadores y controladores mecánicos que se utilizan para gestionar bombas y rociadores.

P4 ¿Que aporta ese artículo a mi trabajo?

En conjunto, la literatura obtenida mediante la búsqueda sistemática realizó un aporte significativo en los siguientes rubros:

- Conocimiento de las arquitecturas IoT y sus diferentes configuraciones
- Tipos de sensores utilizados e información obtenida de los mismos
- Proceso de recolección de información de los sensores para posterior análisis y monitoreo
- Conocimiento sobre redes de sensores subterráneas, concepto, funcionamiento y la diferencia entre estas y los sensores que serán necesarios para hacer los análisis.
- Hasta el momento no se han documentado mediante publicaciones en las bases de datos consultadas arquitecturas, que a un bajo costo analicen los nutrientes del suelo dedicado a los cultivos.

2.8.3 Conclusiones

Los sensores y las distintas arquitecturas IoT que hasta el momento existen, han sido creadas para lograr la optimización en el uso de recursos agrícolas, así como para mejorar la producción del campo. Sin embargo, muchos de estos proyectos utilizan una alta cantidad de recursos económicos y solo en algunos casos el desarrollo a bajo costo fue determinante.

Además, en la mayoría de los proyectos la medición de macronutrientes se encuentran ausentes ya que muchos de ellos se enfocan en otros parámetros como humedad, temperatura, luminosidad, etc., por lo cual, estos son áreas de oportunidad en el desarrollo de arquitecturas IoT, en esto está basado mi proyecto de caracterización de suelos a través de IoT que busca conocer los niveles de macronutrientes en la zona montañosa central de Veracruz, México con el menor costo posible y, con ello, conocer la situación de los mismos que permita tomar decisiones más acertadas como la elección y cantidad de fertilizantes o incluso el tipo de cultivos idóneos según las características del suelo.

A continuación, veremos algunas gráficas que resumen la información hallada y que es la que permitió llegar a los resultados y conclusiones anteriormente mencionados:

Integración de las tecnologías aplicadas a la agricultura

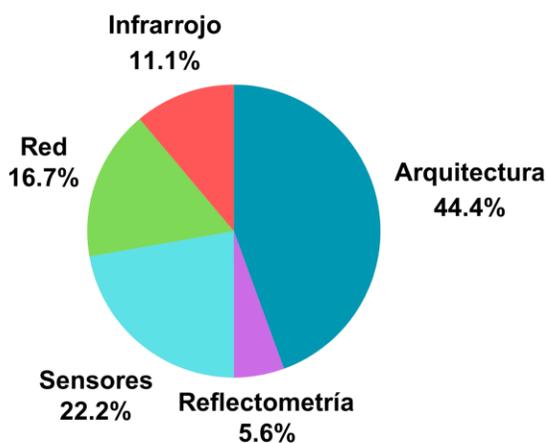


Figura 5 Grafica de integración de tecnologías aplicadas a la arquitectura. Fuente: Propia

Para la pregunta ¿Cómo se integra la arquitectura? los datos encontrados y representados son: Dispositivos más utilizados en la creación de soluciones tecnológicas que aplicadas a la agricultura.

Numero de capas que forman a las arquitecturas encontradas

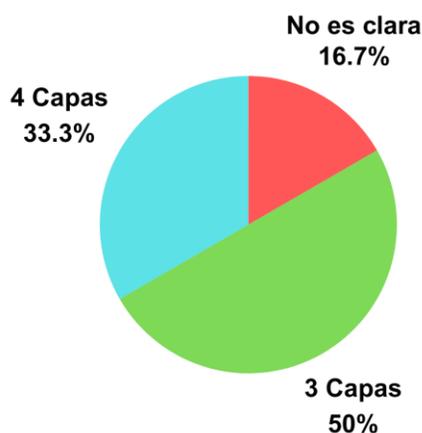


Figura 6 Grafica de numero de capas que forman a las arquitecturas. Fuente: Propia

Para la pregunta ¿Cómo se integra la arquitectura? los datos encontrados y representados son: Número de capas más comúnmente usadas para conformar las arquitecturas encontradas en la RSL, la opción más sencilla (3 capas) fue usualmente la más utilizada.

Variables medidas en las arquitecturas

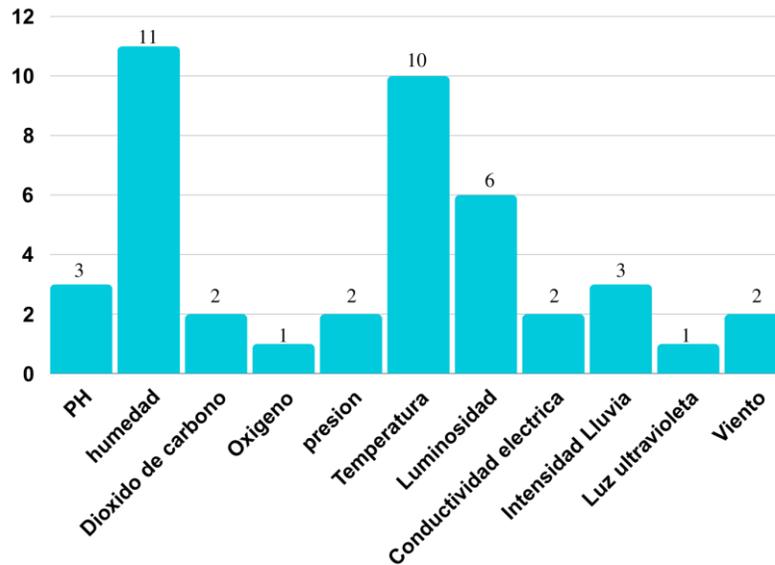


Figura 7 Grafica gráfica de variables medidas en las arquitecturas. Fuente: Propia

Para la pregunta ¿Con que métodos y técnicas se realizan las lecturas del sistema? los datos encontrados y representados son: Las variables más medidas en las arquitecturas y demás propuestas tecnológicas encontradas, la humedad, la temperatura y la luminosidad son básicamente las más registradas por los agricultores y expertos en el tema

Dispositivos usados para las mediciones

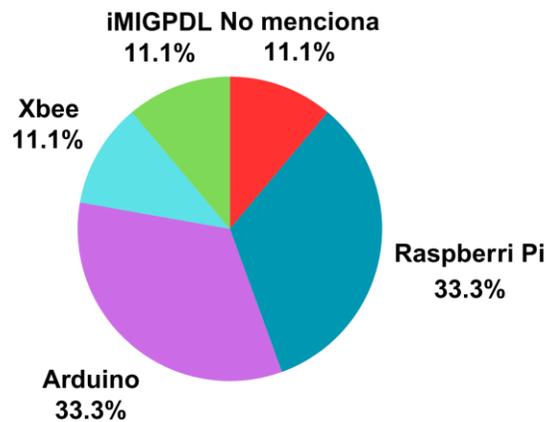


Figura 8 Gráfica de dispositivos usados para las mediciones. Fuente: Propia

Para la pregunta ¿Con que métodos y técnicas se realizan las lecturas del sistema? los datos encontrados y representados son: Dispositivos más utilizados para llevar a cabo las mediciones de variables, en esta grafica se hace evidente que Arduino y Raspberri Pi son las tecnologías más usadas debido a la variedad de sensores y dispositivos que se conectan a ellos.

Tipo de información obtenida

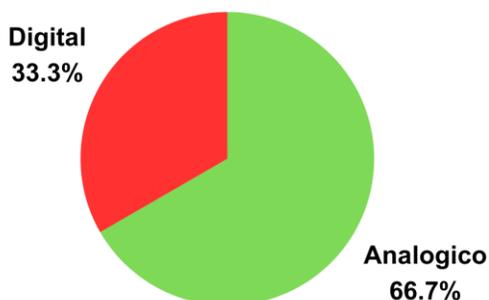


Figura 9 Gráfica de tipos de información obtenida. Fuente: Propia

Para la pregunta ¿Cómo utiliza la información del sistema? los datos encontrados y representados son: e) Las distintas tecnologías encontradas recolectan de manera predominante información analógica, aunque en muchos de los casos, se transforma posteriormente a digital para un mejor procesamiento.

Tecnología usada para procesar y visualizar la información

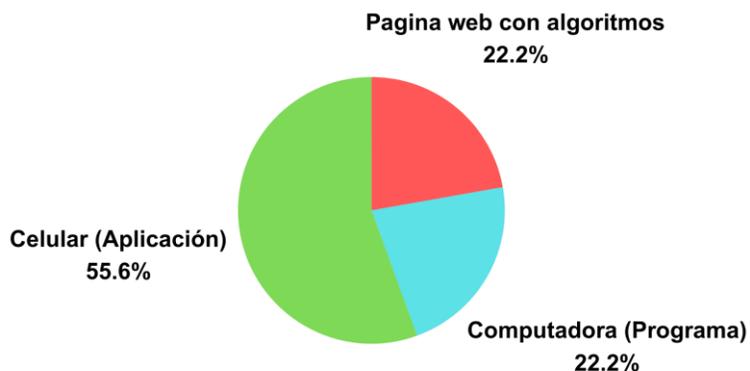


Figura 10 Gráfica de tecnologías usadas para procesar y visualizar información. Fuente: Propia

Para la pregunta ¿Cómo utiliza la información del sistema? los datos encontrados y representados son: En esta gráfica se muestra qué tecnologías son más usadas para visualizar la información recolectada, así como para procesar esos datos de acuerdo con reglas y normas, haciendo que en lo posterior se muestren informes que permitan tomar decisiones más precisas.

Tecnologías para transmitir información

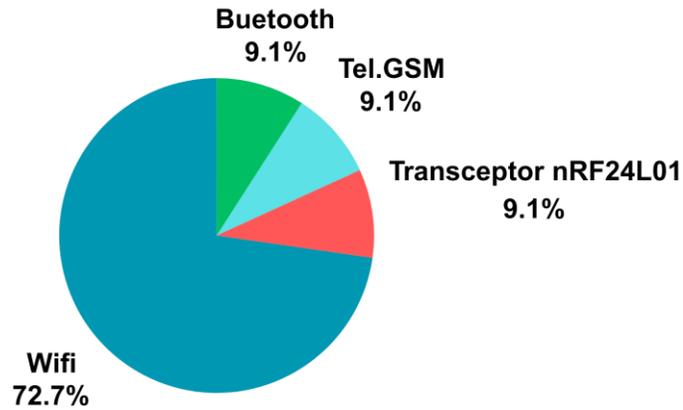


Figura 11 Grafica de tecnologías para transmitir información. Fuente: Propia

Para la pregunta ¿Cómo utiliza la información del sistema? los datos encontrados y representados son: En esta gráfica se muestran las distintas tecnologías que han sido utilizadas para la transmisión de datos de los dispositivos que los recolectan a los sitios donde serán almacenados y mostrado que la tecnología Wifi es el medio de transmisión predominante

Almacenamiento de la información

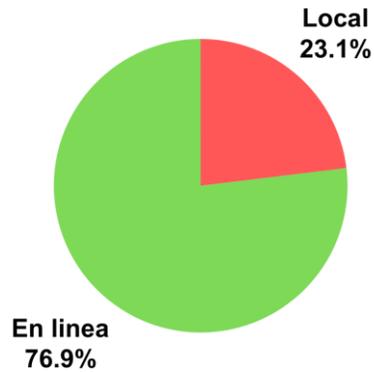


Figura 12 Grafica de tipos de almacenamiento. Fuente: Propia

Para la pregunta ¿Cómo utiliza la información del sistema? los datos encontrados y representados son: El almacenamiento de la información en los distintos proyectos se realiza mayormente en sitios de almacenamiento en línea y aunque en algunos se guarde la información de manera local en muchos casos se realiza de manera temporal, hasta tener conexión a internet.

Uso de la información obtenida

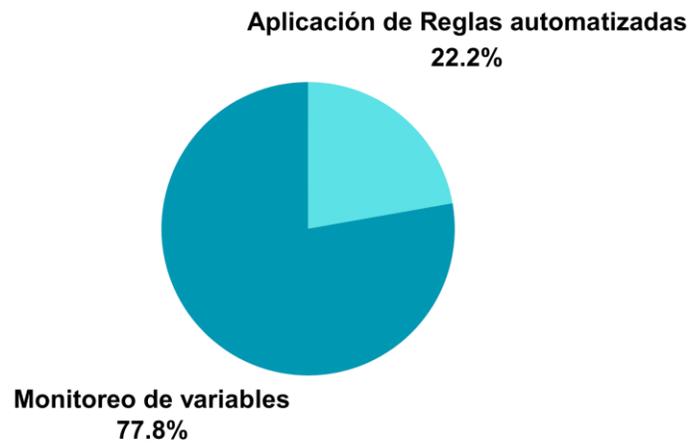


Figura 13 Grafica que muestra cual fue el uso de la información obtenida. Fuente: Propia

Para la pregunta ¿Cómo utiliza la información del sistema? los datos encontrados y representados son: i) La finalidad de la información obtenida, estos datos recolectados son usados predominantemente para el monitoreo de variables con el fin de optimizar los recursos usados en el proceso de producción agrícola, llevando a cabo acciones por parte de agricultores y expertos, sin embargo, existen proyectos donde lo recolectado se utilizó con el fin de emplear acciones automatizadas que respondieran a los niveles detectados en ese momento y que de manera automática respondan a través de actuadores y otros dispositivos aplicando una acción predeterminada.

CAPITULO III DISEÑO DE LA ARQUITECTURA IOT

3.1 DETERMINACIÓN DE VARIABLES DE CARACTERIZACIÓN

Para seleccionar las variables que se van utilizar en esta arquitectura se tomó como base el cultivo de maíz, esta planta pasa por diferentes fases de crecimiento, sin embargo, para optimizar su producción se debe considerar que la etapa más importante para la absorción de nutrientes en este cultivo es durante el estiramiento del tallo (Yara México, 2019), para incrementar el rendimiento se debe de aplicar estrategias eficientes de fertilización, fijándose en los principales nutrientes que necesita el cultivo, y estos son catalogados por macronutrientes y micronutrientes.

Los macronutrientes son los que se necesitan en cantidades mayores para el desarrollo saludable de los cultivos, en cambio los micronutrientes, son los que se requieren en menor número, tomando esto como base y considerando que en la etapa más importante del cultivo del maíz los principales macronutrientes requeridos son el nitrógeno, fósforo y potasio, serían los que se elegiría de base para el diseño de la arquitectura propuesta.

3.1.1 Nitrógeno (N)

El nitrógeno en cantidades grandes influye para maximizar el crecimiento en materia seca y cosecha. Más de 200 kg/ha (kilogramos por hectárea) es necesario para obtener una cosecha de 7 t/ha (toneladas por hectárea). Niveles más altos que en cualquier otro nutriente, aproximadamente 16 kg/t (kilogramos por tonelada), será removido en el grano. Si se cultiva el maíz para ensilaje o como mezcla de mazorcas, la remoción de nitrógeno será igual. Aplicaciones fraccionadas funcionan mejor, sobre todo en suelos ligeros, para mantener la disponibilidad de nitrógeno (Yara México, 2019).

3.1.2 Fósforo (P) y potasio (K)

Fósforo, un elemento que solo se requiere en cantidades pequeñas, es imprescindible durante las etapas tempranas de desarrollo para asegurar el desarrollo de un buen sistema de raíces e impulso del desarrollo de brotes y follaje. Las plantas absorben aproximadamente 85 kg P^2O^5 /ha (pentóxido de fósforo por hectárea). El potasio se requiere en cantidades grandes, o sea niveles equivalentes a los de nitrógeno. La absorción total ronda los 200 kg/ha. La mayoría de ese potasio se usa para las hojas y el tallo, y la demanda pico es durante la elongación del tallo cuando la absorción de potasio es más grande que cualquier otro nutriente (Yara México, 2019).

La acidez y la salinidad tienen también un impacto importante en los cultivos por lo cual también se tomaron en cuenta para la creación de la arquitectura IoT para la caracterización por lo cual también serán consideradas variables para este proyecto

3.1.3 Acidez en los suelos (PH)

En la solución del suelo, las altas concentraciones de Aluminio (Al^{3+}) e Hidrógeno activo (H^+) dan lugar a la acidez del suelo. El pH (potencial de hidrógeno) es la medida del grado de acidez o alcalinidad de un suelo. Un pH de 7.0 indica neutralidad, pero a medida que este valor disminuye el suelo se vuelve más ácido, de manera que, un pH de 6.0 es diez veces más ácido que un pH de 7.0. El significado práctico del pH en términos de acidez del suelo es que afecta significativamente la disponibilidad y la asimilación de nutrientes, y ejerce una fuerte influencia sobre la estructura del suelo (Z. Castellanos, 2014).

3.1.4 Conductividad Eléctrica (EC)

El desarrollo de los cultivos, entre ellos los del maíz se ven afectados por distintos factores entre los cuales se encuentra la salinidad de los suelos, las sales reducen el potencial de solución de la tierra disminuyendo también la disponibilidad del agua para las plantas, la manera en que se conoce la salinidad de los suelos es mediante la conductividad eléctrica (EC).

La EC mide la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica al aprovechar la propiedad de los minerales en la conducción de esta; por lo tanto, la EC mide la concentración de las sales solubles presentes en la solución del suelo. Su valor es más alto cuanto más fácil se mueva dicha corriente a través del mismo suelo por una concentración más elevada (INTAGRI, 2017).

Una vez teniendo definidas las variables que se van a medir en este proyecto se procedió a la selección de los sensores necesarios para poder medir estas variables.

3.2 SELECCIÓN DE SENSORES Y OTROS DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS

La arquitectura que se está diseñando, está basada en Arduino ya que es la plataforma con más sensores y dispositivos que se acoplaban para el diseño de este sistema.

3.2.1 Arduino

Arduino es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines hembra. Estos permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla (principalmente con cables dupont) (¿Qué es Arduino?, 2014).

Una placa electrónica es una PCB (“Printed Circuit Board”, “Placa de Circuito Impreso” en español). Las PCBs son elaboradas en un material no conductor, el cual consta de diferentes capas de material conductor. Una PCB es el modo más compacto y estable de construir un circuito electrónico. De esta manera, la placa Arduino no es más que una PCB que realiza un diseño de circuitería interna. Así el usuario no se preocupa por las conexiones eléctricas que debe de tener el microcontrolador para realizar su trabajo, y puede empezar de manera directa a elaborar los diferentes proyectos que necesite, son varias las características con las que cuenta la placa de Arduino y se pueden consultar en el Anexo A.



Figura 14 Placa Arduino Uno. Recuperado de <https://uelectronics.com/producto/arduino-uno-rev3/>

3.2.2 Sensores utilizados

En este proyecto el objetivo es la creación de una arquitectura IoT escalable que permita al agro veracruzano la caracterización del suelo con base a los macronutrientes nitrógeno, fósforo, potasio, así como de la conductividad eléctrica (CE) y la acidez (pH).

Los sensores seleccionados se eligieron teniendo en cuenta la posibilidad de conectarse a las placas de Arduino, existen sensores que trabajan de manera independiente los cuales simplemente se incrustan en el suelo y presentan los datos en una pantalla, pero estos no sirven para el proyecto ya que no se pueden integrar a una arquitectura más compleja como la que se está diseñando aquí.

Los siguientes sensores permiten la integración en un sistema con mayor desarrollo a través de las placas de Arduino y son presentados a continuación:

3.2.3 Sensor de nitrógeno/fósforo/potasio del suelo

El sensor 3-en-uno de nitrógeno, fósforo y potasio del suelo es adecuado para detectar el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo y determinar la fertilidad del suelo detectando su contenido, facilitando la evaluación sistemática del estado. Puede enterrarse mucho tiempo en el suelo, resistente a la electrólisis a largo plazo, a la corrosión, a las macetas al vacío, impermeable, (ver el anexo A para consultar otras características). El sensor se utiliza ampliamente en la detección de nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo, la agricultura de precisión, la silvicultura, la investigación del suelo, la exploración geológica, el cultivo de plantas y otros campos (Sensores de nitrógeno/fósforo/potasio del suelo (salida RS485), s. f.)



Figura 15 Sensor NPK. Fuente: <https://eiccontrols.com/es/inicio/480-sensores-de-nitrogeno-fosforo-y-potasio-del-suelo-salida-4-20ma.html>

3.2.4 Sensor de pH

El pH indica la cantidad de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica el número de iones hidronio $[H_3O^+]$ presentes en algunas sustancias («Sensor analógico de pH de 0-14», 2018). Este sensor permite medir de forma simple el pH gracias a su placa controladora que ofrece un valor analógico en concordancia a la medición (se puede ver las características de este sensor en el Anexo A).



Figura 16 Sensor de pH. Fuente: <https://electronilab.co/tienda/sensor-analogico-de-ph-de-0-14/>

3.2.5 Sensor de Conductividad Eléctrica (EC) de Suelo

Este sensor es muy utilizado en experimentos científicos, proyectos de ahorro de agua, invernadero, frutas y verduras, pastos para ganadería, medición de conductividad eléctrica del suelo, tratamiento de aguas residuales. Se puede mantener en el suelo durante un amplio periodo de tiempo, resiste a la electrólisis a largo plazo, resiste a la corrosión, llenado y sellado al vacío, es plenamente impermeable (las características de este sensor las encontramos en el anexo A)



Figura 17 Sensor EC Fuente: <https://www.amazon.com/-/es/conductividad-profesional-impermeable-medidor-detector/dp/B082V7JC6R>

3.2.6 Módulo De Comunicación Rs485 Con Max485

El Módulo MAX485 Conversor RS485 a Serial TTL permite conectar microcontroladores como Arduino a distancias de hasta 1 km utilizando RS485. Basado en el chip Maxim MAX485, permite comunicación tipo half-duplex, si se desea implementar full-duplex se debe utilizar 2 módulos (uno para enviar y otro para recibir datos). RS485 es un estándar industrial de capa física, soporta la

implementación de un bus de campo industrial tipo MODBUS, DMX, etc., ampliamente utilizado por su robustez, fácil implementación y buenas prestaciones (Módulo MAX485 Conversor RS485 a Serial TTL, 2023).

El RS485 está especificado como un sistema en bus de transmisión multipunto diferencial, es muy útil para transmitir a altas velocidades sobre largas distancias y a través de canales ruidosos (características completas del módulo en el Anexo A).

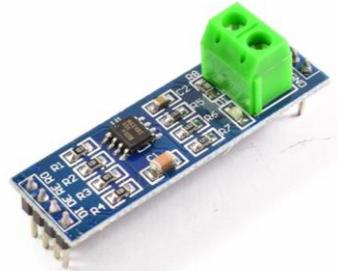


Figura 18 Modulo Rs485. Fuente: <https://naylorlampmechatronics.com/conversores-ttl/62-conversor-rs485-a-serial-ttl.html>

3.3 SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS DE PRESENTACIÓN DE DATOS

El mecanismo utilizado para procesar la información que se vaya extrayendo de los sensores será mediante una web con la configuración necesaria para mostrar y analizar esos datos, ésta será creada utilizando JSP, Se tiene hasta el momento contemplado usar la base de datos MySQL y se utilizará el lenguaje HQL si en el futuro se necesita migrar a otro tipo de base de datos.

3.3.1 JSP

Una página JSP (JavaServer Page) es una página HTML a la que se le incrusta código Java (Gomez Fuentes & Cervantes Ojeda, 2017). Con JSP, los diseñadores web pueden incorporar elementos dinámicos dentro de la página utilizando tanto porciones de código Java incrustadas, como unas cuantas etiquetas. Así, las páginas JSP tienen el aspecto de una página tradicional HTML, a la que se le ha introducido parte de código Java junto con unas etiquetas. Así, cuando un usuario solicita una página y procesada por un servidor HTTP, el código HTML pasará directamente al usuario, mientras que las porciones de código Java se ejecutarán en el servidor cuando se reciba la solicitud, para generar el contenido dinámico de la página.

Cuando el usuario acceda al código de la página que le llega sólo verá HTML, sin poder acceder al código JSP subyacente. El código Java se incrusta entre los siguientes indicadores `<%` y `%>`.

3.3.2 MySQL

MySQL es un sistema de gestión de bases de datos relacionales (RDBMS) de código abierto respaldado por Oracle y basado en el lenguaje de consulta estructurado (SQL). MySQL funciona prácticamente en todas las plataformas, incluyendo Linux, UNIX y Windows. Aunque puede utilizarse en una amplia gama de aplicaciones, MySQL se asocia más a menudo con las aplicaciones web y la publicación en línea.

MySQL es un componente importante de una pila empresarial de código abierto llamada LAMP. LAMP es una plataforma de desarrollo web que utiliza Linux como sistema operativo, Apache como servidor web, MySQL como sistema de gestión de bases de datos relacionales y PHP como lenguaje de scripting orientado a objetos (a veces se utiliza Perl o Python en lugar de PHP) (Computerweekly, 2021).

3.3.3 HQL

El Hibernate Query Lenguaje (HQL) es el lenguaje de consultas que usa Hibernate para obtener los objetos desde la base de datos. Su principal particularidad es que las consultas se realizan sobre los objetos java que forman nuestro modelo de negocio, es decir, las entidades que se persisten en Hibernate (HQL [cursohibernate], 2023).

HQL es el lenguaje de consultas que usa Hibernate para recuperar información y manipular la base de datos. Su sintaxis recuerda mucho a SQL, pero las consultas se realizarán sobre los objetos vinculados a las mismas (Sentencias HQL en hibernate - Pablo Monteserín, 2020).

3.4 CONSTRUCCIÓN DE LA ARQUITECTURA

Los 3 sensores con los que se van a trabajar son:



Figura 19 Sensor de Conductividad Eléctrica. Fuente: Propia



Figura 20 Sensor de acidez (PH). Fuente: Propia



Figura 21 Sensor de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK). Fuente: Propia

3.4.1 Sensor de Nitrógeno, Fosforo y Potasio (NPK)

El sensor con el que se iniciaron las pruebas fue el NPK, para ello se utilizaron el siguiente material electrónico:

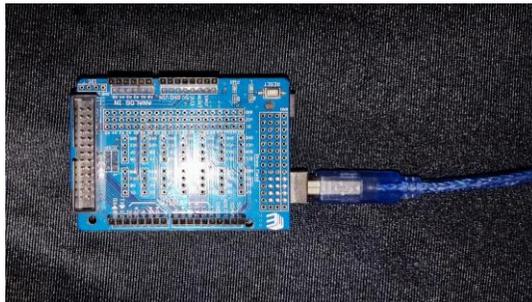


Figura 22 Placa Arduino Uno. Fuente: Propia



Figura 23 Pantalla LCD. Fuente: Propia

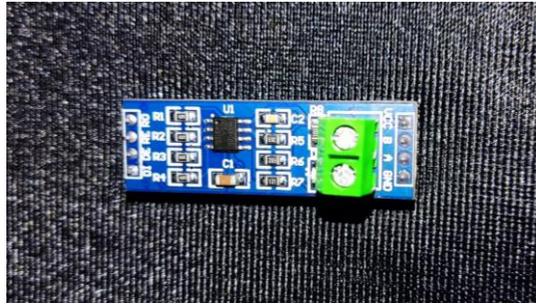


Figura 24 Módulo De Comunicación Rs485 Con Max485. Fuente: Propia

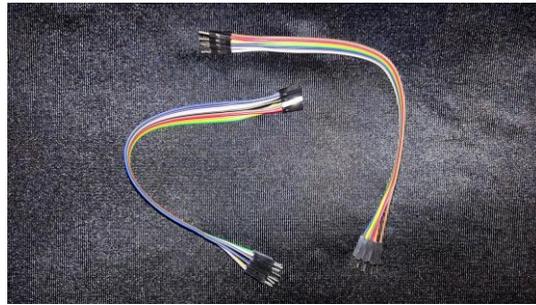


Figura 25 Jumpers. Fuente: Propia

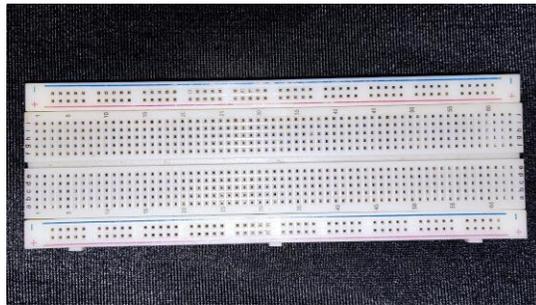


Figura 26 Protoboard. Fuente: Propia



Figura 27 Batería Recargable 5000mah 5v 9v 12v. Fuente: Propia

Lo primero que se realizó fue una prueba para comprobar el funcionamiento de las pantallas LCD en la cual se verifico que la pantalla de 16X2 (la de mayor tamaño) no funcionaba, por lo cual, se optó por la pantalla más pequeña que sí fue compatible y logró encender con la placa de Arduino

Con lo cual se configuro la pantalla que permitiría mostrar los datos del sensor

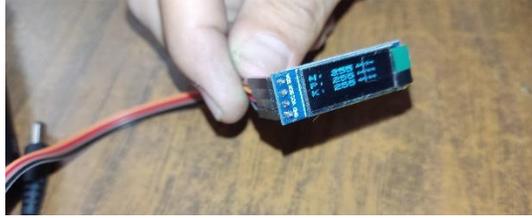


Figura 31 Pantalla de para mostrar los datos del sensor NPK. Fuente: Propia

ya con todos los dispositivos conectados se procedió a hacer las primeras comprobaciones utilizando una maceta con la tierra seleccionado para tal fin.



Figura 32 Primeras pruebas. Fuente: Propia

Sin embargo, éstas no fueron satisfactorias ya que el sensor no enviaba los datos a la pantalla, por lo cual, se revisaron todas las conexiones de los diferentes dispositivos.

Se conectó la placa de Arduino directamente a la computadora para que así se alimentara de energía y se conectó directamente la batería recargable de 12 voltios al sensor.

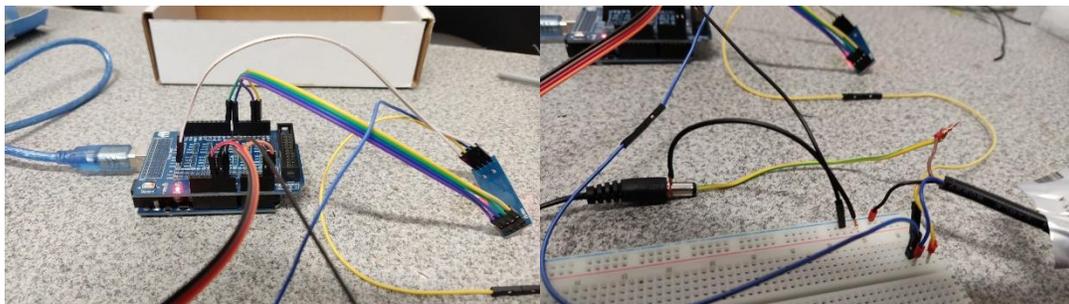


Figura 33 Conexiones de energía. Fuente: Propia

De esta manera se logró que el sensor enviar los datos a la placa y esta los mostrará en la pantalla LCD

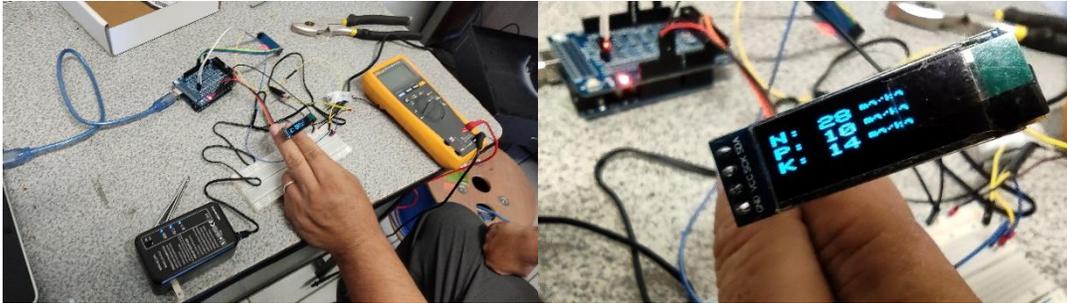


Figura 34 conexión completa y datos en la pantalla. Fuente: Propia

Al buscar realizar nuevas conexiones con los otros dispositivos se descubrió que los cables jumper que conectan la batería con los mismos tenían un falso contacto, por lo cual, se le adaptó un conector DC para que la alimentación eléctrica fuera estable.



Figura 35 Conector de alimentación DC. Fuente: Propia

Después se realizó la conexión del sensor de conductividad eléctrica y se implementó una batería para alimentar la tarjeta de Arduino de manera independiente, haciendo así la arquitectura más portable.

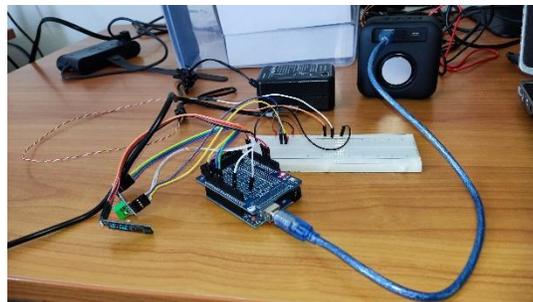


Figura 36 Alimentación a la placa de Arduino con batería portable. Fuente: Propia

También ahora varias conexiones que antes se hacían de manera directa ahora se concentrarán en la protoboard para hacer la conexión más estable.

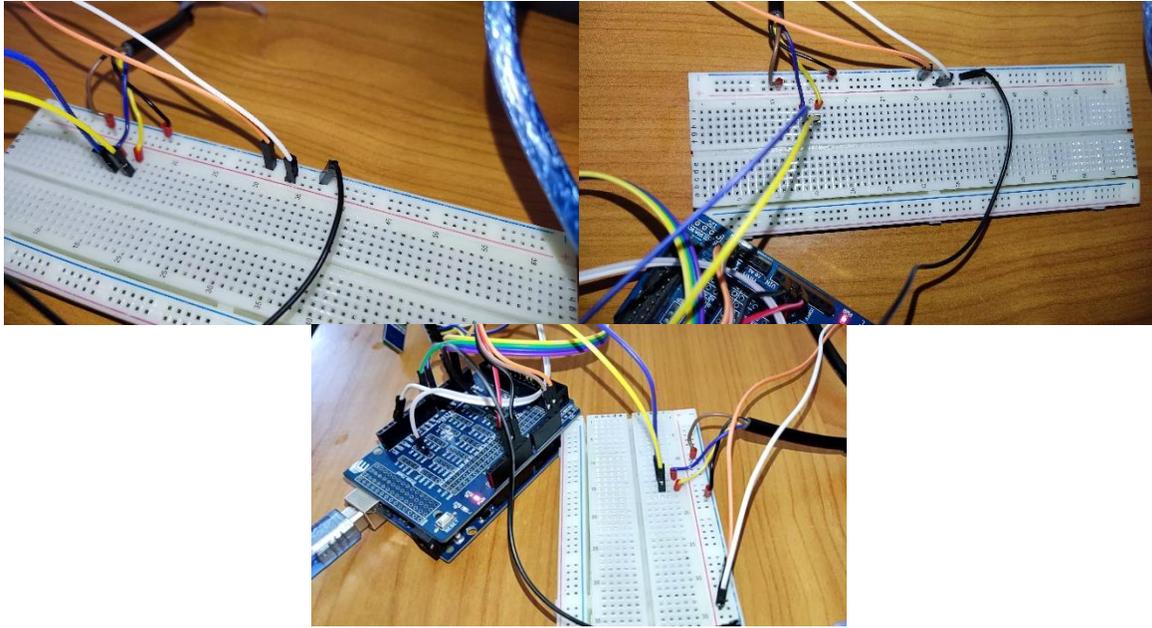


Figura 37 Conexiones sensor EC. Fuente: Propia

Una vez conectados, se comenzaron a realizar las pruebas pertinentes para verificar que los datos se estén registrando de manera correcta

Para las pruebas del sensor NPK se utilizó el invernadero dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, el cual cuenta con tierra de distintos lugares a las cuales se les están realizando diversos análisis químicos para medir los macronutrientes del suelo y se tomaron las mismas para comprobar los valores obtenidos por el sensor:



Figura 38 Invernadero del ITSX y muestras de suelo. Fuente: Propia

De los resultados obtenidos al probar el sensor NPK, se deduce que es necesario realizar ajustes a las conexiones del sensor para obtener mediciones más estables.

3.4.2 Sensor de Conductividad Eléctrica (EC)

Para el sensor EC se utilizaron las siguientes conexiones:

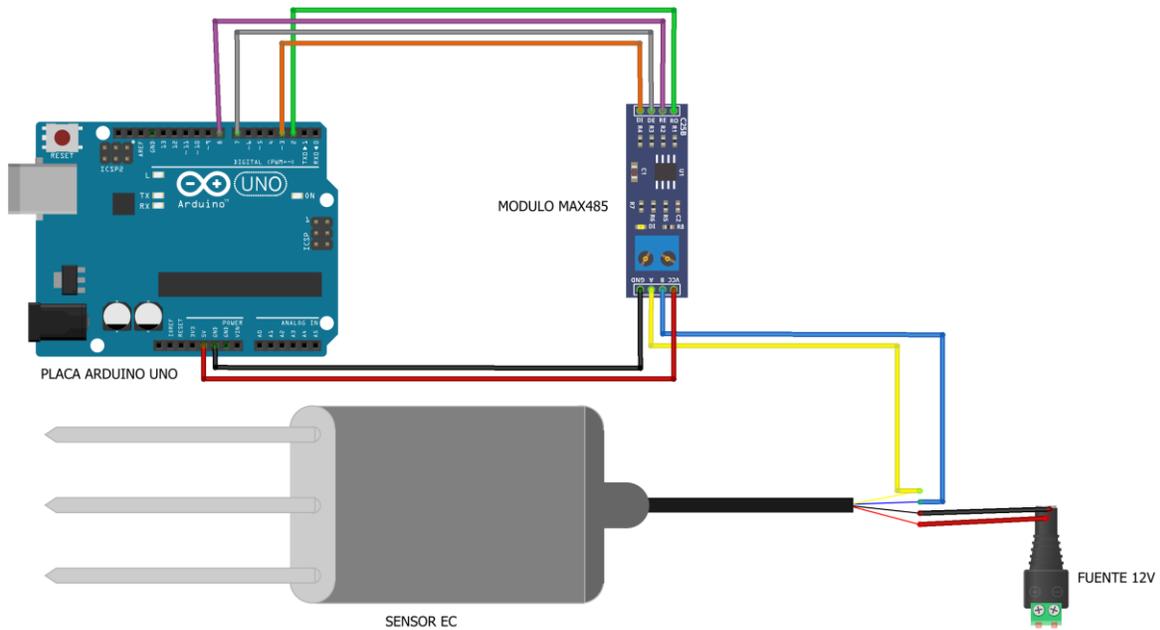


Figura 39 Diagrama de conexiones sensor EC. Fuente: Propia

Para realizar las pruebas del sensor EC se utilizó una muestra de tierra del invernadero:



Figura 40 Conexión y pruebas con el sensor EC. Fuente: Propia

De los resultados obtenidos se deduce que las mediciones son constantes y estables y que ya solo necesitan ser contrastadas con las mediciones de algún otro dispositivo.

3.4.3 Sensor de Acidez (pH)

Para el sensor de PH se utilizaron las siguientes conexiones:

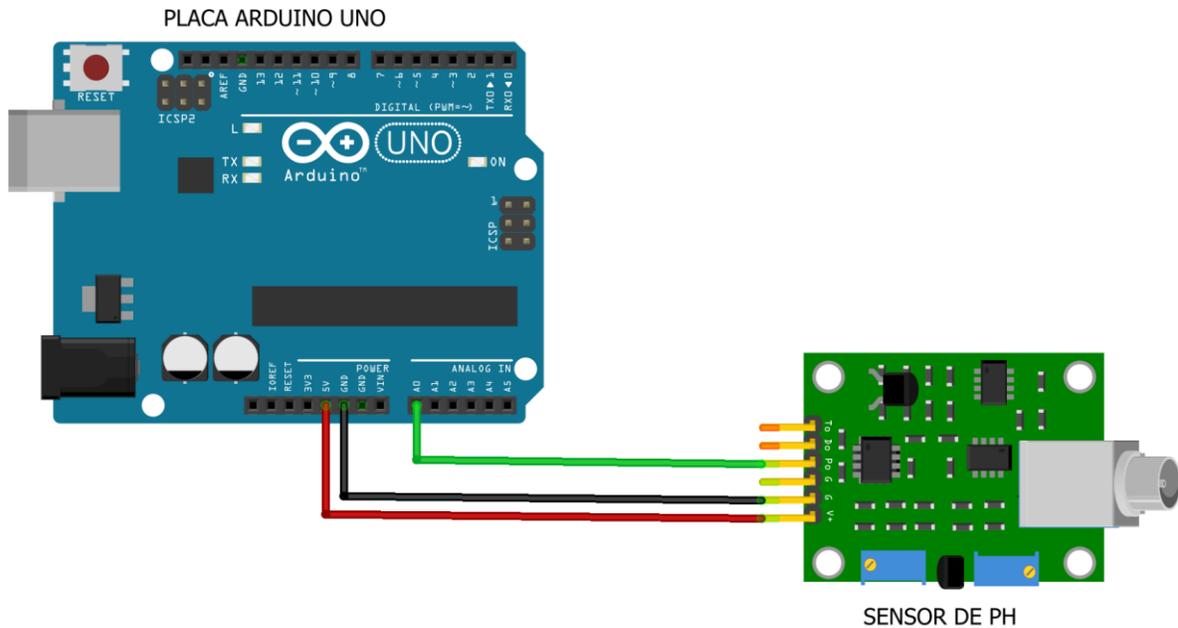


Figura 41 Diagrama de conexiones sensor PH. Fuente: Propia

Como al realizar la primera conexión el sensor devolvió valores que no coincidían con los establecidos, se tuvieron que ajustarse a su configuración.

Este sensor es lineal, es decir, con puntos de referencia se puede obtener una ecuación para poder realizar la conversión de voltaje a pH. Es por ello que se tomaron los valores de dos sustancias para poder caracterizarlo, los valores obtenidos fueron para la lectura de la coca cola que tiene un ph de 3 se obtuvo 4.92, y para el caso del jabón líquido cuyo valor de pH debe ser 7.5 se obtuvo 4.11, para hacer el cálculo del pH se debe de obtener la ecuación para la cual se toma como punto de partida la formula general $y=mx+b$.

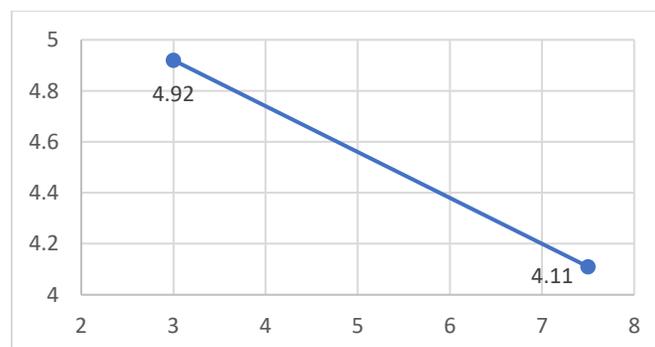


Figura 42 Grafica para configuración del sensor de PH. Fuente: Propia

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{4.11 - 4.92}{7.5 - 3} = \frac{-0.81}{4.5} = -0.18$$

$$y = m(x_2 - x_1) + y_1 = -0.18(x + 3) + 4.92 = -0.18x + 4.38$$

Se volvieron a realizar pruebas y se contrastaron con muestras de tierra que se recolectaron de la región de Coacoatzintla.

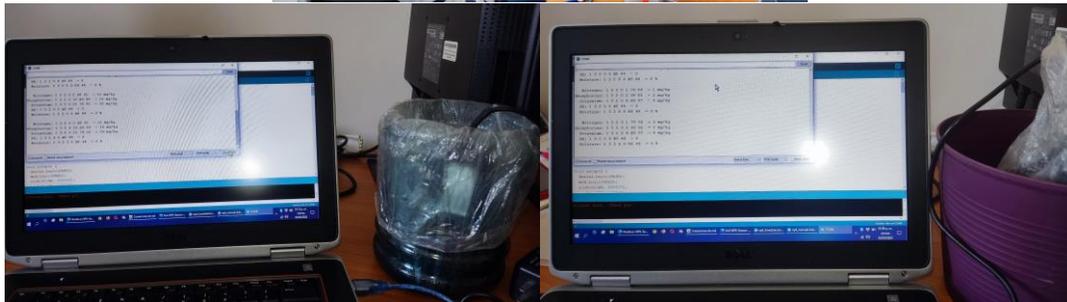


Figura 43 Conexión y pruebas con el sensor de pH. Fuente: Propia

3.4.4 Integración de los 3 sensores en una sola conexión

El siguiente paso fue la integración de los 3 sensores en un solo sistema, para ello se utilizó una tableta de experimentos (protoboard) que apoyará en la conexión de todos estos para utilizar una sola tarjeta de Arduino y así poder recolectar los datos de los 3 al mismo tiempo.

Para realizar esto se estableció la conexión de los 3 sensores como se muestra en el siguiente diagrama:

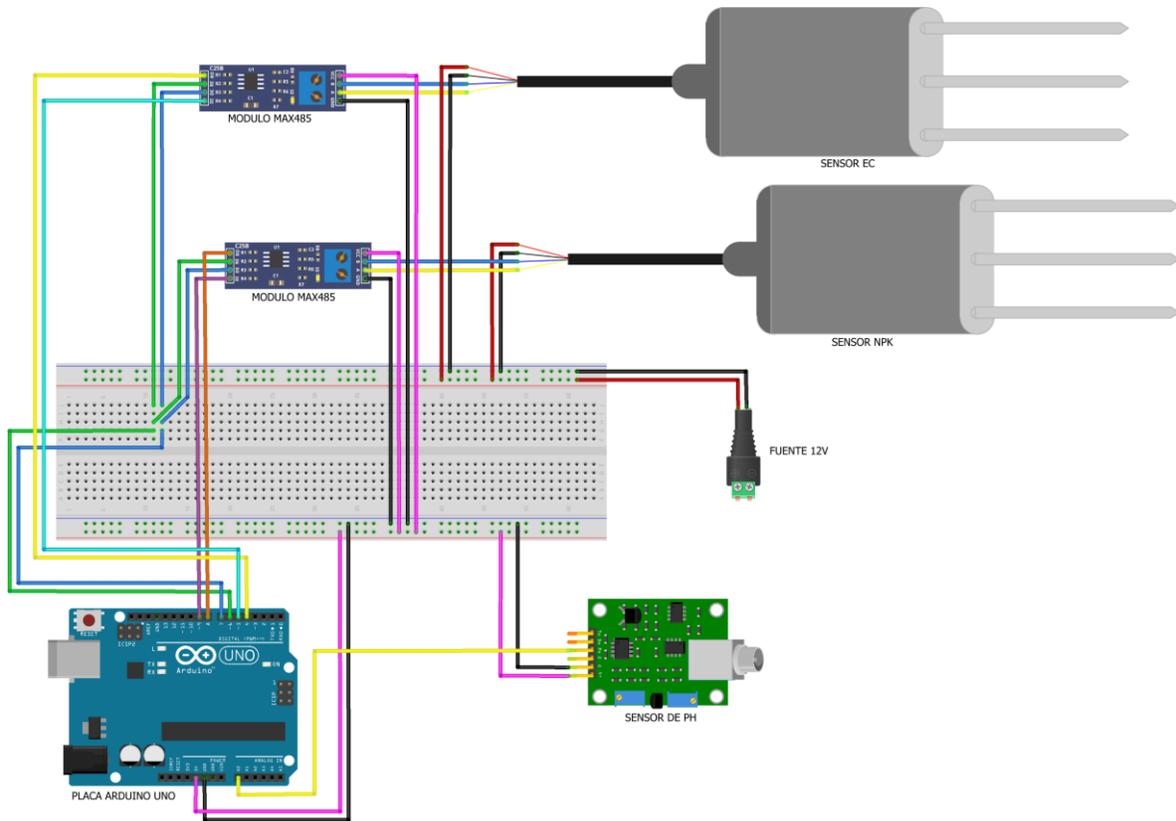


Figura 44 Diagrama de conexión de los 3 sensores. Fuente: Propia

De esta manera la información recolectada por los sensores es almacenada y visualizada a través de diferentes dispositivos, para esta arquitectura se utilizará una página web que permita mostrar y analizar los datos recolectados, la primera vista a la página web se explicara a continuación.

3.4.5 Página de visualización de datos

Para visualizar la información se desplegará una web con distintas páginas que conformarían el sistema de visualización de todo lo almacenado en la base de datos.

La página fue diseñada utilizando el lenguaje php y el software de netbeans:

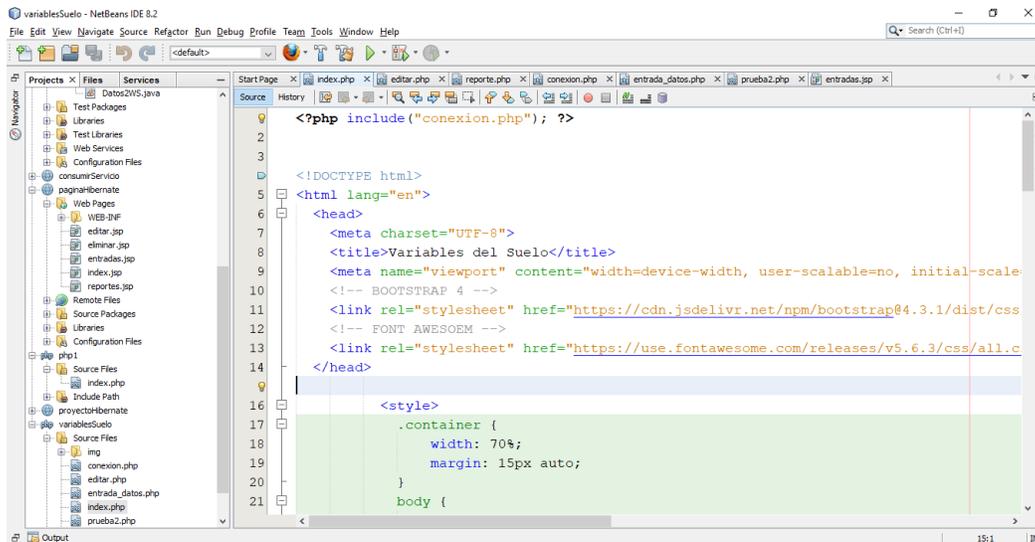


Figura 45 Netbeans. Fuente: Propia

Para el almacenamiento de datos se utilizó MySQL y las variables que se manejarán se muestran a continuación dentro de la base de datos:

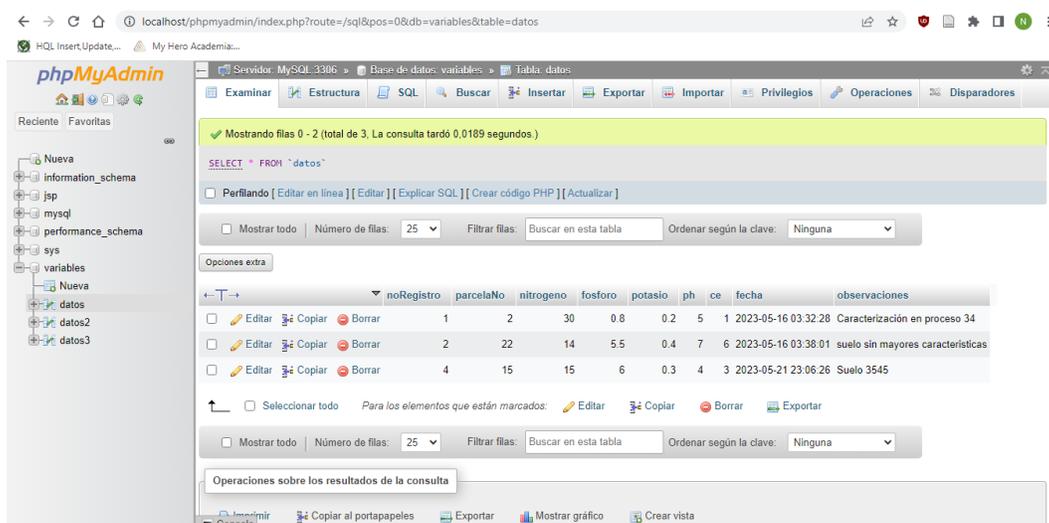


Figura 46 MySql y visualizacion de variables mediante phpMyAdmin. Fuente: Propia

Las páginas que van a conformar el sitio web completo serían las siguientes:

La página principal donde se visualizarán todos los datos almacenados por los sensores en una tabla y que además nos ofrecerá enlaces para editar algunos datos además de la opción para enlazarnos a la página de reportes de cada uno de los registros.

Componentes Del Suelo

NO. DE REGISTRO	NO. DE PARCELA	NITROGENO	FOSFORO	POTASIO	PH	CE	FECHA	REPORTE	EDITAR
4	15	15	6	0.3	4	3	2023-05-21 23:06:26		
2	22	14	5.5	0.4	7	6	2023-05-16 03:38:01		
1	2	30	0.8	0.2	5	1	2023-05-16 03:32:28		

Figura 47 Página principal del sitio de visualización de datos. Fuente: Propia

En la página de editar agregaremos o modificaremos el número de parcela y las observaciones necesarias sobre los datos guardados en ese registro.

Editar

No de registro

Escribe el numero de parcela

Escribe las observaciones

Figura 48 Pagina de editar. Fuente: Propia

En la sección de reporte se observa la clasificación de los datos almacenados por los sensores basándose en la norma RECNAT así como una gráfica que nos permite visualizar las cantidades en una gráfica.



Figura 49 Clasificación de los datos almacenados por los sensores. Fuente: Propia



Figura 50 Grafica de los datos almacenados. Fuente: Propia

Además, existe una página que no tiene interfaz gráfica, esta sirve de herramienta para recibir los datos de la placa esp32 con la información registrada por los sensores y almacenarlos en la base de datos de MySQL, esta página es denominada entrada_datos.php.

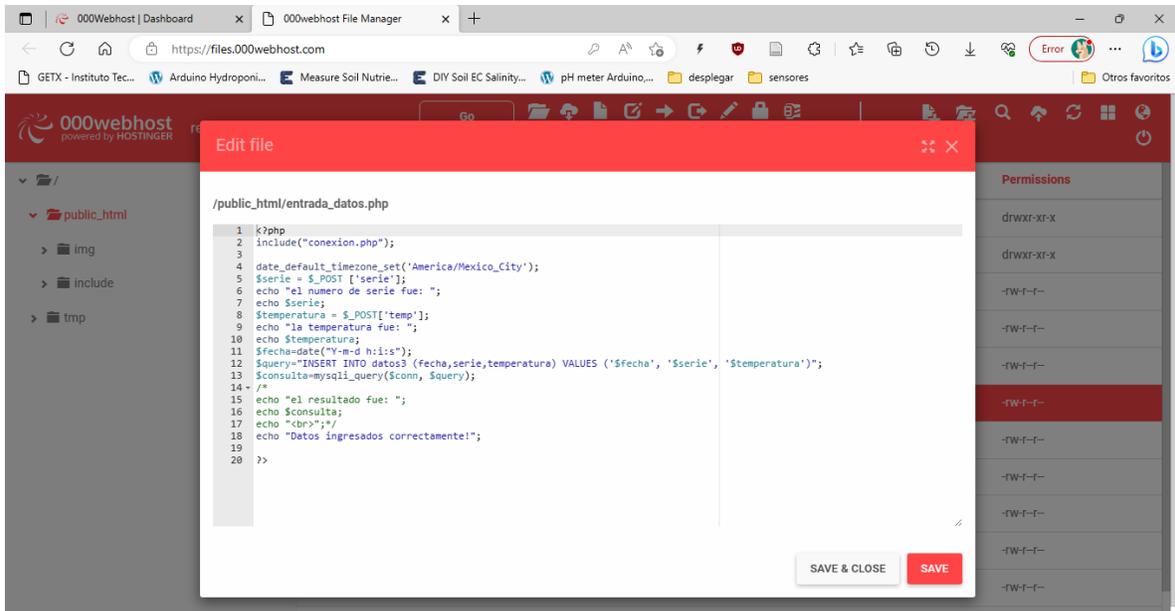


Figura 51 Página entrada_datos.ph. Fuente: Propia

El sitio web donde se alojará la página que mostrará los datos registrados por los sensores será 000webhost y la dirección donde se visualizan los datos es la siguiente:

<https://registrovariables.000webhostapp.com/>



Figura 52 Sitio almacenado en 000webhost. Fuente: Propia

3.4.6 Conectividad ESP32 Y placa de Arduino

Se adaptaron 2 protoboard dónde se conectó la placa Esp32 y desde ahí se hizo la conexión a la placa de Arduino, todo esto con el fin de tener más espacio para lograr integrar los demás sensores y dispositivos de comunicación.

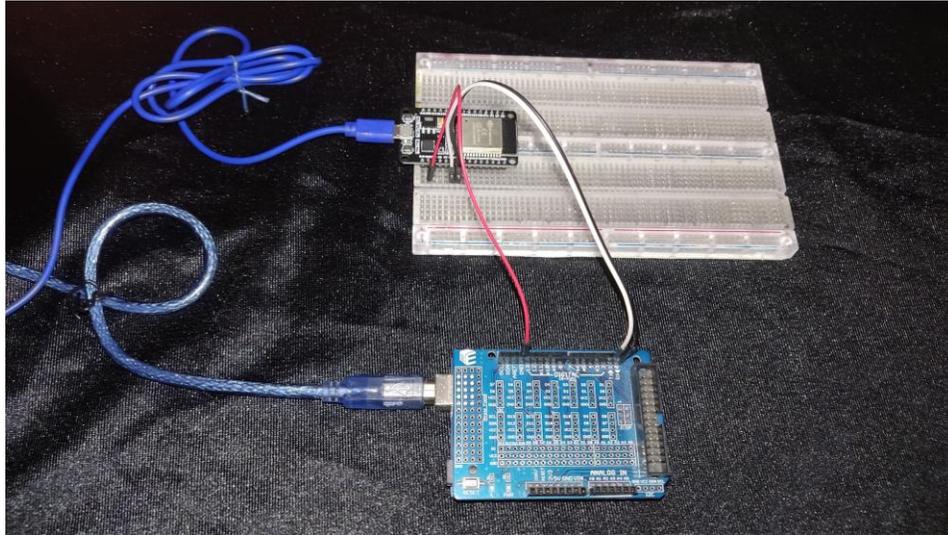


Figura 53 conexión Esp32 y placa de Arduino mediante una protoboard. Fuente: Propia

Con esta conexión se realizaron ejercicios de envío de datos simulando el envío de datos por parte de los sensores, en este caso se tomó como prueba el sensor NPK con el envío de datos de fósforo, potasio y calcio por parte de la placa de Arduino.

```
ARDUINO-COMUNICACION.ino
6 String option;
7
8 void setup() {
9   Serial.begin(9600);
10  n=32;
11  p=1212;
12  k=12345.6;
13 }
14 void loop() {
15
16  Serial.print("\n");
17  Serial.println(n);
18  delay(1500);
19  Serial.print("\np");
20  Serial.println(p);
21  delay(1500);
22  Serial.print("\nk");
23 }
```

Salida Monitor Serie x

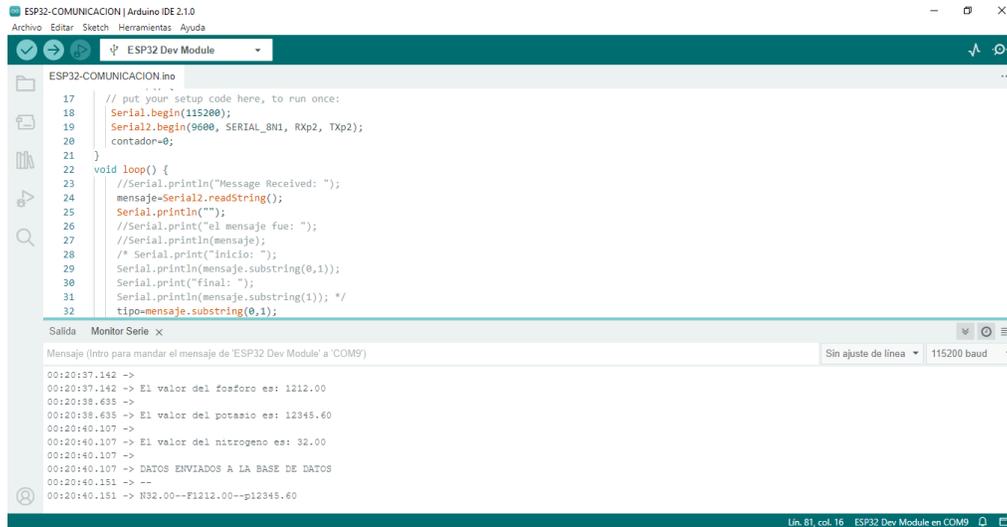
Mensaje (Intro para mandar el mensaje de 'Arduino Uno' a 'COM6')

Sin ajuste de línea 9600 baud

```
00:13:50.974 -> p1212.00
00:13:52.477 -> k12345.60
00:13:53.979 -> n32.00
00:13:55.469 -> p1212.00
00:13:56.971 -> k12345.60
00:13:58.448 -> n32.00
00:13:59.981 -> p1212.00
00:14:01.471 -> k12345.60
00:14:02.990 -> n32.00
```

Figura 54 envío de datos simulados NPK de la placa de Arduino. Fuente: Propia

Al llegar a la placa inalámbrica Esp32 se programó para separar los datos ubicando cada dato en su variable que identificará el macronutriente al que correspondía, y se buscó que para registrar los 3 nutrientes enviar un mensaje mostrando el resultado final.



```
ESP32-COMUNICACION | Arduino IDE 2.1.0
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda
ESP32 Dev Module
ESP32-COMUNICACION.ino
17 // put your setup code here, to run once:
18 Serial.begin(115200);
19 Serial2.begin(9600, SERIAL_8N1, RXp2, TXp2);
20 contador=0;
21 }
22 void loop() {
23 //Serial.println("Message Received: ");
24 mensaje=Serial2.readString();
25 Serial.println("");
26 //Serial.print("el mensaje fue: ");
27 //Serial.println(mensaje);
28 /* Serial.print("Inicio: ");
29 Serial.println(mensaje.substring(0,1));
30 Serial.print("final: ");
31 Serial.println(mensaje.substring(1)); */
32 tipo=mensaje.substring(0,1);
Salida Monitor Serie x
Mensaje (Intro para mandar el mensaje de 'ESP32 Dev Module' a 'COM9')
Sin ajuste de línea 115200 baud
00:20:37.142 ->
00:20:37.142 -> El valor del fosforo es: 1212.00
00:20:38.635 ->
00:20:38.635 -> El valor del potasio es: 12948.60
00:20:40.107 ->
00:20:40.107 -> El valor del nitrogeno es: 32.00
00:20:40.107 ->
00:20:40.107 -> DATOS ENVIADOS A LA BASE DE DATOS
00:20:40.151 -> --
00:20:40.151 -> N32.00--F1212.00--p12948.60
Lin 81, col 16 ESP32 Dev Module en COM9
```

Figura 55 Datos leídos y almacenados por parte de la Esp32. Fuente: Propia

Con esto logrado ya se integran los códigos correspondientes a los sensores y enviar los datos de los macronutrientes a la placa inalámbrica Esp32.

3.4.7 Conexión a internet y almacenamiento de información en la nube.

Los siguientes ejercicios estuvieron destinados a lograr que la placa Esp32 se conectará a internet y pudiera enviar datos a la base de datos alojada en 000webhost.



```
wifi_1 | Arduino IDE 2.1.0
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda
ESP32 Dev Module
wifi_1.ino
40
47 if (codigo_respuesta > 0) {
48 Serial.println("Código HTTP " + String(codigo_respuesta)); //Print return code
49
50 if (codigo_respuesta == 200) {
51 String cuerpo_respuesta = http.getString();
52 Serial.println("El servidor respondió ▼");
53 Serial.println(cuerpo_respuesta);
54 }
55
56 } else {
57 Serial.print("Error enviando POST, código: ");
58 Serial.println(codigo_respuesta);
59 }
60
61 http.end(); //libero recursos
62
Salida Monitor Serie x
Mensaje (Intro para mandar el mensaje de 'ESP32 Dev Module' a 'COM9')
Sin ajuste de línea 115200 baud
21:54:49.594 -> ...Connected, my IP: 10.0.0.16
21:54:52.355 -> Código HTTP 200
21:54:52.355 -> El servidor respondió ▼
21:54:52.355 -> el numero de serie fue: 7771a temperatura fue: 33Datos ingresados correctamente!
```

Figura 56 Código y puesta en marcha de este para envió de datos a internet por al Esp32. Fuente: Propia

Después de varios intentos se logró que la Esp32 enviar a unos datos previamente establecidos a la base de datos alojada en 000webhost, mediante el método POST los datos se envían por internet al servidor, el cual los recibe en la sección destinada para ello y los almacena en la base de datos en línea con la cual

Con esto ya es posible integrar los sensores, la placa de Arduino y los diversos componentes, la Esp32 y enviar los datos mediante conexión de internet al sitio web donde se visualizarán los datos de los macronutrientes obtenidos.

CAPITULO IV IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS

4.1 IMPLEMENTACIÓN PRACTICA DE LA ARQUITECTURA IOT

Desde del capítulo uno del presente proyecto se planteó como objetivo “Diseñar una arquitectura IoT escalable que permita al agro veracruzano avanzar hacia la Agricultura 4.0 a mediano plazo” para ello como primer paso se pensó en diseñar una arquitectura escalable para la caracterización del suelo veracruzano tomando como base los nutrientes de nitrógeno, potasio y fósforo, así como la conductividad eléctrica y la acidez del suelo, la cual, como se observó en los capítulos pasados se logró diseñar y ahora corresponde ponerla en marcha para verificar que funcione de manera correcta y cumpla con el objetivo para la cual fue diseñada.

4.1.1 Prácticas en la estancia en Coacoatzintla Ver.

Se realizó una estancia en la ciudad de Coacoatzintla, Ver. donde apoyado por la Dirección de Fomento Agropecuario se consiguieron distintas muestras de tierra de varias parcelas con las cuales se realizaron registros que permitieron hacer ajustes a la arquitectura IoT, se calibraron los sensores y se modificó la web para mostrar la información de manera que fueran más útiles al usuario similares a los distintos informes manejados por Fomento Agropecuario (análisis de suelo solicitados por la misma institución a laboratorios externos para conocer la situación del suelo), sobre todo en las unidades presentadas en los informes, puesto que los resultados de laboratorio usan unidades diferentes a las que devuelve el sensor, por lo que se procedió a realizar la conversión de una unidad de medida a la otra.

Ya terminada la calibración y el rediseño de la interfaz, se analizaron las diversas muestras midiendo pH, conductividad eléctrica (EC). A continuación, se muestra una captura de los resultados obtenidos de dichos experimentos.

Componentes Del Suelo

NO. DE REGISTRO	NO. DE PARCELA	NITROGENO (mg/kg)	FOSFORO (mg/kg)	POTASIO (mg/kg)	PH	CE (us/cm)	FECHA	REPORTE	EDITAR
224	5	1	2	5	1.68	1	2023-08-30 03:59:20		
220	5	2	4	8	2.49	1	2023-08-30 03:56:16		
219	5	1	2	5	10.45	1	2023-08-30 03:55:26		
211	4	3	185	10	11.64	0	2023-08-24 01:56:28		
209	4	2	3	8	7.9	3	2023-08-24 01:54:57		
207	4	2	3	249	3.92	1	2023-08-24 01:53:26		
197	3	120	7	14	9.77	3	2023-08-24 01:33:39		
196	3	5	6	14	9.33	3	2023-08-24 01:32:53		
172	2	3	5	10	4.79	127	2023-08-24 12:50:19		
148	1	3	4	9	5.66	185	2023-08-22 10:22:32		

Figura 57 Registros más representativos de las mediciones en Coacoatzintla Ver. Fuente: Propia

Se tuvieron valores algo más estables, aunque, como se ve en la figura 57, hay registros que salen por mucho del rango promedio de valores obtenidos por los dispositivos y, tras buscar calibrar y conectar correctamente los sensores, era necesario analizar si había otros factores que influyen en la información obtenida.

Durante los análisis de suelo que se hicieron en Coacoatzintla se hicieron notar algunas posibles causas que pudieran estar influyendo en la variabilidad de valores como son cantidad de agua, cercanía de sensores, etc. y usando algunas muestras de suelo recolectadas se procedió a realizar algunas pruebas que se explican a continuación.

4.1.2 Cantidad de agua y nivel de compactación del suelo

Durante las prácticas realizadas en Coacoatzintla, algo que llamaba la atención era que la tierra de algunas muestras presentaban mayor compresión que otras, pudiendo ser la causa de la diferencia en las lecturas, además del grado de humedad existente en cada una de ellas, por lo que se procuró agregar agua

destilada a cada una para aumentar la humedad relativa en un aproximado del 60%, para ello se procedió a tomar el suelo extraído en las parcelas de Coacoatzintla y se dejaron secar por varios días con el propósito de tener un mayor control sobre la humedad relativa en todas ellas.



Figura 58 Secado al sol de las muestras de suelo. Fuente: Propia

Una vez secas, se procedió a realizar un primer experimento para verificar si la compresión de la tierra y la humedad relativa influían en los datos obtenidos, para ello se inició registrando valores con poca humedad y con casi ninguna compresión, una vez tomados varios registros se aumentó el grado de humedad y de compresión de manera manual obteniéndose los siguientes resultados (los valores mostrados son los más representativos, aquellos que eran iguales o similares se eliminaron para obtener una mejor comparación)

NO. DE REGISTRO	NO. DE PARCELA	NITROGENO (mg/kg)	FOSFORO (mg/kg)	POTASIO (mg/kg)	PH	CE (us/cm)
308	1	2	2	5	37.65	0
307	1	2	3	6	38.95	0
306	1	2	3	6	40.01	0
305	1	2	2	5	38.46	0
304	1	1	1	3	40.32	0
303	1	1	1	3	43.5	0
302	1	1	2	4	40.07	0
301	1	0	1	2	47.6	0

Figura 59 Resultados de la muestra 1 (prueba de humedad y compresión de tierra). Fuente: Propia

Los registros marcados con el número 1 (ver figura 59) se tomaron con humedad bajo y casi nula compresión, comparándolos con los marcados con el número 2 que tienen mayor humedad y un grado de compresión mayor, se observa que los datos obtenidos por los sensores son más representativos de los valores reales, siendo un indicativo que las modificaciones realizadas a la muestra influyeron en la información reportada por los dispositivos.

Este experimento se repitió con otra muestra y se obtuvieron los siguientes resultados.

NO. DE REGISTRO	NO. DE PARCELA	NITROGENO (mg/kg)	FOSFORO (mg/kg)	POTASIO (mg/kg)	PH	CE (us/cm)
319	2	3	4	9	15.62	0
318	2	3	4	9	16.18	0
316	2	3	5	10	13.38	0
315	2	4	6	12	21.1	0
314	2	4	5	11	15.62	0
313	2	2	3	7	12.69	0
312	2	2	3	6	3.92	0
311	2	2	2	6	13.44	0
310	2	1	2	4	11.82	0
309	2	1	2	4	14.44	0

Figura 60 Resultados de la segunda muestra (prueba de humedad y compresión de tierra). Fuente: Propia

Para la tercera muestra se comprimió la tierra desde un inicio para centrarse en la humedad y estos son los datos:

NO. DE REGISTRO	NO. DE PARCELA	NITROGENO (mg/kg)	FOSFORO (mg/kg)	POTASIO (mg/kg)	PH	CE (us/cm)
331	3	3	4	9	14.37	0
330	3	3	4	9	14	0
329	3	3	4	9	14.81	0
328	3	2	3	6	15.81	0
326	3	1	1	3	12.45	0
322	3	1	2	4	13.38	0
321	3	1	2	4	14.06	0

Figura 61 Resultados de la tercera muestra (prueba de humedad y compresión de tierra). Fuente: Propia

Los registros del grupo 1 se tomaron con un nivel de humedad bajo (alrededor del 10%), al agregarle mayor cantidad los datos obtenidos fueron más altos que los

anteriores, por lo que se aclara que los sensores son sensibles al nivel de agua de la tierra donde se registren la información.

Para confirmar esto la siguiente prueba se realiza con una muestra con una humedad relativa mayor (alrededor del 60%) para verificar como reaccionarían los sensores.



Figura 62 Muestra de suelo en maceta con mucha agua agregada. Fuente: Propia

Al compararlo con los datos obtenidos de las anteriores muestras y tomando en cuenta que se trataba de una muestra con tierra ya usada por otras plantas que crecieron en ella, los valores fueron mucho más altos y significativos.

NO. DE REGISTRO	NO. DE PARCELA	NITROGENO (mg/kg)	FOSFORO (mg/kg)	POTASIO (mg/kg)	PH	CE (us/cm)
346	43	8	11	23	4.04	118
345	43	8	11	23	4.36	118
344	43	12	17	33	4.17	163
343	43	12	17	34	4.42	164
342	43	12	17	34	4.36	163

Figura 63 Resultados obtenidos de la muestra de tierra en maceta. Fuente: Propia

Concluyendo que los sensores son muy sensibles al nivel de humedad de la tierra analizada y que a mayor cantidad de agua mayores los valores registrados por los sensores. En cambio, la compactación de la tierra no afecto significativamente en los registros, pero fue más fácil introducir los instrumentos en la tierra con un menor grado de compactación.

4.1.3 Proximidad entre sensores

Otro aspecto para tomar en cuenta era la afectación de un sensor sobre el otro debido a su proximidad, por lo que se procedió a humedecer la muestra a un 100%, aproximadamente, para analizar si los dispositivos presentaban diferencias notables al estar juntos y al estar separados (en esta prueba solo se incluyeron el sensor NPK y el de conductividad eléctrica por ser físicamente similares, excluyendo el sensor de pH):

Primero se hicieron las pruebas usando un sensor a la vez, al conectar solo el sensor EC se obtuvieron los siguientes resultados:

NO. DE REGISTRO	NO. DE PARCELA	NITROGENO (mg/kg)	FOSFORO (mg/kg)	POTASIO (mg/kg)	PH	CE (us/cm)
338	41	0	0	0	4.04	4
337	41	0	0	0	4.36	5
336	41	0	0	0	4.73	7

Figura 64 Resultados de la prueba de proximidad con la muestra en maceta (solo sensor EC). Fuente: Propia

En el caso del sensor NPK los valores obtenidos se muestran a continuación:

NO. DE REGISTRO	NO. DE PARCELA	NITROGENO (mg/kg)	FOSFORO (mg/kg)	POTASIO (mg/kg)	PH	CE (us/cm)
341	42	39	55	111	4.48	0
340	42	39	55	111	4.23	0
339	42	40	56	112	4.73	0

Figura 65 Resultados de la prueba de proximidad con la muestra en maceta (solo sensor NPK). Fuente: Propia

Se volvió a humedecer la prueba para verificar si esto influía en los valores de los sensores ya estando ambos en la muestra y en efecto hubo un cambio como se muestra en la siguiente imagen:

NO. DE REGISTRO	NO. DE PARCELA	NITROGENO (mg/kg)	FOSFORO (mg/kg)	POTASIO (mg/kg)	PH	CE (us/cm)
354	45	10	15	31	3.98	118
352	45	10	15	30	4.36	119
351	45	10	15	31	4.04	100
350	44	34	48	96	4.23	78
349	44	34	48	96	4.17	78
348	44	34	48	96	4.48	78
347	44	34	11	96	4.11	78
346	43	8	11	23	4.04	118
345	43	8	11	23	4.36	118
344	43	12	17	33	4.17	163
343	43	12	17	34	4.42	164
342	43	12	17	34	4.36	163

Figura 66 Resultados de la prueba de proximidad con la muestra en maceta (sensores NPK Y CE). Fuente: Propia

Lo señalado con el número 1, corresponden a la prueba con ambos sensores instalados, la marca “2” representa a los registrados con el sensor NPK en la maceta y el de conductividad en un vaso con agua con un poco de tierra, finalmente, los señalados con “3” son aquellos donde todos los dispositivos se colocaron al mismo tiempo. De esto se deduce que los niveles de NPK son afectados de manera considerable por la proximidad del sensor de continuidad, por lo que se recomienda hacer las mediciones por separado para evitar el efecto de interferencia.



Figura 67 Sensores Separados (NPK Y PH juntos sin interferirse y el EC en una muestra de agua). Fuente: Propia

Este experimento se repitió con las muestras obtenidas en el municipio de Coacoatzintla y se verificaron las mediciones anteriores separando los sensores de NPK y continuidad, los resultados obtenidos se muestran a continuación incluyendo la medición de pH.

NO. DE REGISTRO	NO. DE PARCELA	NITROGENO (mg/kg)	FOSFORO (mg/kg)	POTASIO (mg/kg)	PH	CE (us/cm)
373	54	0	0	0	5.85	2
372	54	0	0	0	6.16	2
371	54	0	0	0	6.16	2
369	53	8	12	24	13.57	2
368	53	8	12	24	0.75	2
367	53	8	11	23	14.06	2
366	52	3	5	10	0.81	2
365	52	3	5	11	14.44	2
364	52	4	4	12	12.51	2
363	51	3	4	8	10.45	2
362	51	3	4	8	10.08	2
361	51	3	4	8	5.48	2

Figura 68 Prueba de proximidad con los sensores estando en la misma muestra (sensores NPK, PH Y EC). Fuente: Propia

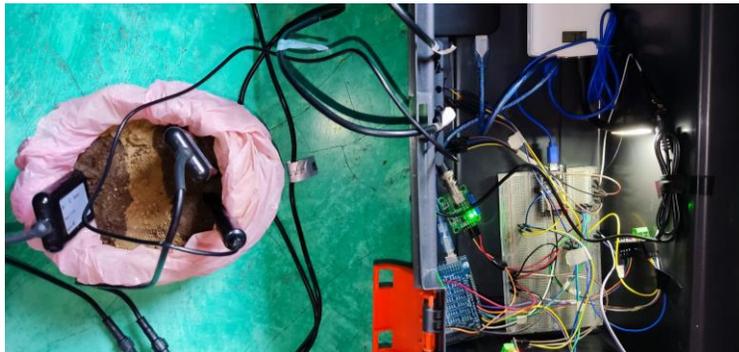


Figura 69 Sensores en la misma muestra en cada extremo (NPK Y PH en un lado y EC en el otro extremo). Fuente: Propia

Las lecturas en el grupo 1 (mostrados en la figura 65) corresponden a mediciones con los tres sensores funcionando, estos primeros registros se realizaron con un porcentaje de humedad bajo (20%), los marcados como “2” con una humedad relativa del 50% presentando mejores lecturas en el sensor NPK y con cambios mínimos en el sensor EC, para el grupo “3” solo quedó conectado el medidor de NPK presentando un aumento en los valores numéricos registrados por éste.

Para el último experimento, se aumentó la humedad relativa (75% aproximadamente) para realizar las pruebas obteniendo los siguientes resultados:

NO. DE REGISTRO	NO. DE PARCELA	NITROGENO (mg/kg)	FOSFORO (mg/kg)	POTASIO (mg/kg)	PH	CE (us/cm)
386	63	15	22	44	13.32	3
385	63	15	23	44	13.19	3
384	63	16	23	48	14.5	3
383	62	31	44	88	15.43	3
382	62	31	43	87	13.32	2
381	62	31	43	87	15.37	2
377	61	17	25	49	14	2
376	61	19	28	54	12.13	2
375	61	20	29	59	10.64	2

Figura 70 Resultados de la prueba con la última muestra (prueba de proximidad entre sensores). Fuente: Propia

Los valores del grupo 1 y 3 muestras todos los sensores funcionando juntos, y en el 2, se quitó el de conductividad eléctrica (EC), en esta prueba al aumentar la humedad relativa se mejoraron las lecturas de NPK.

4.1.4 Interferencia en los sensores por rocas y otros elementos

Para estudiar el efecto de componentes sólidos y orgánicos en la tierra, se realizó un experimento donde se separaron estos elementos de la tierra y se compararon con las mediciones realizadas anteriormente para verificar su efecto. El procedimiento que se llevó a cabo para separar estos elementos, consistió en secar la tierra nuevamente con el fin de eliminar el efecto de la humedad al separar los elementos de la tierra.



Figura 71 Filtrado de muestras de tierra para eliminar rocas, desecho inorgánico, etc. Fuente: Propia

Los resultados de las mediciones se muestran a continuación:

NO. DE REGISTRO	NO. DE PARCELA	NITROGENO (mg/kg)	FOSFORO (mg/kg)	POTASIO (mg/kg)	PH	CE (us/cm)
437	74	7	11	21	4.36	142
436	74	7	11	22	4.48	142
435	74	7	11	22	4.67	142
434	74	7	11	22	4.17	137

Figura 72 Datos obtenidos de la muestra 1 con la tierra filtrada y los 3 sensores conectados. Fuente: Propia

Al compararlos con los datos de la figura 59 se observa que tanto el sensor NPK como el de conductividad presentaron mejores valores, mientras que cambiaron las mediciones de pH, por lo que se procedió a tomar las lecturas de cada una de las variables.

El sensor de pH tuvo los siguientes resultados:

NO. DE REGISTRO	NO. DE PARCELA	NITROGENO (mg/kg)	FOSFORO (mg/kg)	POTASIO (mg/kg)	PH	CE (us/cm)
420	71	0	0	0	6.22	0
419	71	0	0	0	6.16	0
418	71	0	0	0	6.41	0
417	71	0	0	0	7.16	0
416	71	0	0	0	6.47	0
415	71	0	0	0	8.34	0

Figura 73 Datos obtenidos de la muestra 1 con solo el sensor de pH conectado. Fuente: Propia

El sensor de pH sigue presentando variaciones, por lo que se entiende que los materiales orgánicos pueden afectar la medición de este aspecto, y en consecuentes mediciones se deberá tratar la tierra antes de llevar a cabo la medición.

Cuando el sensor NPK está conectado de manera independiente se obtienen los siguientes resultados:

NO. DE REGISTRO	NO. DE PARCELA	NITROGENO (mg/kg)	FOSFORO (mg/kg)	POTASIO (mg/kg)	PH	CE (us/cm)
425	72	12	17	35	3.98	0
424	72	12	17	35	3.92	0
423	72	12	17	35	4.29	0
422	72	12	17	35	4.17	0
421	72	12	17	35	4.48	0

Figura 74 Datos obtenidos de la muestra 1 con solo el sensor de NPK conectado. Fuente: Propia

Aunque los valores obtenidos son de mejor calidad a los de la primera muestra, se sigue recomendando hacer mediciones por separado para los sensores de NPK y continuidad, y al compararlos con los de la figura 63, se ha notado mediciones más estables de los componentes de Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

En el caso del sensor de conductividad eléctrica se obtuvieron los siguientes valores:

NO. DE REGISTRO	NO. DE PARCELA	NITROGENO (mg/kg)	FOSFORO (mg/kg)	POTASIO (mg/kg)	PH	CE (us/cm)
432	73	0	0	0	3.67	0
431	73	0	0	0	3.98	0
430	73	0	0	0	4.11	92
429	73	0	0	0	4.36	92
428	72	0	0	0	4.36	64
427	73	0	0	0	4.17	0
426	73	0	0	0	3.8	0

Figura 75 Datos obtenidos de la muestra 1 con solo el sensor de EC conectado. Fuente: Propia

Para el caso del sensor EC, los registros son nulos en ambientes poco húmedos, ya que no se presenta conductividad y, por ello, se requiere que las muestras tengan una humedad relativa mayor del 50 %.

Se repitió el experimento en una segunda muestra filtrando los materiales que cuentan con la capacidad de producir interferencia obteniendo los resultados que se muestran a continuación:

NO. DE REGISTRO	NO. DE PARCELA	NITROGENO (mg/kg)	FOSFORO (mg/kg)	POTASIO (mg/kg)	PH	CE (us/cm)
454	84	11	16	31	9.77	101
453	84	11	16	32	9.21	100
452	84	11	16	31	10.21	245
451	84	11	15	31	11.64	2

Figura 76 Datos de la muestra 2 con la tierra filtrada y los 3 sensores conectados. Fuente: Propia

Al compararlos con los de la figura 63 se llegan a las mismas conclusiones del experimento anterior.

Se realizó una tercera prueba que generó los siguientes resultados:

NO. DE REGISTRO	NO. DE PARCELA	NITROGENO (mg/kg)	FOSFORO (mg/kg)	POTASIO (mg/kg)	PH	CE (us/cm)
460	91	6	8	17	13.13	27
459	91	6	9	18	13.5	27
458	91	6	8	17	12.13	27
457	91	5	8	16	14.44	32
456	91	6	8	17	12.82	0

Figura 77 Datos obtenidos de la muestra 3 con la tierra filtrada y los 3 sensores conectados. Fuente: Propia

Estos datos se contrastaron con los de la figura 61 y presentaron el mismo comportamiento.

A partir de los tres experimentos realizados, se llega a la conclusión de que es necesario filtrar las muestras de tierra antes de hacer las mediciones a fin de obtener las mejores mediciones de las condiciones reales del estado del suelo, y que las mediciones de NPK y conductividad eléctrica se pueden realizar de manera simultánea, pero en contenedores separados para evitar la interferencia entre los mismos.

4.2 CONCLUSIONES

A través de este documento se ha mostrado el diseño e implementación a nivel prototipo de una arquitectura escalable para la caracterización del suelo cultivable. Esta herramienta será de gran utilidad al permitir analizar los componentes del suelo y obtener los parámetros mínimos necesarios para conocer el estado en el que se encuentra. La solución propuesta resulta a nivel económico accesible para su reproducción y, en caso de así deseárselo, su construcción a mediana escala para contar con los suficientes equipos para realizar estudios de suelo que ayuden a los agricultores a tomar mejores decisiones referentes al cultivo que desean realizar y el manejo que requiera durante su desarrollo, como el relativo a la fertilización de la tierra en sus diferentes etapas de crecimiento.

El objetivo de diseñar una arquitectura escalable se alcanzó al establecer un mecanismo por medio del cual se pueden agregar o eliminar sensores de acuerdo con la necesidad propia del usuario, esto mediante el uso de buses de comunicaciones que permiten anexar nuevos componentes, siendo solo necesario actualizar la programación del microcontrolador. En una siguiente versión se considera establecer un mecanismo mediante una interfaz gráfica que permita agregar o eliminar estos sensores de una manera más transparente para el usuario.

Tomando como base los objetivos específicos establecidos para el diseño de la arquitectura se analizará a continuación las actividades que permitieron el cumplimiento de los mismo:

OBJETIVO ESPECIFICO	ACTIVIDADES REALIZADAS
Identificar las variables que se requieren medir en el suelo para determinar su estado a fin de ser cultivable.	<ul style="list-style-type: none">• Investigación documental sobre dispositivos y arquitecturas mediante el desarrollo de una Revisión Sistemática de la Literatura que generó un artículo publicado.• Reuniones con expertos en el área para presentar el proyecto y aclarar las dudas que se presentaron durante su desarrollo, sobre todo en el tema de análisis de suelos.
Analizar e identificar los sensores ideales para medir las variables sobre las condiciones del suelo que puedan aumentar la producción agrícola.	<ul style="list-style-type: none">• Investigación documental sobre dispositivos y arquitecturas mediante el desarrollo de una Revisión Sistemática

	<p>de la Literatura que generó un artículo publicado.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Selección de los sensores disponibles en el mercado para medir las variables seleccionadas.
<p>Explorar y seleccionar los mecanismos de transmisión y procesamiento de datos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación documental sobre dispositivos y arquitecturas mediante el desarrollo de una Revisión Sistemática de la Literatura que generó un artículo publicado • Evaluación de tarjetas de transmisión de datos inalámbricas (Wifi y Bluetooth), se probaron varios modelos y se compararon su funcionalidad y rendimiento. • Selección de las plataformas de almacenamiento de datos acordes a las necesidades del proyecto. • Selección de plataformas de hosting web y lenguajes de programación para el desarrollo de la interfaz de usuario.
<p>Modelar la propuesta de arquitectura IoT que resuelva el problema de recolección de datos sobre la condición del suelo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de la arquitectura • Implementación modular de cada uno de los sensores • Integración de los sensores en una sola arquitectura • Pruebas por unidad • Pruebas de sistema • Correcciones y ajustes al prototipo

Es de esta manera que se cumplió con el objetivo de diseñar una arquitectura IoT escalable; gracias a las facilidades que ofrece el uso de la plataforma Arduino, es posible que los dispositivos sean agregados o cambiados según las necesidades del usuario, esto permitirá que se usen sensores con una mejor calidad o que permitan medir otras variables diferentes a las ya estudiadas en este trabajo.

Otra de las ventajas de la plataforma Arduino, es el hecho de que los dispositivos que se utilizan para la instrumentación se encuentran a precios muy accesibles permitiendo que el costo del sistema completo sea accesible cubriendo el objetivo de “Evaluar los costos económicos para la construcción de la arquitectura y los

posibles esquemas de escalamiento” al contar con la disponibilidad en el mercado de una gran variedad de tarjetas y sensores, en diferentes modelos y a diferentes costos, permitiendo la escalabilidad del sistema, pudiendo iniciar con un solo sensor y agregando los necesarios de acuerdo a las posibilidades del usuario.

Los elementos más costosos en la implementación fueron los sensores puesto que fue necesario importarlos, sin embargo, hoy en día es mucho más barato adquirir dichos dispositivos mediante las diferentes plataformas de compra en línea que ofrecen muchos beneficios a sus usuarios, solo será necesario seleccionar la que resulte mejor para adquirir los componentes.

En cuanto a los elementos de transmisión y almacenamiento de datos, también se desarrolló de manera que sea fácil agregar las variables necesarias al conectar nuevos sensores al sistema, permitiendo que el software no sea impedimento para la escalabilidad.

Por su parte, la interfaz gráfica de acceso fue elaborada de manera sencilla para permitir que cualquier usuario visualice la información necesaria, presentándole los datos y algunos análisis de acceso rápido de manera tal que sea entendida por los usuarios que no son expertos en el área, como son usuarios finales, logrando integrar a más personas en el uso de las tecnologías.

Algo que es importante destacar es el hecho de que la información está almacenada en la nube, por lo que se visualiza por cualquier dispositivo que cuente con un navegador web, ya sea mediante una conexión wifi o tecnología celular 5G.

Puesto que no se requiere de un acceso wifi fijo, las mediciones se realizan en el momento en que se cuente con dicha conexión, la cual se puede obtener mediante un punto de acceso celular, o también se toman las muestras en sitio y llevarlas para su procesamiento en el laboratorio, proporcionando mayor versatilidad del sistema.

Es mediante todo lo descrito en esta sección que se corrobora que se ha cumplido con los objetivos general y específicos de este proyecto.

4.3 TRABAJOS FUTUROS

Este proyecto es solo el primer paso en el camino que permita la tecnificación del agro del estado de Veracruz, existen diversas líneas de trabajo abiertas para investigaciones futuras, algunas de las cuales surgieron durante el desarrollo de este y pueden ser abordados en el futuro. A continuación, las enumeramos:

- Revisar continuamente los desarrollos en el área de sensores y microcontroladores para mejorar la calidad de las mediciones sin afectar la funcionalidad de la arquitectura.

- Agregar un medio de almacenamiento temporal para hacer las mediciones aun en la ausencia de una conexión estable a Internet, puesto que se identificó esa dificultad en las áreas rurales lejanas de las poblaciones principales
- Agregar un mecanismo de visualización local de la información recolectada sin necesidad de acceder a la página web.
- Construir un segundo prototipo que cuente con una sola placa a la que se encuentren soldados todos los componentes.
- Desarrollo de una herramienta informática que permita el análisis de la información almacenada para encontrar patrones o nuevo conocimiento que ayude a la toma de decisiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

¿Qué es Arduino? | Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea. (2014, noviembre 20). <https://arduino.cl/que-es-arduino/>

ABC Geotechnical Consulting. (2022, 20 abril). SUELOS: ORIGEN y FORMACIÓN - ENSAYOS [GRATIS]. Geotecnia y Mecánica de Suelos. <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/origen-formacion-suelos/>

Aguilar, R. C., Rodríguez, J. A. L., Gómez, M. U., & Medel, R. R. (2014). EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DEL SISTEMA AGROFORESTAL TRADICIONAL CAFÉ- PLÁTANO-CÍTRICOS EN EL MUNICIPIO DE TLAPACOYAN, VERACRUZ, MÉXICO. 6. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93931761024.pdf>

Alberto, J. P. L., Adrián, V. V. W., & Fernando, V. E. N. (2014). Estado del arte de las arquitecturas de internet de las cosas (iot). UPM. https://www.academia.edu/download/33823351/MasterTelematica_TrabajoFinalAsignatura_Arquitectura_y_Gestion_de_Servicios_Telematicos_v33.pdf

Amazon.com: Sensor de conductividad del suelo, 4-20MA profesional impermeable sensor de conductividad del suelo medidor detector de monitor: Patio, Césped y Jardín. (s. f.). Recuperado 5 de mayo de 2024, de <https://www.amazon.com/-/es/conductividad-profesional-impermeable-medidor-detector/dp/B082V7JC6R>

Arduino Uno Rev3 A000066. (s. f.). UNIT Electronics. Recuperado 5 de mayo de 2024, de <https://uelectronics.com/producto/arduino-uno-rev3/>

Carrizo, D., & Moller, C. (2018). Estructuras metodológicas de revisiones sistemáticas de literatura en Ingeniería de Software: Un estudio de mapeo sistemático. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 26, 45-54. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052018000500045>

Castellanos, J. Z. (2000). Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas (2.a ed.). Intagri.

Castellanos, J. Z., Etchevers Barra, J. D., Peña Dantoli, M., Garcia Huerta, S., Ortiz-Monasterio, I., Arango González, A., Macías Cervantes, J., & Venegas Villarroel, C. (2019). ¿Cómo crece y se nutre una planta de maíz? Fertilab.

Celestrini, J. R., Rocha, R. N., Saleme, E. B., Santos, C. A. S., Filho, J. G. P., & Andreão, R. V. (2019). An architecture and its tools for integrating IoT and BPMN in agriculture scenarios. *Proceedings of the 34th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing*, 824-831. <https://doi.org/10.1145/3297280.3297361>

Computerweekly. (2021). ¿Qué es MySQL? ComputerWeekly.es. <https://www.computerweekly.com/es/definicion/MySQL>

Editorial Etecé, E. (2018, agosto 2). Suelo—Concepto, tipos, composición y características. Concepto. <https://concepto.de/suelo/>

Gaikwad, S. V., Vibhute, A. D., Kale, K. V., & Mehrotra, S. C. (2021). An innovative IoT based system for precision farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187, 106291. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106291>

Gomez Fuentes, M. D. C., & Cervantes Ojeda, J. (2017). Introducción a la Programación Web con Java: JSP y Servlets, JavaServer Faces. <http://ilitia.cua.uam.mx:8080/jspui/handle/123456789/996>

Gómez, J. E., Castaño, S., Mercado, T., Fernandez, A., & Garcia, J. (2017). Sistema de internet de las cosas (IoT) para el monitoreo de cultivos protegidos. *Ingeniería e Innovación*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.21897/23460466.1101>

González, D. R. (2013). Arquitectura y Gestión de la IoT. *Telemática*, 12(3), 49-60. <https://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/view/119>

Gresl, J. (2020). IMPROVING SUSTAINABILITY IN AGRICULTURE USING WIRELESS SENSOR NETWORKS. 50. https://cmps-people.ok.ubc.ca/rlawrenc/research/Students/JG_20_Thesis.pdf

Gsangaya, K. R., Hajjaj, S. S. H., Sultan, M. T. H., & Hua, L. S. (2020). Portable, wireless, and effective internet of things-based sensors for precision agriculture. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(9), 3901-3916. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02737-6>

Guillermo, J. C., García-Cedeño, A., Rivas-Lalaleo, D., Huerta, M., & Clotet, R. (2019). IoT Architecture Based on Wireless Sensor Network Applied to Agricultural Monitoring: A Case of Study of Cacao Crops in Ecuador. En J. C. Corrales, P. Angelov, & J. A. Iglesias (Eds.), *Advances in Information and Communication Technologies for Adapting Agriculture to Climate Change II* (pp. 42-57). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04447-3_3

Guineape. (2022, febrero 14). ¿Qué es la arquitectura IoT? | Guinea Mobile. <https://guinea.pe/blog/arquitectura-iot/>

HQL [cursohibernate]. (2023, julio 4). http://www.cursohibernate.es/doku.php?id=unidades:05_hibernate_query_language:02_hql

Khattab, A., Abdelgawad, A., & Yelmarthi, K. (2016). Design and implementation of a cloud-based IoT scheme for precision agriculture. 2016 28th International Conference on Microelectronics (ICM), 201-204. <https://doi.org/10.1109/ICM.2016.7847850>

Li, X., Zhao, N., Jin, R., Liu, S., Sun, X., Wen, X., Wu, D., Zhou, Y., Guo, J., Chen, S., Xu, Z., Ma, M., Wang, T., Qu, Y., Wang, X., Wu, F., & Zhou, Y. (2019). Internet of Things to network smart devices for ecosystem monitoring. *Science Bulletin*, 64(17), 1234-1245. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2019.07.004>

Mariscal Méndez, A., Ramírez Miranda, C. A., & Pérez Sánchez, A. (2017). Soberanía y Seguridad Alimentaria: Propuestas políticas al problema alimentario. *Textual*, 69, 9-26. <https://doi.org/10.5154/r.textual.2017.69.001>

Mishra, D., Pande, T., Agrawal, K. K., Abbas, A., Pandey, A. K., & Yadav, R. S. (2019). Smart agriculture system using IoT. *Proceedings of the Third International Conference on Advanced Informatics for Computing Research*, 1-7. <https://doi.org/10.1145/3339311.3339350>

Módulo MAX485 Conversor RS485 a Serial TTL. (2023). *Naylamp Mechatronics - Perú*. <https://naylampmechatronics.com/conversores-ttl/62-conversor-rs485-a-serial-ttl.html>

Montoya, E. A. Q., Colorado, S. F. J., Muñoz, W. Y. C., & Golondrino, G. E. C. (2017). Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IoT. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, 24, 39-56. http://scielo.pt/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1646-98952017000400005&lng=pt&nrm=iso&tlng=es

Ornelas, J. L. A., Reyes, C. F., González, L. G., & Carrillo, N. S. (2021). El conocimiento tradicional como práctica erudita entre productores de café en Xico, Veracruz, México. *Antropología Cuadernos de investigación*, 24, 114-130. <https://doi.org/10.26807/ant.vi24.235>

Parra-Valencia, J. A., Guerrero, C. D., & Rico-Bautista, D. (2017). IOT: Una aproximación desde ciudad inteligente a universidad inteligente. *Revista Ingenio*, 13(1), 9-20. <https://doi.org/10.22463/2011642X.2128>

Pérez, M. R., Mendoza, M., & Suarez, M. J. (2019). Paradigma IoT. Desde su conceptualización hacia su aplicación en la agricultura. Undefined. <https://www.semanticscholar.org/paper/Paradigma-IoT.-Desde-su-conceptualizaci%C3%B3n-hacia-su-P%C3%A9rez-Mendoza/e57826f6ae47dd3ed375cc5a95a88b04852d7645>

Prakash, M. (2021). REMOTE SENSING AND MANAGEMENT OF IOT-BASED AGRICULTURAL ELEMENTS. 8(2), 10. <https://www.ijiser.in/paper/2021/vol8issue2/Feb2021p102.pdf>

Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur, M. (Uruguay), & Agricultura (IICA), I. I. de C. para la. (2006). Agricultura de precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. IICA. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/7408>

Ramírez Madrid, D. A. (2018, agosto). Metodología para la implementación de IoT. Universidad Distrital Francisco José Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/13742/RamirezMadridDavidAndres2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rodríguez González, D. (2013). Arquitectura y Gestión de la IoT. Telemática, 12(3), 49-60. <https://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/view/119>

Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Universidad de la República: Facultad de agronomía. Montevideo, Uruguay. https://www.academia.edu/38076788/FACULTAD_DE_AGRONOM%C3%8DA_Pr opiedades_F%C3%ADsicas_del_Suelo

Sensor analógico de pH de 0-14. (2018, febrero 3). Electronilab. <https://electronilab.co/tienda/sensor-analogico-de-ph-de-0-14/>

Sensores de nitrógeno/fósforo/potasio del suelo (salida RS485). (s. f.). Grupo EIC Iberia. Recuperado 25 de noviembre de 2022, de <https://eiccontrols.com/es/inicio/480-sensores-de-nitrogeno-fosforo-y-potasio-del-suelo-salida-4-20ma.html>

Sentencias HQL en hibernate—Pablo Monteserín. (2020, mayo 15). <https://pablomonteserin.com/cursos/hibernate-jpa/hql/>

Sureshkumar, P. H., & Akshatha, M.(2018) The Analysis of Different Types of IoT Sensors for smart agriculture and Management. <https://www.stphilos.ac.in/wp-content/uploads/2018/12/The-Analysis-of-Different-Types-of-IoT-Sensors-for-smart-agriculture-and-Management.pdf>

Tonato Chuquimarca, C. E., & Sinche Maita, S. (2022). Análisis comparativo entre arquitecturas de sistemas IoT. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información: RITI*, 10(Extra 21), 55-70. <https://riti.es/index.php/riti/article/view/18>

Vargas, Y., & Cecilia, D. (2019). Arquitectura de Interoperabilidad de dispositivos físicos para el Internet de las Cosas (IoT) [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València]. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/129858>

Voutos, Y., Mylonas, P., Spyrou, E., & Charou, E. (2018). An IoT-Based Insular Monitoring Architecture for Smart Viticulture. 2018 9th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA), 1-4. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8633630>

Zapata, K. P. T., & Cárdenas, J. D. J. (2019). AGRICULTURA 4.0. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería. <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/210>

ANEXO A: CARACTERÍSTICAS DE LOS DISPOSITIVOS UTILIZADOS PARA CREAR LA ARQUITECTURA

Placa de Arduino

La placa de Arduino a utilizar para este proyecto es la Arduino uno, sus características son:

- Microcontrolador: ATmega328P
- Tensión de funcionamiento: 5V
- Voltaje de entrada (recomendado): 7 a 12 V
- Voltaje de entrada (límite): 6 a 20 V
- Pines de E / S digitales: 14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
- Pines de entrada analógica: 6
- Corriente CC por pin de E / S: 20 mA
- Corriente CC para pin de 3.3V: 50 mA
- Memoria flash: 32 KB (ATmega328P) de los cuales 0,5 KB utiliza el gestor de arranque
- SRAM: 2 KB (ATmega328P)
- EEPROM: 1 KB (ATmega328P)
- Velocidad de reloj: 16 MHz
- Microcontrolador CMOS de 8 bits
- LED_BUILTIN 13
- Largo 68.6 milímetros
- Ancho 53.4 milímetros
- Peso 25 g

Sensores de nitrógeno/fósforo/potasio del suelo

Sus características son:

- Material: ABS
- Color: como se muestra en la imagen
- Longitud (no incluye cable): aprox. 14 cm/5,5 pulgadas
- Ancho: aprox. 4 cm/1,6 pulgadas
- Peso: aprox. 203 g/7,2 oz
- Rango de medición: 0-1999 mg/kg
- Humedad de trabajo: 5 a 95 % (humedad relativa), sin condensación
- Precisión de medición: $\pm 2\%$ F.s
- Resolución: 1mg/kg (mg/l)
- Velocidad de transmisión: 2400/4800/9600
- Tiempo de respuesta (T90, segundos): menos de 10
- Puerto de comunicación: RS485
- Temperatura de Trabajo: 5 a 45°C

- Fuente de alimentación: 12 V-24 V CC
- Clase de protección: IP68
- .w-e-text tabla td,.w-e-text tabla th,;.w-e-text tabla.

Sensor de PH

Sus características son:

- rango de pH: 0-14 pH
- Rango de temperatura: 0-80 C
- Voltaje del calentador: 5 más o menos 0,2 V
- Corriente de trabajo: 5-10 mA
- punto cero : 7 más o menos 0.25PH
- Alkali Error: igual o inferior a 15 mv
- Tiempo de sedimentación: igual o inferior a 60S
- Potencia: igual o inferior a 0,5 W
- Tiempo de respuesta: igual o inferior a 5S
- Adecuado para una amplia gama de aplicaciones: acuarios, hidroponía, laboratorio, etc.
- Tamaño del módulo: 42* 32* 20 mm
- Tamaño del paquete: 25* 9* 4 cm
- Peso del paquete: 145 g

Sensor de Conductividad Eléctrica (EC) de Suelo

Sus características son:

- Material: ABS
- Color: Como se muestra en la imagen
- Tamaño: Approx.13.8x1.5cm / 5.4x0.6in (L x T)
- Peso: Approx.197g / 6.9oz
- Aplicación: Utilizado como sensor EC del suelo
- Fuente de alimentación: 12-24V DC
- Rango de medición de la CE: 0-10000us/cm
- Resolución CE: 10 us/cm
- Entorno de almacenamiento: -45 °C -115 °C
- Tiempo de respuesta: <1s
- Forma de instalación: Toda la sonda enterrada en el medio medido.
- Grado de protección: IP68
- Consumo de energía: < 0.15 W
- Rango de presión de trabajo: 0.9-1.1atm

Módulo De Comunicación Rs485 Con Max485

Sus características son:

- Voltaje de alimentación: 5V DC
- Corriente de operación: 500 uA (máx)
- Chip conversor: MAX485
- Interfaz microcontrolador Serial UART TTL
- Tipo de comunicación: Half-Duplex
- Velocidad máxima de 10 Mbit/s (a 12 metros)
- Distancia máxima de alcance de 1200 metros (a 100 kbit/s)
- Dimensiones: 44*14*20 mm
- Peso: 4 gramos