

A QUIEN CORRESPONDA:

Por medio de la presente me permito informar que se ha recibido en conformidad el informe técnico del proyecto "DISEÑO DE ARQUITECTURA IOT ESCALABLE PARA CARACTERIZACIÓN DEL SUELO CULTIVABLE DE LA REGIÓN MONTAÑOSA CENTRAL DEL ESTADO DE VERACRUZ" desarrollado en el periodo del 4 de abril del 2022 al 1 de diciembre del 2023, con la participación de M.C. Omar Alba Hernández, Dr. Rodrigo Rodríguez Franco, MTR Miguel Ángel Sánchez Martínez, el cual cumple con:

Innovación: Se desarrolló un instrumento que permite la medición de los principales macronutrientes (Nitrógeno, Fosforo y Potasio) además de la conductividad eléctrica y pH del suelo en las parcelas de cultivo de maíz, permitiendo almacenar la información en una base de datos con la información propia de la parcela para un posterior uso.

Originalidad: Actualmente existen medidores de macronutrientes NPK, pero ninguno que registre además la conductividad eléctrica y el pH del suelo, además con esta herramienta, puesto que se puede almacenar la información, se podrá realizar posteriormente un sistema que permita analizar las características del suelo a lo largo de un periodo de tiempo.

Además, ha contribuido en la formación de:

Recursos humanos del TecNM

| Nombre del alumno/a | Programa Académico | Número de control |
|-------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| Miguel Carrillo Alarcón | Maestría en Sistemas Computacionales | 217002466 |

Recursos humanos del H. Ayuntamiento constitucional de Coacoatzintla

| Nombre | Puesto o rol |
|----------------------------------|----------------------------|
| David Alexander Hernández Rivera | Director de Medio Ambiente |

Coacoatzintla Ver. a 5 de diciembre de 2023

Atentamente

Daniel Martínez Tirado
Director de Fomento Agropecuario



H. AYUNTAMIENTO CONSTITUCIONAL
DE COACOATZINTLA, VER.
2022 - 2025
FOMENTO AGROPECUARIO MUNICIPAL

Instituto Tecnológico Superior de Xalapa
Subdirección de Posgrado e Investigación

Informe técnico del proyecto:

DISEÑO DE ARQUITECTURA IOT ESCALABLE
PARA CARACTERIZACIÓN DEL SUELO
CULTIVABLE DE LA REGIÓN MONTAÑOSA
CENTRAL DEL ESTADO DE VERACRUZ

Xalapa-Enríquez Veracruz a 5 de diciembre de
2023.



Sección 5ª Reserva Territorial s/n col. Santa Bárbara, Xalapa-Enríquez, Ver., C.P. 91096 Tel.
165 0525 , e-mail: omar.ah@xalapa.tecnm.mx



Contenido

| | |
|---|----|
| Introducción | 3 |
| Estado del arte..... | 5 |
| Objetivos..... | 7 |
| Objetivo General | 7 |
| Objetivos Específicos | 7 |
| Justificación..... | 7 |
| Innovación | 8 |
| Originalidad | 8 |
| Participación de Recursos Humanos..... | 8 |
| Resultados y Conclusiones..... | 10 |
| Determinación de variables de caracterización | 10 |
| Selección de sensores y otros dispositivos electrónicos | 11 |
| Selección de tecnologías y herramientas de presentacion de datos..... | 14 |
| Construcción de la arquitectura..... | 16 |
| Página de visualización de datos | 24 |
| Conclusiones..... | 31 |
| Referencias bibliográficas..... | 31 |

Introducción

Los avances tecnológicos de los últimos años han alcanzado diferentes áreas del desarrollo como lo son la miniaturización de chips y de diversos sistemas microelectromecánicos, de igual manera ha alcanzado el área de 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 se deriva del avance de la tecnología y a la necesidad de compartir y controlar las cosas que nos rodean (González, 2013).

El IoT está conformado por tres diferentes capas o niveles:

- El nivel básico corresponde a la etapa de sensores, los cuales se encargan de ser la fuente de información capturando diferentes tipos de datos en diversos formatos.
- El siguiente nivel 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.

Estas diferentes 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, se han fusionado para ofrecer un nuevo nivel de servicios. TI no es sólo hablar de computadores, dispositivos móviles, sensores, redes, es hablar de nuevos conceptos y paradigmas socio-tecnológicos (Parra-Valencia et al., 2017)

Existen diferentes campos dónde 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, las distintas aplicaciones y sitios web dedicados al aprendizaje, las

distintas 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 la aplicación de IoT en la industria ha hecho que distintas personas se hayan propuesto aplicar estos mismos principios para la agricultura haciendo que su aplicación en la misma nos lleve a entrar a algo conocido como 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 procesos 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 deriven en conocer el estado de los cultivos, 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 necesario 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).

La aplicación de todas estas tecnologías para mejorar la producción de los cultivos y la eficiencia agrícola en general establecen las condiciones que permitan el desarrollo de esta agricultura 4.0.

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

La incorporación de sistemas vibro sensores y dispositivos microelectrónicos hacen parte fundamental para que las condiciones de la planta sean optimas y el clima no sea un factor determinante para su crecimiento obteniendo resultados eficientes y eficaces en la agricultura 4.0 por ejemplo, al lograr que solo la cantidad de macronutrientes y micronutrientes sean suministradas a los cultivos y con ello evitando dar proporcionar más, o menos de los necesarios (Zapata & Cárdenas, 2019).



El uso de sensores y dispositivos micro electromecánicos nos permiten conocer distintos elementos del suelo como son la composición química del suelo, el nivel de pH, nivel de humedad, cantidad de materia orgánica, etc, Conocer estos elementos puede permitir tomar una mejor decisión 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 y sobre todo, al recoger esta información y hacer comparativas con datos almacenados en la nube se pueden obtener resultados estandarizados de los componentes del suelo, permitiendo que tomar decisiones con respecto al mismo se pueda hacer de manera más fácil y sobre todo precisa para poder lograr un mayor aprovechamiento del suelo.

Estado del arte

A continuación se presenta la respuesta a las preguntas de investigación, este es el resultado del análisis realizado a los estudios recopilados en la revisión sistemática de literatura.

Como resultado de la investigación se encontró que en la mayor parte de los proyectos descritos en los documentos lo que se presenta son arquitecturas IoT, (Gaikwad et al., 2021) nos presenta un ejemplo de arquitectura en el cual mediante la combinación de un kit de arduino y los sensores integrados a este, aplicación para teléfonos y un servidor de base de datos se analizan variables como humedad y temperaturas del suelo con el fin de ser utilizado en agricultura de precisión, sin embargo otras tecnologías presentadas fueron, sensores en solitario como el de (Mishra et al., 2019) usado para el monitoreo sencillo de temperatura y humedad para reducir las dificultades de los agricultores indios y brindar precisión en la medición de los parámetros relacionados con los cultivos, midiendo valores precisos tomados en diferentes intervalos de tiempo, en los diferentes análisis descritos por (Li et al., 2019) la reflectometría hace uso de la propiedad de eléctrica del suelo para poder medir la humedad, o el infrarrojo para medir calor y fluctuaciones de humedad, ambos proyectos se utilizan para el monitoreo de ecosistemas sin embargo es aplicable a la agricultura.

En cuanto al número de capas de las cuales están formadas las arquitecturas encontradas en la mitad de las encontradas son de 3 capas como la arquitectura implementada por (Khattab et al., 2016) que se compone de tres capas: 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 arquitectura que se compone de 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.

Con respecto a las variables registradas, aunque son muchas las variables que se registran en las distintas arquitecturas, las que más se miden fueron: humedad, temperatura y luminosidad, solo algunos proyectos usan sensores para medir el PH el cual también es importante para el crecimiento de las plantas

En cuanto a las tarjetas microcontroladoras para adquisición de datos más usados son Rasperri Pi como en el proyecto de (Voutos et al., 2018) que hace uso de la Raspberry Pi 3, o Arduino usando en el sensor portable de (Gsangaya et al., 2020) el cual uso la placa Arduino Uno R3, sin embargo otros proyectos usando dispositivos como Xbee como con (Guillermo et al., 2019) en el cual funge 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).

Referente a los dispositivos utilizados por la arquitectura de precisión, hacen uso de dispositivos en los cuales la información obtenida es digital, por ejemplo en el dispositivo creado por (Mishra et al., 2019) los sensores de temperatura y humedad contaban con pines para datos digitales (aunque también contaba con pines para datos analógicos) sin embargo en la arquitectura de (Prakash, 2021) los sensores obtenían información analógica la cual envía al microprocesador para su transformación digital.

Para procesar y visualizar la información se utilizaron diferentes dispositivos como fueron los celulares, 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 pueden acceder 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 como computadoras como el caso de (Guillermo et al., 2019) el cual desarrollo 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 cuanto a las tecnologías de comunicaciones utilizadas en los sistemas IoT, la tecnología dominante en los diferentes proyectos para transmitir información es a través de wifi con un 73% de los proyectos, solo unos casos usaron otras tecnologías como el bluetooth que en el caso de (Celestrini et al., 2019) lo incluyo entre las varias tecnologías de conectividad que usa, la tecnología 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, sin embargo, en proyectos como el de (Gaikwad et al., 2021) que al ser un sensor portable debe de tener de modos de recopilación de datos en línea y fuera de línea para el caso de ocasiones donde no se cuente con red se almacenan de manera local hasta poder ser enviados 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, 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 con los datos obtenidos se realiza una aplicación de reglas automatizadas, 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 controlar bombas y rociadores.

Objetivos

Objetivo General

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

Objetivos Específicos

- Identificar las variables que se requieren medir en el suelo desarrollar una agricultura de precisión.
- Analizar e identificar los sensores necesarios para medir las variables sobre las condiciones del suelo que puedan afectar 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.

Justificación

La alimentación es una de las necesidades básicas del ser humano, esencial para tener un crecimiento tanto físico como psicológico de manera plena y poder lograr una alimentación digna es necesario que se tenga seguridad y soberanía alimentaria.

La seguridad alimentaria se da cuando las personas tienen en todo momento, acceso físico y económico a cantidades suficientes de alimentos sanos para satisfacer sus

necesidades básicas de alimentación y poder lograr por consecuencia, una vida sana y activa.

Para poder lograr esta seguridad alimentaria los Programas Nacionales Estratégicos del Conacyt (Pronaces) hacen mucho énfasis en que se desarrolle en nuestro país la soberanía alimentaria, 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 que permitan transformar los sistemas alimentarios de la nación para poder producir alimentos saludables y culturalmente apropiados para la población.

Una de las estrategias que se pueden establecer 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 siguen basando en los conocimientos tradicionales y la experiencia adquirida a lo largo de los años sin que se tomen en cuenta las características de los suelos para poder elegir fertilizantes y cualquier otro producto que enriquezca la tierra para una mejora de 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.

Innovación

El proyecto desarrollado para la Dirección de Fomento Agropecuario de Coacoatzintla representa una innovación disruptiva, ya que hasta el momento los productores de maíz y otros cultivos de la región no llevan a cabo estudios de suelo antes, durante y posterior al proceso de siembra, por lo que no conocen las características de su suelo. Usando en ocasiones proporciones de fertilizantes que en lugar de ayudar perjudican al cultivo.

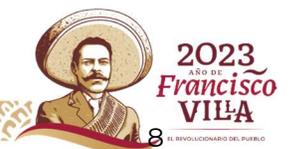
Originalidad

El grado de originalidad consiste en el hecho de que hasta el momento en el que inicio el proyecto no existía ningún sistema que pudiera registrar de una sola vez las cinco variables que se están presentando: Nitrógeno, Potasio, Fosforo, pH y conductividad eléctrica, además del hecho de poder guardar los datos en Internet para poder ser procesados posteriormente, que será el objetivo de un proyecto posterior.

Participación de Recursos Humanos



Sección 5ª Reserva Territorial s/n col. Santa Bárbara, Xalapa-Enríquez, Ver., C.P. 91096 Tel.
165 0525 , e-mail: omar.ah@xalapa.tecnm.mx



En el presente proyecto intervinieron los siguientes recursos humanos, indicando su participación en el mismo.

| Nombre | Trabajo realizado |
|-----------------------------------|--|
| Miguel Carrillo Alarcón | <ul style="list-style-type: none"> • Revisión bibliográfica del estado del arte • Consulta con expertos de INECOL • Desarrollo de prototipo |
| M.C. Omar Alba Hernández | <ul style="list-style-type: none"> • Revisión bibliográfica del estado del arte • Consulta con expertos de INECOL • Selección de tarjeta programadora • Selección de sensores • Diseño de pruebas • Análisis de resultados |
| Dr. Rodrigo Rodríguez Franco | <ul style="list-style-type: none"> • Revisión bibliográfica del estado del arte • Consulta con expertos de INECOL • Diseño de la base de datos • Diseño de experimentos • Diseño de herramienta Web |
| MTR Miguel Ángel Sánchez Martínez | <ul style="list-style-type: none"> • Revisión bibliográfica del estado del arte • Validación de requerimientos • Diseño de aplicación web • Selección de dispositivos de telecomunicaciones. |

Resultados y Conclusiones

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 etapas de crecimiento sin embargo para optimizar su producción se debe tener en consideración que la etapa más importante para la absorción de nutrientes en este cultivo es durante el estiramiento del tallo (V6 a floración) (Yara México, 2019), para incrementar el rendimiento se deben de aplicar estrategias eficientes de fertilización fijándose en los principales nutrientes que necesita este cultivo, estos pueden ser catalogados por macronutrientes y micronutrientes.

Los macronutrientes son los nutrimentos que necesita en cantidades mayores los cultivos, en cambio los micronutrientes, son los que se necesitan en cantidades inferiores, tomando esto como base y teniendo en cuenta que en la etapa más importante del cultivo del maíz los principales macronutrientes requeridos son el nitrógeno, fósforo y potasio estos serían tomados como variables a tomar en cuenta para el diseño de la arquitectura.

Nitrógeno (N)

Nitrógeno se requiere en cantidades grandes e influye en maximizar el crecimiento en materia seca y cosecha. Más de 200 kg/ha se requiere para obtener una cosecha de 7t/ha. Niveles más altos que en cualquier otro nutriente, aproximadamente 16 kg/t, 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 una buena disponibilidad de nitrógeno (Yara México, 2019).

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 una buena raigambre y para impulsar el desarrollo de brotes y follaje. Las plantas absorben aproximadamente 85 kg P₂O₅/ha. El potasio se requiere en cantidades grandes, o sea niveles equivalentes a los de nitrógeno. La absorción total rodea los 200kg/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 en los suelos tiene 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 de los suelos por lo cual también serán consideradas variables para este proyecto

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).

Conductividad Eléctrica (CE)

El desarrollo de los cultivos entre ellos los del maíz pueden verse 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 podemos conocer la salinidad de los suelos es mediante la conductividad eléctrica (CE).

La CE mide la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica al aprovechar la propiedad de las sales en la conducción de esta; por lo tanto, la CE mide la concentración de 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 de sales (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.

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.

Arduino

Arduino es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador re-programable 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? | Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea, s. f.).

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. De esta manera 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.



Figura 1 Placa Arduino Mega

Sensores utilizados

En este proyecto el objetivo es la creación de una arquitectura IoT escalable que permita al agro veracruzano la caracterización del suelo en 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 en este proyecto.

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

Sensores 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 mediante la detección del contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo, facilitando así la evaluación sistemática del estado del mismo.

Puede ser enterrado en el suelo durante mucho tiempo, resistente a la electrólisis a largo plazo, a la corrosión, a las macetas al vacío, completamente impermeable. 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 2 Sensor NPK

Sensor de pH

El pH es nos indica la cantidad de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica el número de iones hidronio $[H_3O^+]$ presentes en algunas sustancias. Este sensor permite medir de forma simple el pH gracias a su placa controladora que ofrece un valor analógico en concordancia a la medición.



Figura 3 Sensor de pH

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



Figura 4 Sensor EC

Módulo De Comunicación Rs485 Con Max485

El Módulo MAX485 Conversor RS485 a Serial TTL permite conectar microcontroladores como Arduino a distancias de hasta 1km utilizando RS485. Basado en el chip Maxim MAX485, permite comunicación tipo half-duplex, si deseamos 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, s. f.).

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.

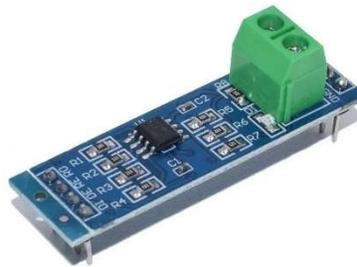


Figura 5 Modulo Rs485

Selección de tecnologías y herramientas de presentación de datos

El dispositivo utilizado para procesar la información que se vaya extrayendo de los sensores será una página web con la configuración necesaria para mostrar y analizar esos datos, esta página 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.

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. De esta forma, cuando una página es solicitada por un usuario y procesada por un servidor HTTP, el código HTML pasará directamente al usuario, mientras que las porciones de código Java serán ejecutadas en el servidor cuando la solicitud haya sido recibida, 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 %>`.

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).

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 [Curso Hibernate], s. f.).

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 no se

realizarán sobre las tablas de la base de datos, sino sobre los objetos vinculados a una tabla en la base de datos (Sentencias HQL en hibernate - Pablo Monteserín, 2020).

Construcción de la arquitectura

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



Figura 6 Sensor de Conductividad Eléctrica



Figura 7 Sensor de acidez (PH)



Figura 8 Sensor de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK)

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:

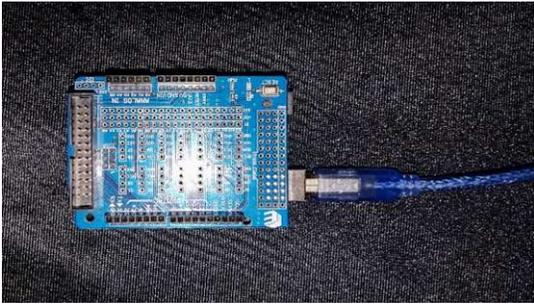


Figura 9 Placa Arduino Uno

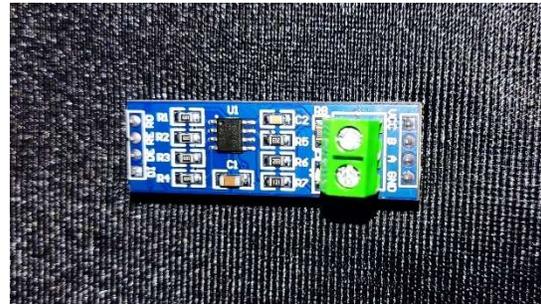


Figura 11 Módulo De Comunicación Rs485 Con Max485



Figura 10 Pantalla LCD

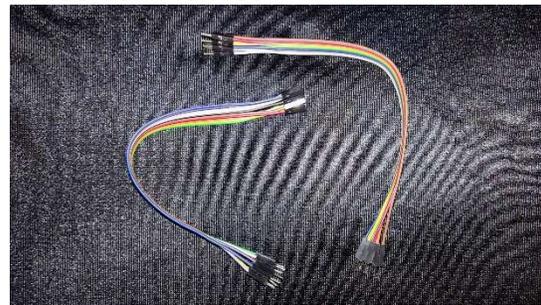


Figura 12 Jumpers

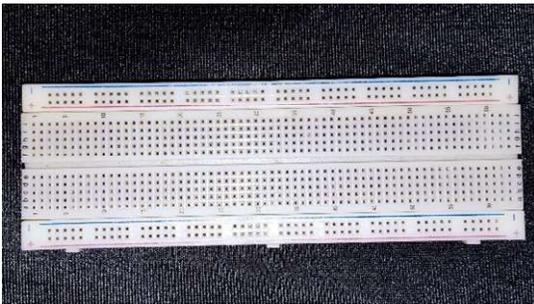


Figura 13 Protoboard



Figura 14 Batería Recargable 5000mah
5v 9v 12v





Lo primero que se realizó fue una prueba para comprobar el funcionamiento de las pantallas LCD en la cual se pudo verificar 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

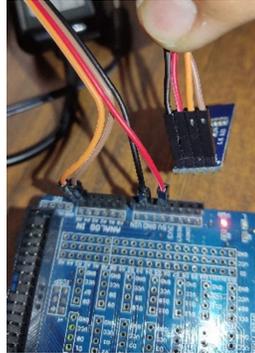


Figura 15 Conexión del LCD a la placa

Para el sensor NPK se utilizaron las siguientes conexiones:

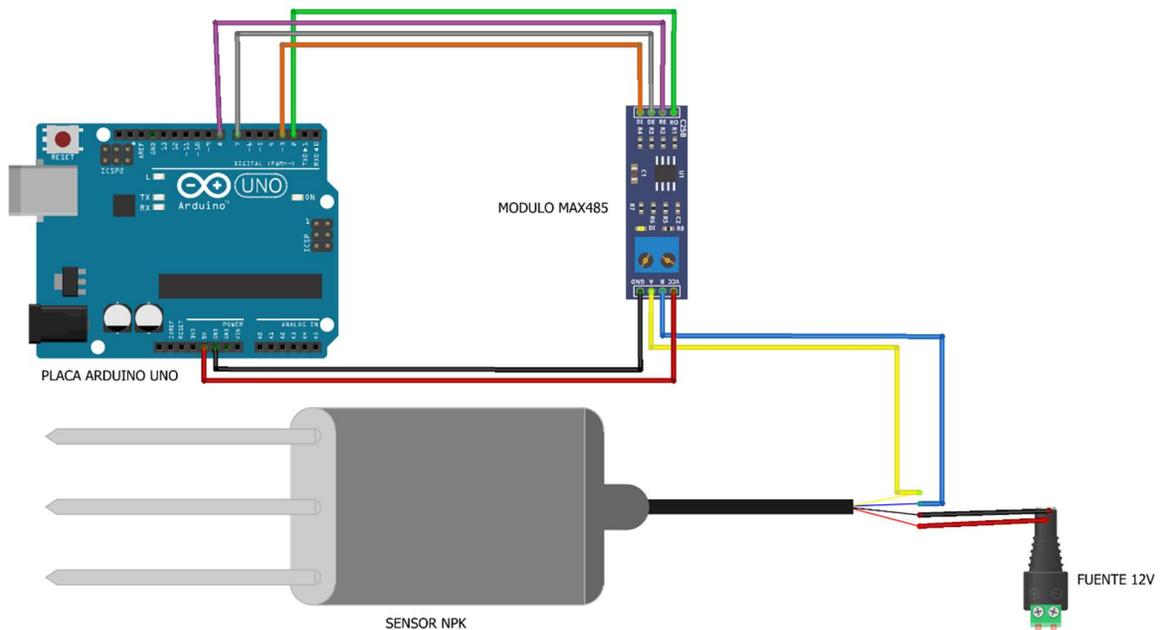


Figura 16 Diagrama de conexiones sensor NPK

Se conecto a la placa de Arduino con la laptop y se subió el programa correspondiente al microcontrolador de la placa.

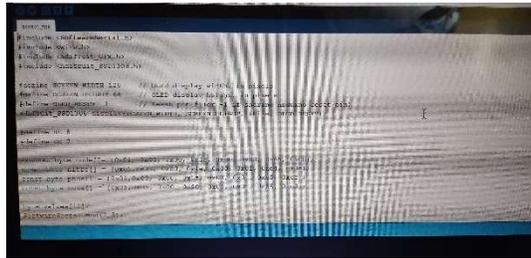


Figura 17 Programa de control para el sensor NPK

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

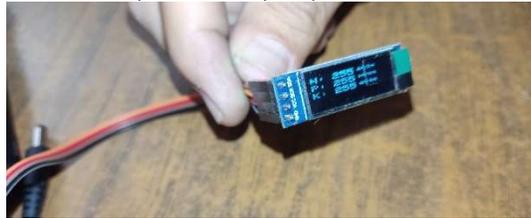


Figura 18 Pantalla de para mostrar los datos del sensor NPK

Ya con todos los dispositivos conectados se procedió a hacer las primeras pruebas utilizando una maceta con la tierra seleccionada para hacer las pruebas. Sin embargo, las pruebas no fueron satisfactorias ya que el sensor no enviaba los datos a la pantalla por lo cual se hicieron nuevas pruebas de conexión. Se procedió a conectar la placa de Arduino directamente a la computadora para que de esa manera fuera alimentada de energía y la batería recargable de 12 voltios fue conectado directamente al sensor.

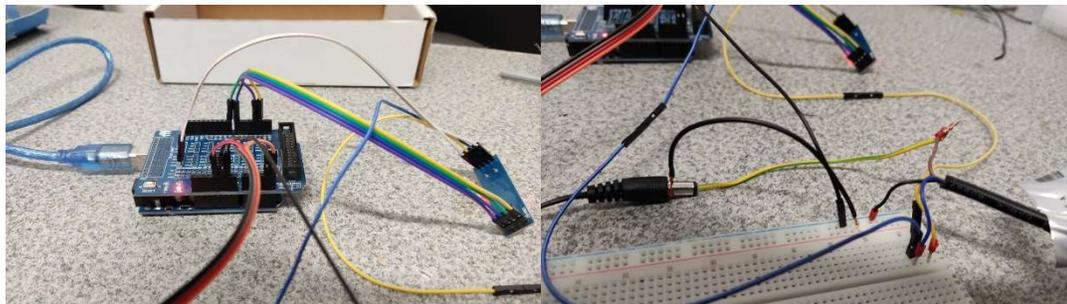


Figura 19 Conexiones de energía

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

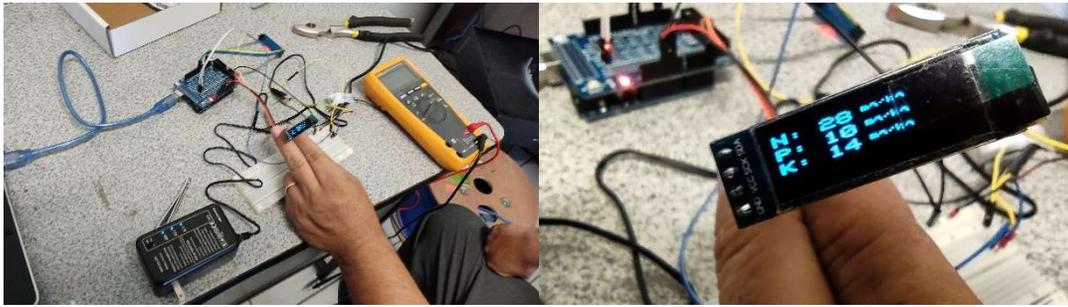


Figura 20 conexión completa y datos en la pantalla

Al buscar realizar nuevas conexiones con los otros sensores se reconoció que los cables jumper que conectan la batería con el sensor hace un falso contacto por lo cual se le adaptó un conector DC para la alimentación eléctrica fuera estable.



Figura 21 Conector de alimentación DC

Después se procedió a realizar la conexión del sensor de conductividad eléctrica y para ello se implementó una batería de manera que se alimentara la tarjeta de Arduino de manera independiente, haciendo así la arquitectura más portable.

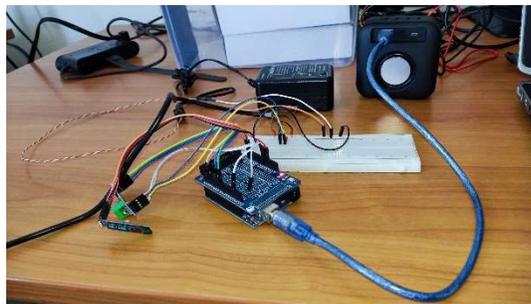


Figura 22 Alimentación a la placa de Arduino con batería portable

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

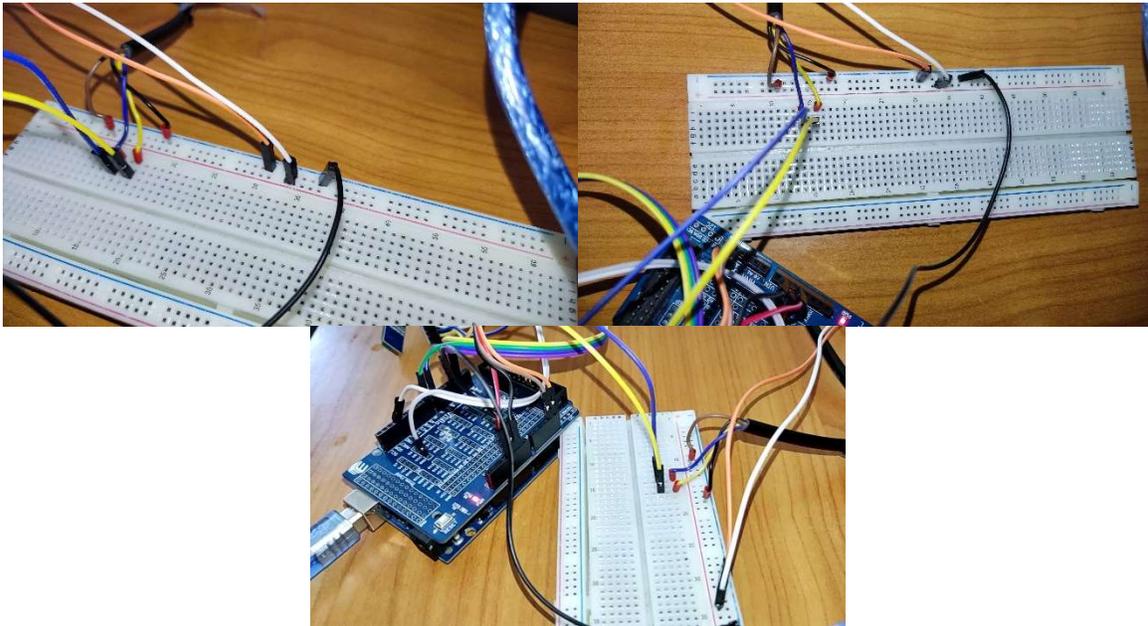


Figura 23 Conexiones sensor EC

Una vez conectados se comenzarán 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 del tecnológico el cual cuenta con varias muestras de tierras a las cuales se les están realizando diversos análisis químicos para medir los macronutrientes del suelo y en esas muestras se realizaron mediciones con el sensor:



Figura 24 Invernadero del ITSX y muestras de suelo

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.

Sensor de Conductividad Eléctrica (EC)

Para el sensor EC se utilizaron las siguientes conexiones:

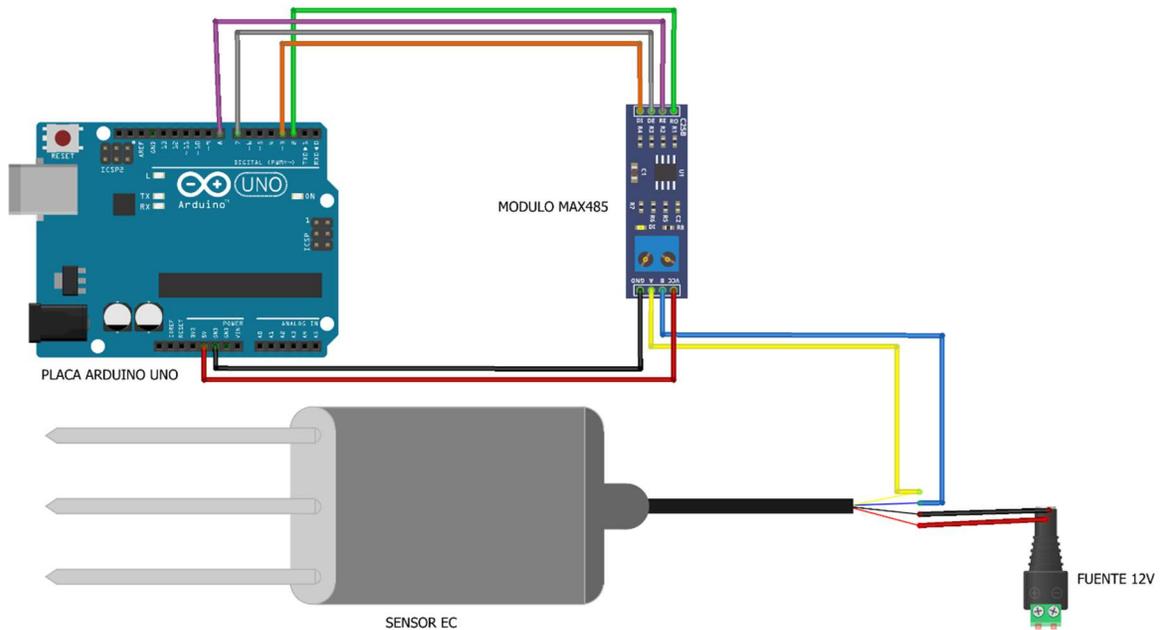


Figura 25 Diagrama de conexiones sensor EC

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

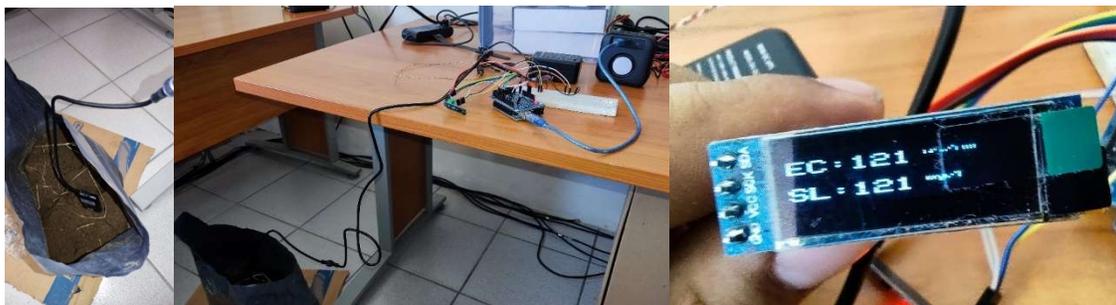


Figura 26 Conexión y pruebas con el sensor EC

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.

Sensor de Acidez (pH)

Para el sensor de PH se utilizaron las siguientes conexiones:

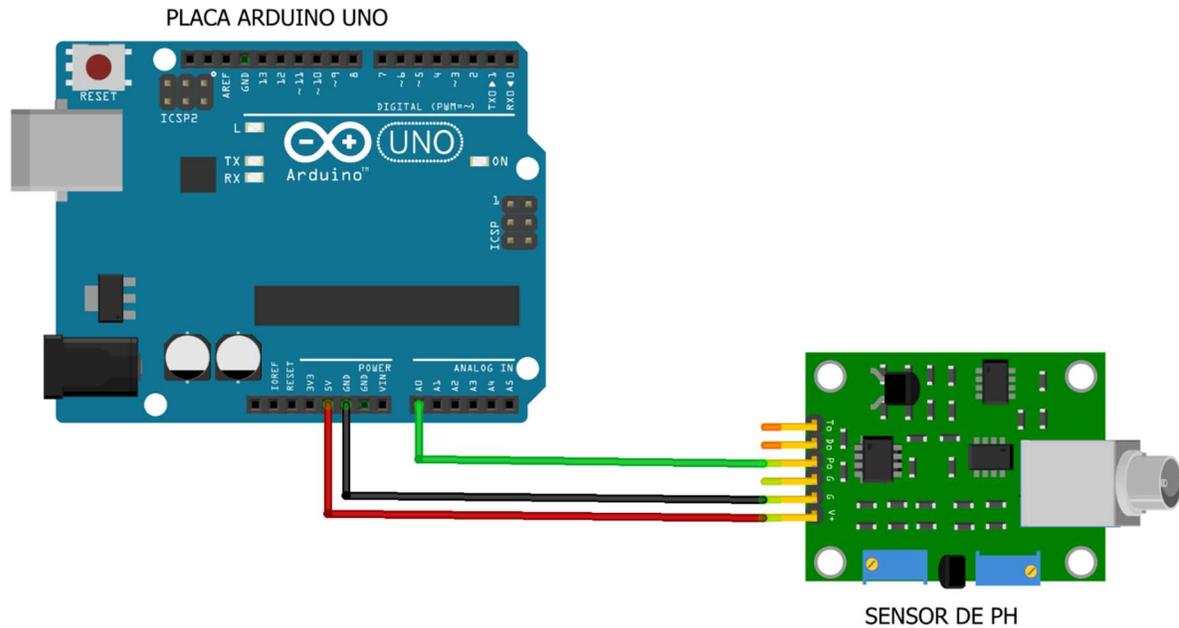


Figura 27 Diagrama de conexiones sensor PH

Debido a que al realizar la primera conexión el sensor devolvió valores que no coincidían con los valores establecidos se tuvieron que hacer ajustes a su configuración.

Este sensor es lineal, si se toman 2 puntos de referencia se obtiene la ecuación para hacer la conversión de voltaje a pH, se toman 2 valores de obtenidos de las lecturas del sensor, para la lectura de la coca cola que su valor debe ser 3 se obtuvo 4.92, para el caso del jabón líquido cuyo valor 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 $y=mx+b$.

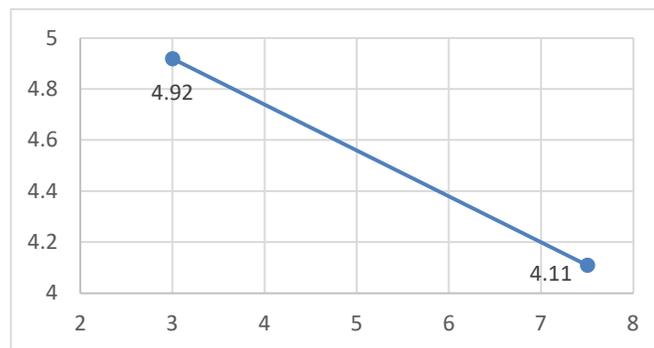


Figura 28 Grafica para configuración del sensor de PH

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



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

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

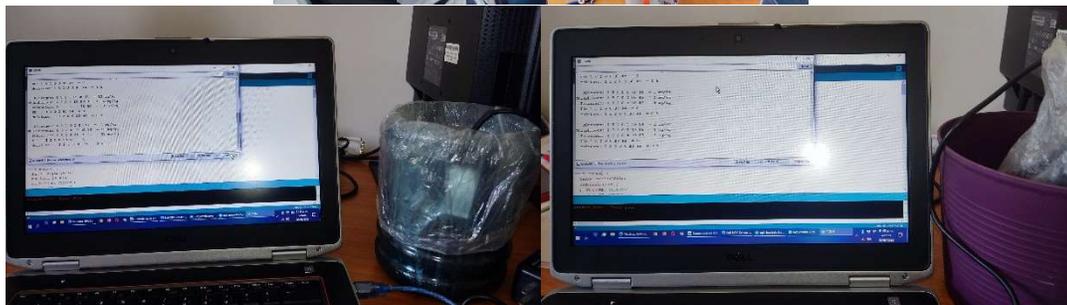


Figura 29 Conexión y pruebas con el sensor de pH

Página de visualización de datos

Para visualizar la página se usará un sitio web donde se iba a almacenar todos los archivos que conformarían el sitio web donde se visualizarían los datos almacenados en el sitio web.

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



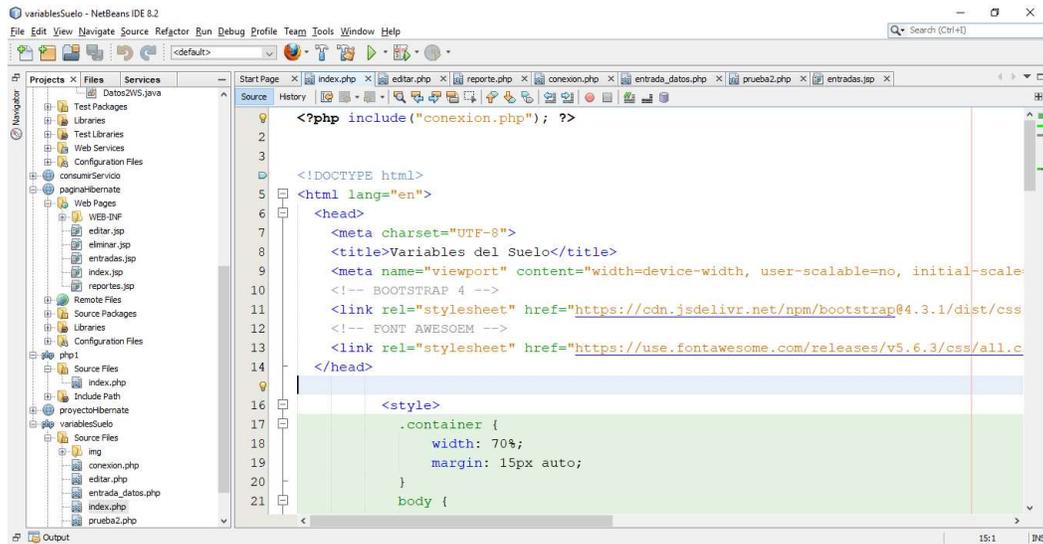


Figura 30 Netbeans

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

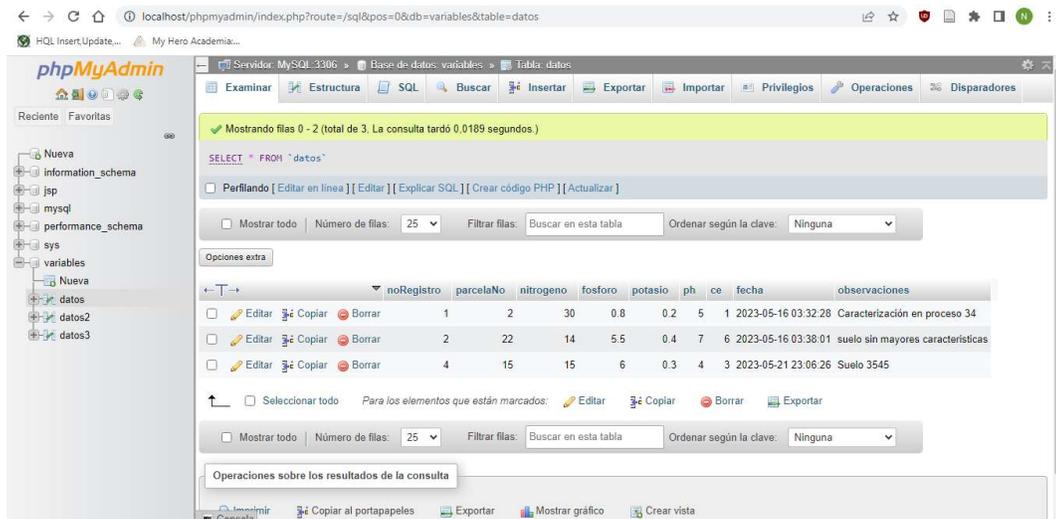


Figura 31 MySQL y visualización de variables mediante phpMyAdmin

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 y también realizar nos da la opción para enlazarlos a la página de reportes de cada uno de los registros.



Variables del Suelo

localhost/variablesSuelo/index.php

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 32 Página principal del sitio de visualización de datos

En la página de editar vamos a poder agregar o modificar el número de parcela, así como las observaciones que sean necesarias con respecto a los datos guardados en ese registro.

Nueva pestaña

Variables del Suelo

localhost/variablesSuelo/editar.php?noRegistro=2

Editar

No de registro

Escribe el numero de parcela

Escribe las observaciones

Figura 33 Pagina de editar

En la sección de reporte vamos a poder observar 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 34 Clasificación de los datos almacenados por los sensores



Figura 35 Grafica de los datos almacenados

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.

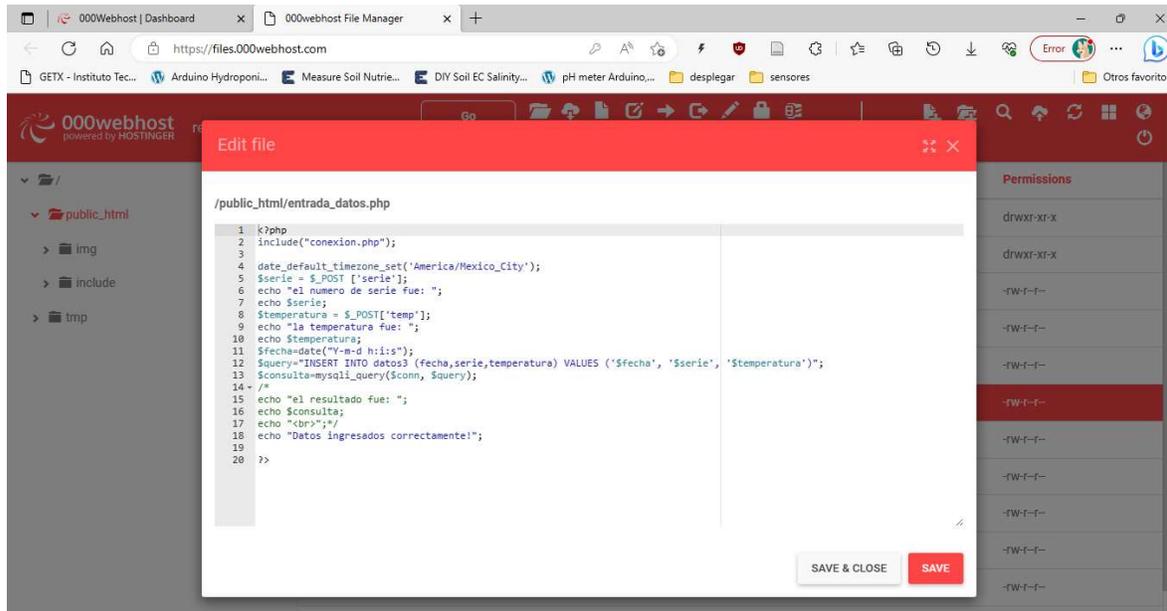


Figura 36 Página entrada_datos.php

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

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



Figura 37 Sitio almacenado en 000webhost

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 poder tener más espacio para lograr integrar los demás sensores y dispositivos de comunicación.



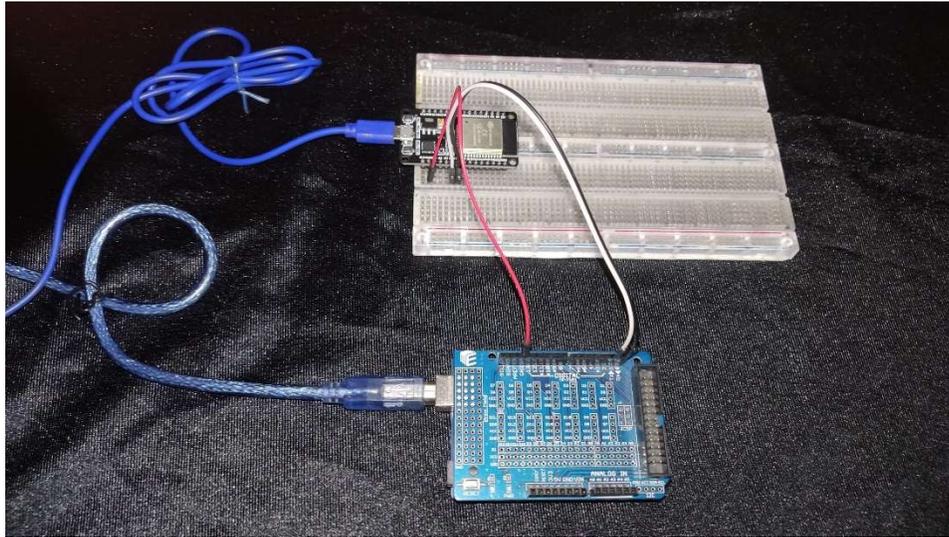


Figura 38 conexión Esp32 y placa de Arduino mediante una protoboard

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.

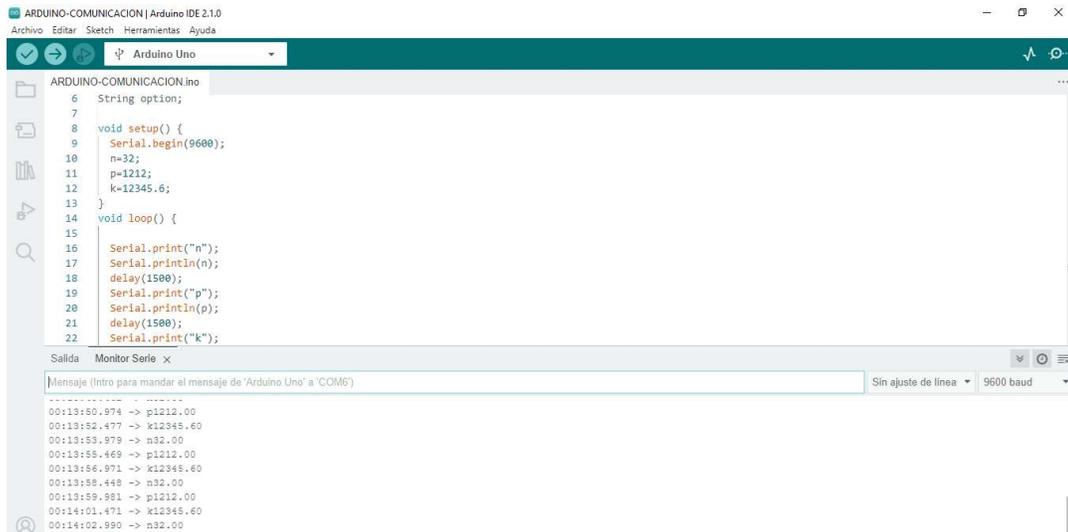


Figura 39 envió de datos simulados NPK de la placa de Arduino

Al llegar a la placa inalámbrica Esp32 se buscó que ésta separará los datos ubicando cada dato en su respectiva variable que identificará el macronutriente al que correspondía, también se buscó que a lograr 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_BNI, 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: 12345.60
00:20:40.107 ->
00:20:40.107 -> El valor del nitrógeno 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--p12345.60
Lin. 61, col. 16 ESP32 Dev Module en COM9

```

Figura 40 Datos leídos y almacenados por parte de la Esp32

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

Conexión a internet y almacenamiento de información en la nube.

Los siguientes ejercicios estuvieron destinados a poder 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
46
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 número de serie fue: 7771a temperatura fue: 33Datos ingresados correctamente!

```

Figura 41 Código y puesta en marcha de este para envió de datos a internet por al Esp32

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 sitio web, el cual los recibe en la sección destinada para ello y los almacena en la base de datos en línea con la cual funciona el sitio web.



Con esto ya sería 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.

Conclusiones

El prototipo es funcional y obtiene resultados con una exactitud del 99 por ciento, comparables con muestras de suelo enviados a laboratorios especializados, se continuará con su desarrollo para establecer todas las facilidades que le permitan ser completamente independiente y de fácil manejo por cualquier usuario con una capacitación rápida.

A partir de la información almacenada en la base de datos se podrán sacar estadísticas y otra clase de información referente a la calidad del suelo y su comportamiento a lo largo del tiempo. Para lo que es necesario que se esté llevando a cabo un censo programado de las tierras para poder tener una importante fuente de información que permita en el futuro ayudar a tomar decisiones importantes acerca del agro del municipio.

Referencias bibliográficas

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.

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.

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://scholar.google.es/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=2_D8JQcAAAAJ&citation_for_view=2_D8JQcAAAAJ:IjCSPb-OGe4C

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>

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>

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>



Sureshkumar, P. H., & Akshatha, M. (2018) The Analysis of Different Types of IoT Sensors for smart agriculture and Management.

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

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

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>

Editorial Etecé, E. (s. f.). Suelo—Concepto, tipos, composición y características. *Concepto*. Recuperado 17 de marzo de 2022, de <https://concepto.de/suelo/>

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>

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>

Metodología para la implementación de IoT. (s. f.). Recuperado 17 de marzo de 2022, de <https://library.co/document/9ynvxppz-metodologia-para-la-implementacion-de-iot.html>

Montoya, E. A. Q., Colorado, S. F. J., Muñoz, W. Y. C., Universidad del Quindío, Cra. 15 Cll. 12 norte, 630004, Armenia, Colombia, Golondrino, G. E. C., & Institución universitaria Colegio Mayor del Cauca, Cra. 7 #2-34, 190003, Popayán, Colombia. (2017). Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IoT. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, 24, 39-56. <https://doi.org/10.17013/risti.24.39-56>

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>

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>

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>

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>

¿Qué es Arduino? | Arduino.cl—Compra tu Arduino en Línea. (s. f.). Recuperado 25 de noviembre de 2022, de <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:UhMj4Yx1mgAJ:https://arduino.cl/qu-e-es-arduino/&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=mx>

Cable jumper dupont 40pzas—20cm—Varios tipos—ElectroCrea. (s. f.). Recuperado 25 de noviembre de 2022, de <https://electrocrea.com/products/cable-jumper-dupont>

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>

Sensor analógico de pH de 0-14. (s. f.). Electronilab. Recuperado 25 de noviembre de 2022, de <https://electronilab.co/tienda/sensor-analogico-de-ph-de-0-14/>

Módulo MAX485 Conversor RS485 a Serial TTL. (s. f.). Naylamp Mechatronics - Perú. Recuperado 25 de noviembre de 2022, de <https://naylampmechatronics.com/conversores-ttl/62-conversor-rs485-a-serial-ttl.html>

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>

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

HQL [Curso Hibernate]. (s. f.). Recuperado 26 de octubre de 2022, de http://www.cursohibernate.es/doku.php?id=unidades:05_hibernate_query_language:02_hql

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

