

**UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL
SEDE CENTRAL**



CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en
Ingeniería Electrónica**

**“Diseño de un sistema electrónico AgroCyber 3000 para la medición de variables
agrícolas en la Finca Alvarado Rodríguez para el apoyo del micro y pequeño
productor”**

Estudiantes:

**Carlos Andrey Ramírez López
Eder José Valencia Tomé**

Profesor Tutor:

Ing. Heriberto Salazar Agüero, M. Eng.

Diciembre, 2022

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios que me ha permitido en estos tres años cumplir este sueño que tenía desde niño, y finalizar con salud este trabajo.

A mi esposa, quien ha tenido la paciencia y me ha brindado acompañamiento durante estos años.

A mi hijo Eithan, quien a su corta edad entendió el propósito de su papá.

A mi familia, que siempre ha estado conmigo, especialmente a mi Madre y hermano.

A mi compañero de tesis, por ser parte fundamental de este proceso.

Carlos

Agradezco a Dios por tener el privilegio de estudiar esta licenciatura; a mi ayuda idónea: Priscilla Arrieta, a mis hijos José Daniel y Eder Josué, por ser parte fundamental e inspiradores en este proceso. Le agradezco a nuestro tutor Heriberto Salazar por toda la ayuda brindada, a mi compañero de tesis y a los lectores Ronny Ramírez y José Pablo Soto.

Eder Valencia



Universidad Técnica Nacional
Sede Central

Alajuela, Costa Rica

09 noviembre 2022

Señora
Ing. Ana Beatriz Vargas Badilla
Directora Licenciatura Ing. Electrónica

Estimada señora:

He revisado, emitido comentarios y observaciones del Trabajo Final de Graduación, denominado "Diseño de un sistema electrónico AgroCyber 3000 para la medición de variables agrícolas en la Finca Alvarado Rodríguez para el apoyo del micro y pequeño productor.", elaborado por los estudiantes Eder Valencia Tomé y Carlos Ramírez López como requisito para que los citados estudiantes puedan optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Electrónica. Considero que dicho trabajo ha pasado por los diversos procesos institucionales y que cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad Técnica Nacional, por tanto, es menester del suscrito recomendar para su defensa oral ante el Tribunal Evaluador.

Cordialmente,

JOSE HERIBERTO SALAZAR AGÜERO (FIRMA)
Firmado digitalmente por
JOSE HERIBERTO SALAZAR
AGÜERO (FIRMA)
Fecha: 2022.11.09 14:00:26
.06100

Ing. Heriberto Salazar Agüero
Académico Ing. Electrónica.
Tutor del Proyecto

C/Archivo



Universidad Técnica Nacional
Sede Central

21 de noviembre de 2022

Alajuela, Costa Rica.

Ingeniera.

Ana Beatriz Vargas Badilla.

Directora de la Carrera de licenciatura en Ingeniería Electrónica.

UTN.

Estimada señora.

He revisado y emitido comentarios y observaciones al trabajo final de graduación denominado "Diseño de un sistema electrónico AgroCyber 3000 para la medición de variable agrícolas en la finca Alvarado Rodríguez para el apoyo del micro y pequeño productor", elaborado por los estudiantes Eder Valencia Tomé y Carlos Ramírez López.

Recomiendo que el trabajo escrito sea revisado en su forma, para que posteriormente se realice la defensa oral ante el tribunal evaluador y ver el funcionamiento del equipo.

JOSE PABLO SOTO ARAYA (FIRMA)
Firmado digitalmente por JOSE PABLO SOTO ARAYA (FIRMA)
Fecha: 2022.11.21 16:05:06 -06'00'

Ing. José Pablo Soto Araya.

Académico UTN.

Lector

Heredia, Costa Rica

17 noviembre 2022

Ing. Ana Beatriz Vargas Badilla
Licenciatura en ingeniería Electrónica
Directora de carrera

Estimada Ingeniera directora

He revisado y emitido varios comentarios y observaciones del trabajo final de graduación denominado ***"Diseño de un sistema electrónico AgroCiber 3000 para la medición de variables agrícolas en la finca Alvarado Rodriguez para el apoyo del micro y pequeño productor"*** elaborado por los estudiantes Eder Valencia Tome y Carlos Ramirez Lopez como un apoyo para que los estudiantes puedan optar por el grado de licenciatura en ingeniería en electrónica.

Considero que, al realizar los cambios propuestos y observaciones de mi parte, más una revisión final de un filólogo, la misma estará lista para su defensa oral ante un tribunal evaluador de la Universidad Técnica Nacional UTN

RONNY
RAMIREZ
VARGAS (FIRMA)

Firmado digitalmente
por RONNY RAMIREZ
VARGAS (FIRMA)
Fecha: 2022.11.17
10:56:55 -06'00'

Cordialmente

Ronny Ramirez Vargas

Lic. en electrónica y telecomunicaciones

San José, 29 de noviembre, 2022

Señora
Ing. Ana Beatriz Vargas Badilla
Directora de Carrera de Ingeniería Electrónica
UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL

Estimada señora:

Por medio de la presente me permito comunicar que los alumnos: **Carlos Andrey Ramírez López** y **Eder José Valencia Tomé**, han solicitado la revisión del Proyecto Final de Graduación denominado: ***Diseño de un sistema electrónico AgroCyber 3000 para la medición de variables agrícolas en la Finca Alvarado Rodríguez para el apoyo del micro y pequeño productor***, el cual se presenta para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Electrónica.

Para el efecto se procedió a revisar y corregir aspectos gramaticales, errores de construcción, ortografía, morfología, sintaxis y estilo. Asimismo, se destaca que en la revisión del documento fue respetado el estilo propio de los autores, por lo cual estimo que el documento está listo para su presentación.

Adjunto a la presente copias de las certificaciones del Colegio de Licenciados y Profesores y de la Asociación Costarricense de Filólogos, donde se me acredita como Correctora de Estilo.

MARIA DE LOS
ANGELES BONILLA
SEQUEIRA (FIRMA)

Firmado digitalmente por MARIA
DE LOS ANGELES BONILLA
SEQUEIRA (FIRMA)
Fecha: 2022.11.29 07:45:08 -06'00'

María de los Ángeles Bonilla Sequeira
Filóloga Clásica y Correctora de Estilo, U.C.R.
Adscrita a la Asociación Costarricense de Filólogos, carné ACFIL 009
Teléfono: (506) 8898 0758 / 2253 8359
Correo electrónico: filologacostarica@gmail.com

ACTA DE CALIFICACIÓN



Universidad Técnica Nacional
Sede Central

ACTA DE APROBACIÓN

En la ciudad de Alajuela, a los 30 días del mes de enero del año 2023, estando presentes en la Sede Central de la Universidad Técnica Nacional, las siguientes personas:

Profesor Tutor: Ing. Heriberto Salazar Agüero

Profesor Lector: Ing. José Pablo Soto Araya

Profesor Lector: Ing. Ronny Ramírez Vargas

Directora de Carrera Licenciatura: Ing. Ana Beatriz Vargas Badilla

En su condición de miembros del Tribunal Evaluador, para evaluar la Tesis de Graduación y optar por el grado de **Licenciatura en Ingeniería Electrónica**, de los estudiantes **Eder Valencia Tomé**, cédula **603300008**, **Carlos Andrey Ramírez López**, cédula **206070275**.

Reunido el Tribunal Evaluador y los aspirantes, procedieron a defender su Proyecto de Graduación "**Diseño de un sistema electrónico AgroCyber 3000 para la medición de variables agrícolas en la Finca Alvarado Rodríguez para el apoyo del micro y pequeño productor**".

Concluida la defensa de la Tesis de Graduación, el Tribunal Evaluador consideró que de conformidad con la normativa en la materia, los estudiantes obtuvieron una calificación de 92, cumpliendo con las exigencias requeridas para la aprobación de la Tesis de Graduación y les es conferido el grado de **Licenciatura en Ingeniería Electrónica**.

No () Sí (x)

Ing. Heriberto Salazar Agüero
Profesor Tutor

Ing. José Pablo Soto Araya
Profesor Lector

Ing. Ronny Ramírez Vargas
Profesor Lector

Ing. Ana Beatriz Vargas B.
Directora Carrera Lic. Ing. Electrónica

Estudiantes:

Eder Valencia Tomé

Carlos Andrey Ramírez López

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	xvii
Área de Estudio	2
Delimitación del Problema	3
Justificación del Problema	5
Alcances	7
Limitaciones	8
Limitaciones Económicas	8
Limitaciones Técnicas	8
Limitaciones Humanas	9
Situación Actual del Conocimiento.....	9
Kit Portátil de Monitoreo Nutricional KitProain+.....	9
Medidor FieldScout EC 450.....	10
Registrador de Datos en la Nube ZL6	11
Estudios de Laboratorios.....	11
Objetivos.....	12
Objetivo General.....	12
Objetivos Específicos	12
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	14
El Espectro Radioeléctrico	14
Onda Electromagnética	15
Tipos de Propagación de Ondas Electromagnéticas	15
<i>Atenuación de Onda</i>	15
Antena	16

<i>Tipos de Antenas</i>	16
Antena Isotrópica.....	17
Antena Omnidireccional.....	18
Antena Direccional.....	18
Antena Dipolo.....	18
Antena Dipolo de Media Longitud de Onda.....	18
Antena Monopolo Vertical.....	19
Antena Corner.....	19
Antena Elipse.....	20
Antena Yagi Uda.....	21
Placa de Desarrollo Galileo.....	22
Placa de Desarrollo Arduino Mega.....	26
Placa NodeMCU ESP8266.....	27
Comparación Entre las Placas de Desarrollo.....	27
Lenguajes de Programación.....	28
Sensor de Humedad.....	29
Sensor de Ph.....	30
Analizador de Minerales.....	31
Sensor de Minerales NPK.....	31
Módulo XBEE S2C.....	32
Enrutador <i>WIFI</i> Móvil.....	33
<i>WIFI</i> Móvil Huawei E5785.....	34
Nivel de PH.....	35
Nivel de Humedad del Suelo.....	35
Cantidad de Minerales en el Suelo.....	36

Conceptualización de la Metodología IDEAL.....	36
CAPÍTULO III. ESTRATEGIA METODOLÓGICA	39
Enfoque de la Investigación.....	39
Tipo de Investigación.....	42
Población.....	42
Técnicas e Instrumentos.....	43
Análisis de Datos.....	44
Procesamiento de Información.....	45
Componentes que Integra el Estudio de Suelo.....	49
Niveles de pH en el Suelo.....	49
Cantidad de Minerales en el Suelo.....	50
Funcionamiento del Sistema.....	55
Diseño del Circuito Electrónico.....	57
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	61
Necesidades del Sector Agropecuario.....	61
Variables de Entorno de la Finca de Warner Alvarado.....	62
Medición de Humedad en el Suelo.....	65
Medición de Niveles de pH en el Suelo.....	66
Análisis de Suelo.....	67
Diseño del Circuito Electrónico.....	70
Circuito Transmisor.....	72
Circuito Receptor.....	84
Circuito Redundante.....	90
Visualizador de la Información.....	94
Protocolo 802.15.4.....	95

El Ruido como Factor de Interferencia.....	97
Validación Matemática.....	100
Rangos del Espectro Radioeléctrico en Costa Rica	108
Validación del Dispositivo	109
CAPÍTULO V. PROPUESTAS	112
Propuesta Técnica	112
Propuesta Económica.....	118
Propuesta de Implementación	127
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	131
Conclusiones	131
Recomendaciones	132
REFERENCIAS.....	134
ANEXOS	140

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. <i>Prototipo del proyecto.</i>	8
Figura 2. <i>Kit portátil de monitoreo nutrimental.</i>	10
Figura 3. <i>Medidor FieldScout EC 450</i>	10
Figura 4. <i>Registrador de datos en la nube ZL6.</i>	11
Figura 5. <i>Espectro radioeléctrico.</i>	14
Figura 6. <i>Onda Electromagnética.</i>	15
Figura 7. <i>Diagrama de bloques de un sistema electrónico simple de recepción de ondas de radio.</i>	16
Figura 8. <i>Antena tipo Corner.</i>	20
Figura 9. <i>Antena tipo Elipse.</i>	21
Figura 10. <i>Antena tipo Yagui-Uda.</i>	22
Figura 11. <i>Placa de desarrollo Galileo de Intel.</i>	23
Figura 12. <i>Microprocesador Intel Quark SoC1000</i>	25
Figura 13. <i>Arduino Mega.</i>	26
Figura 14. <i>NodeMCU ESP8266.</i>	27
Figura 15. <i>Sensor de humedad.</i>	30
Figura 16. <i>Medidor de pH.</i>	30
Figura 17. <i>Medidor de nutrientes en suelo</i>	31
Figura 18. <i>Sensor de Nitrógeno, Fósforo, Potasio</i>	32
Figura 19. <i>Módulo XBEE S2C.</i>	33
Figura 20. <i>Router WIFI 4 G LTE.</i>	34
Figura 21. <i>WIFI móvil Huawei E5785.</i>	35
Figura 22. <i>Arquitectura general del circuito.</i>	58
Figura 23. <i>Análisis de campo de la finca.</i>	64
Figura 24. <i>Diseño del circuito.</i>	71
Figura 25. <i>PAN ID.</i>	74
Figura 23. <i>Transferencia de información y modo transparente.</i>	75
Figura 27. <i>Dirección Mac.</i>	75
Figura 28. <i>Topología del circuito redundante.</i>	76
Figura 29. <i>Arquitectura del circuito transmisor.</i>	76

Figura 30. <i>Diagrama electrónico del circuito transmisor.</i>	83
Figura 31. <i>Dirección PAN ID.</i>	84
Figura 32. <i>Frecuencia y modo transparente.</i>	85
Figura 33. <i>Habilitar modo coordinador.</i>	85
Figura 34. <i>Dirección Mac.</i>	86
Figura 35. <i>Arquitectura del circuito receptor.</i>	86
Figura 36. <i>Diagrama electrónico del circuito receptor.</i>	90
Figura 37. <i>Interfaz gráfica.</i>	95
Figura 38. <i>PCB placa de circuito impreso.</i>	95
Figura 39. <i>Gráfico tecnología Zigbee.</i>	96
Figura 40. <i>Circuito protector contra interferencia.</i>	97
Figura 41. <i>Refracción de la onda electromagnética.</i>	98
Figura 42. <i>Atenuación versus frecuencia para la zona de lluvias.</i>	100
Figura 43. <i>Zona de Fresnel.</i>	102
Figura 44. <i>Obstrucción permisible en la zona de Fresnel.</i>	103
Figura 45. <i>Ubicación del transmisor.</i>	104
Figura 46. <i>Ubicación del receptor.</i>	104
Figura 47. <i>Simulación con Radio Mobile.</i>	105
Figura 48. <i>Altitud sobre el nivel del mar.</i>	105
Figura 49. <i>Resultado de la simulación con Radio Mobile.</i>	107
Figura 50. <i>Visualización del sensor NPK con Modbus Poll.</i>	110
Figura 51. <i>Visualización del sensor pH con Modbus Poll.</i>	111
Figura 52. <i>Programa visualizador sensor NPK.</i>	111
Figura 53. <i>Prototipo experimental ensamblado.</i>	113
Figura 54. <i>Captura tramas y datos recibidos.</i>	113
Figura 55. <i>Gráfico de paquetes de la trama recibidos.</i>	114
Figura 56. <i>Gráfico del analizador de espectro.</i>	115
Figura 57. <i>Comunicación con la base de datos.</i>	116
Figura 58. <i>Base de datos.</i>	116
Figura 59. <i>Trama recibida por el Protocolo RS485.</i>	117
Figura 60. <i>Monitor serial del transmisor.</i>	117

Figura 61. <i>Monitor serial redundancia</i>	118
Figura 62. <i>Gráfico nivel de costo</i>	126
Figura 63. <i>Gráfico niveles de beneficio</i>	126
Figura 64. <i>Gráfico comparación costos y beneficios</i>	127
Figura 65. <i>Gráfico relación costo-beneficio</i>	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Tipos de antenas adecuadas</i>	17
Tabla 2. <i>Hoja de datos de la placa Galileo</i>	24
Tabla 3. <i>Hoja de Datos Arduino Mega</i>	26
Tabla 4. <i>Diferencias entre placas de desarrollo</i>	28
Tabla 5. <i>Lenguajes de programación</i>	28
Tabla 6. <i>Hoja de datos XBee</i>	32
Tabla 7. <i>Diagrama de metodología</i>	41
Tabla 8. <i>Tabulación del cuestionario</i>	46
Tabla 9. <i>Componentes del estudio de suelo</i>	49
Tabla 10. <i>Estudio laboratorio pH</i>	51
Tabla 11. <i>Estudio de laboratorio de minerales</i>	51
Tabla 12. <i>Variables agrícolas adecuadas</i>	54
Tabla 13. <i>Diagrama de bloques del circuito</i>	56
Tabla 14. <i>Tabla comparativa Placas de Arduino</i>	60
Tabla 15. <i>Niveles de pH</i>	67
Tabla 16. <i>Tabla resumen Interpretación de análisis de suelos Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA)</i>	68
Tabla 17. <i>Resultados de laboratorio de la finca de Warner Alvarado</i>	69
Tabla 18. <i>Grado de fertilidad del suelo</i>	70
Tabla 19. <i>Especificaciones técnicas del circuito transmisor</i>	77
Tabla 20. <i>Código del circuito transmisor</i>	77
Tabla 21. <i>Especificaciones técnicas circuito receptor</i>	87
Tabla 22. <i>Código del circuito receptor</i>	87
Tabla 23. <i>Código del circuito redundante</i>	91
Tabla 24. <i>Especificaciones técnicas del cálculo del radioenlace</i>	106
Tabla 25. <i>Comparación Laboratorio - Agrocyber 3000</i>	119
Tabla 26. <i>Requerimiento de componentes</i>	120
Tabla 27. <i>Requerimiento de personal</i>	121

Tabla 28. <i>Niveles de ingresos</i>	122
Tabla 29. <i>Flujo de caja proyectado</i>	122
Tabla 30. <i>Estimadores</i>	124
Tabla 31. <i>Relación costo-beneficio</i>	125
Tabla 32. <i>Agenda de venta del equipo</i>	129

RESUMEN

El presente proyecto corresponde al diseño de un sistema electrónico con placas de alto rendimiento, como la Placa Galileo de Intel y la placa Arduino Mega, que pueda extraer las variables agrícolas, como son: acidez del suelo, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, humedad del suelo, mediante sensores y que entre sus funciones se pueda transmitir la información sobre las condiciones del terreno en una finca de San Ramón de Alajuela; todo esto mediante radiofrecuencia a larga distancia, en donde un circuito receptor la tome y la pueda subir a la Web para almacenarla en una base de datos.

Además, que el agricultor pueda visualizar esa información mediante una interfaz gráfica amigable, con el fin de ayudar al micro y pequeño productor con la medición de las diferentes variables para atacar las deficiencias en los suelos y mejorar sus cultivos con fertilizantes adecuados.

El código está basado en un lenguaje C, creado para direccionar y almacenar las variables. También se utilizan varios componentes electrónicos, por ejemplo los módulos Xbee para la transmisión y recepción de datos bajo frecuencia libre de 2.4 GHz; así como los sensores, que son los principales recopiladores de la información en cada una de las variables descritas anteriormente.

Se cuenta con un módulo para recopilar los datos bajo el protocolo Modbus. Se usa una placa NodeMCU ESP8266 como base del circuito redundante que permitirá utilizar otra vía de comunicación en la extracción de datos y otros accesorios, como los de alimentación y protección, lo cual permite disponer de un sistema muy completo.

Los resultados obtenidos a partir de esta investigación son importantes porque proveen de recursos tecnológicos a los agricultores, con tecnologías para el mejoramiento de sus cultivos, debido a que en un análisis previo de variables de las zonas por plantar rentabiliza la producción. En este caso, las variables son de relevancia para la actividad del agricultor, ya que permiten llevar un registro histórico de las condiciones del terreno que, aunado con la propuesta financiera, muestra datos totalmente viables para el desarrollo del proyecto.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El sector agrícola en Costa Rica representa una fuente económica para el país, así lo describen los gráficos del estudio de los indicadores macroeconómicos de la Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (Sepssa) para 2021. Este sector, en su mayoría, se ubica en las zonas rurales por las condiciones que dichas regiones ofrecen, como biodiversidad, suelos, temperaturas y espacio físico.

Según el *Diario Oficial La Gaceta* n.º 177, en el Artículo 10 (2013) manifiesta:

Para determinar la condición de Pequeño y Mediano Productor Agropecuario (Pympa) indica que se considera como productor agropecuario a las personas físicas o jurídicas, cuyas propiedades de uso agropecuario destinadas a la producción primaria agrícola o pecuaria tengan un rango de área declarada con valores iguales o inferiores al parámetro de calificación en una tabla específica del mismo artículo, dicha tabla muestra que el cultivo del tomate, chile dulce pertenecen al grupo uno de hortalizas, que su parámetro para pequeño productor en hectáreas es de menor o igual a una hectárea.

El parámetro para mediano productor en hectáreas tiene que ser mayor o igual a cinco hectáreas. El cultivo del pepino lo encasillan en el grupo dos de hortalizas y legumbres, en donde se considera que el pequeño productor debe ser igual o menor a una hectárea mientras que, para mediano productor, hasta tres hectáreas. (pp. 10 -11)

Debido a lo anterior, la finca del señor Warner Alvarado Rodríguez, con una extensión de aproximadamente 30.000 metros cuadrados (tres hectáreas), ubicada en el cantón de San Ramón de la provincia de Alajuela, exactamente en el distrito de Piedades Sur, 500 metros noroeste de la Escuela Barrio del Carmen, se considera apta al disponer de un espacio óptimo para implementar el proyecto en el distrito de Occidente. Dicha finca se destina a la siembra de vegetales como pepino, chile y tomate; esto dependiendo de la estación y meses del año en los cuales se produzcan.

El presente trabajo tiene la finalidad de diseñar un dispositivo electrónico para buscar e identificar las causas naturales del terreno que afecten el rendimiento de la producción de vegetales, de manera que brinde insumos al productor sobre las decisiones; además de economizar en temas de pruebas de laboratorio y así evitar la pérdida de cosechas debido a los déficits de minerales y otros factores que perjudican el terreno previamente a la siembra del producto.

Esto permite al productor ahorros en diferentes campos, por ejemplo, en el suministro de sustancias que no necesita la tierra sino durante la práctica de la actividad. Para esto se implementará un sistema que pueda transmitir información de variables como la humedad, algunos minerales, la medida de la acidez y la alcalinidad del suelo (pH).

La recopilación de datos se hará de forma inalámbrica en la finca Alvarado, para obtener parámetros en jornadas previas al sembradío, con la finalidad de que el agricultor tenga acceso a criterios de viabilidad y no se requiera la intermediación de terceras personas, con un costo extra por su valoración.

Área de Estudio

Este proyecto está dirigido al sector agrícola de la zona de occidente para identificar de manera segura, confiable, económica e innovadora, el manejo de variables como humedad, minerales y pH.

Este trabajo de investigación busca desarrollar un sistema con tecnología inalámbrica por medio de radiofrecuencia para transmitir los datos de los sensores hacia el sistema receptor principal que estará ubicado estratégicamente en el lugar para ser conectado por medio de Internet inalámbrico, que permita el acceso desde una computadora o celular con acceso a Internet, a la base de datos almacenados.

Se enfoca en el área social debido a que pequeños y medianos productores se pueden beneficiar con el dispositivo, ya que algunas pruebas de análisis de terrenos son costosas y requieren de varios días para obtener los resultados de laboratorio. También algunos agricultores producen con préstamos, lo cual es un arma de doble filo porque

sin un estudio de estas variables pueden perder la inversión y comprometer la estabilidad económica de sus familias.

Delimitación del Problema

El proyecto se realizará en la finca de un mediano productor, según lo describe el *Diario Oficial La Gaceta* n.º 177, artículo 10 (2013).

El propietario es el señor Warner Alvarado, quien en su finca de tres hectáreas siembra chile, tomate y pepino, dependiendo de la estación del año. Él manifestó en una entrevista en el pasado mes de septiembre, que no cuenta con la herramienta tecnológica ni el alcance económico para efectuar las pruebas de variables como pH, humedad, minerales, entre otros; ni puede realizar un monitoreo continuo para determinar si el espacio es apto para cultivar después de cada cosecha y no invertir recursos que en ocasiones provienen de préstamos de entidades financieras, que al final terminen con pérdidas económicas.

Esto se debe, por ejemplo, a que si no se monitorea la variable de humedad en el terreno para sembrar el chile dulce o el tomate, provoca que la planta no transpire, disminuyendo la absorción de nutrientes, lo que perjudica el crecimiento de las plantas, disminuye la polinización y favorece el crecimiento de plagas que después se tendrán que tratar con plaguicidas; o si es muy seco, afecta la planta al tener que hacer un esfuerzo mayor para evitar que sus hojas se sequen, provocando mala calidad del fruto. (*Nutricontrol*, 2020)

Debido a lo anterior, se perjudica la cosecha de la temporada; por lo tanto, el productor tendrá que hacer un gasto extraordinario, tanto en la compra de insumos agrícolas, en el pago de más salarios para que apliquen estos productos y poder salvar la producción, lo que generará más gastos en el presupuesto. Por ende, las pérdidas económicas en la inversión serán inminentes, al productor se le dificultará volver a invertir y podría recurrir a préstamos de bancos o cooperativas o, incluso, el recorte de personal.

Otro parámetro es el pH, que influye en la absorción de minerales por la raíz; por ejemplo, para una planta el nivel adecuado de acidez en una solución ronda los 5 y 6;

cuando es mayor que 6 se dificulta la absorción de Boro, Cobre y Fosfatos, y cuando es menor que 5 se le dificulta a la planta la absorción de Nitrógeno y Azufre; a niveles bajos de pH puede producirse una intoxicación por Manganeso y Aluminio, ya que a la planta se le hace más fácil absorber estos compuestos químicos que la afectan. (Anthura, 2018)

Dado que la falta de análisis de estos parámetros afecta directamente a la planta y, por ende, a toda la cosecha, entonces el productor tendrá que sustituirlos con más fertilizantes.

La intensa demanda fisiológica impuesta por las hojas y los tallos sobre los minerales esenciales, ni la importancia de los procesos de distribución de los mismos por parte de los tejidos vasculares, se puede decir que el proceso de nutrición mineral es fundamentalmente "responsabilidad" de los sistemas radicales de las plantas. (cia.ucr.ac.cr)

Según lo indica la cita anterior del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica (CIA – UCR), se menciona la importancia de los minerales para las plantas, para el crecimiento de los tallos y, en consecuencia, de toda la producción. Los ingenieros agrónomos utilizan diferentes equipos que en su mayoría están basados en sensores electrónicos para obtener diferentes diagnósticos de minerales.

En el país no se consiguen sistemas tecnológicos de bajo costo para trabajar en cultivos que permitan medir diferentes variables; pero existe una empresa en el país que proporciona una serie de soluciones con diferentes sensores. Por ejemplo, la empresa Proain Tecnología Agrícola, con sede en México, importa al país un sistema en un tipo de kits, llamado Kitproain+, cuyo precio es de \$46.273,82 MXN+IVA+ENVÍO; al tipo de cambio referenciado por el Banco Central de Costa Rica, el costo sería de ₡1.411.351,51, sin gastos de IVA ni envío. Vale recalcar que el IVA en Costa Rica es de un 13% sobre el producto. Entonces, a un mediano productor se le dificulta su inversión en este tipo de tecnologías.

Justificación del Problema

La agricultura es una actividad que permite la siembra de diferentes productos en el campo, puede ser de tipo monocultivo masivo, como el café, la caña de azúcar o la palma de aceite, o varios tipos de cultivos en un mismo terreno, en donde los principales productores son pequeños empresarios cuya principal producción son verduras, frutas o legumbres y su comercialización puede ser local o internacional. En Costa Rica, el ente encargado de velar por las buenas prácticas de siembra es el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).

Según Varela, en el diario digital *La Nación* (2021), en el foro *Llevemos el Agro al Futuro*, indicó lo siguiente:

...en Costa Rica se espera que las políticas sean amigables con el agricultor, ya que los empresarios agrícolas no piden subsidios ni otro tipo de ayudas para poder mantenerse a flote, ni tienen la capacidad de competir con eficiencia, de reducir su huella ambiental, ni tampoco de poder usar las herramientas y tecnologías que tiene el resto del mundo desde hace muchos años.

Por esta razón se pretende diseñar este sistema innovador, económico y amigable con el usuario, para mejorar la práctica agrícola bajo un modelo de emprendimiento y ayudar a los pequeños agricultores para que validen las condiciones de sus tierras, protejan sus inversiones y reduzcan la deuda bancaria que asumen por la compra de equipos tecnológicos a precios de mercado muy elevados o, en ocasiones, por contratar profesionales para que les realicen las mediciones de las variables requeridas para sus plantaciones.

Lo que se pretende es que los pequeños y medianos productores tengan un ahorro en su inversión, ya que estos deben tener la certeza de que el terreno en el que van a cultivar reúna las características adecuadas en cuanto al potencial de la tierra de obtener una cosecha eficiente y de calidad, para que se pueda colocar en el mercado nacional e internacional, inclusivamente.

El sistema que se implementará no representa un gasto, es más bien una inversión que permitirá obtener resultados en corto y mediano plazo, ya que con la adecuada implementación y siguiendo los parámetros y resultados, la plantación incrementará su producción, permitirá un ahorro ante el exceso de fertilizantes ya que el sistema indicará la deficiencia del mineral que le falta al terreno, se conocerá la aridez, humedad y acidez que presenta, por lo cual decidirá si invierte o no en un terreno no apto para la producción agrícola.

En un comunicado de prensa de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) del día 20 de septiembre del 2021, la directora ejecutiva del Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agrícola para el Desarrollo (CIRAD), Elisabeth Claverie de Saint Martin, manifiesta lo siguiente:

Como referencia de lo anterior para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible, es prioritario empoderar a los pequeños agricultores de los países de ingresos bajos y medianos para que aumenten su producción de frutas y verduras seguras y nutritivas, de forma que protejan el medio ambiente, generen ingresos y creen equidad social. (FAO, 2021)

Es importante recalcar lo que manifiesta la señora Elisabeth Claverie de Saint Martin en relación con brindar apoyo a pequeños y medianos productores agrícolas para proponer proyectos en donde ellos puedan conocer la tecnología y la puedan implementar, pero que esto no represente un gasto excesivo por la inversión.

Lo anterior se puede ver referenciado en las palabras que indicó el Ministro de Agricultura de Costa Rica, Renato Alvarado, en el diario digital *Elpais.cr* (2020): “El Gobierno de Costa Rica impulsa un programa nacional de alta tecnología para el mejoramiento de la productividad y la sostenibilidad del sector agrícola, mediante herramientas de precisión y agregación de valor a la agricultura”.

Para los productores agrícolas es necesario contar con un sistema de adquisición de variables que permita mejorar los índices de calidad, y que la información que se deriva de estas logre ser almacenada en una base de datos con la finalidad de que pueda

ser consultada cuando se requiera. Del mismo modo, debido a las condiciones de distancia, debe ser posible transmitir inalámbricamente los datos de los sensores hasta el circuito encargado de recibir los datos; de este modo es factible mejorar sus siembras ante las deficiencias que se le requiera.

Alcances

Se elige la zona oeste del Valle Central para implementar la investigación debido a la gran cantidad de pequeños y medianos productores que habitan ahí y que desarrollan sus cultivos en este sector del país.

A partir de un pequeño cuestionario aplicado a diferentes productores que no se dedican al monocultivo, se encontró que el señor Alvarado Rodríguez está anuente a que se hagan pruebas en su finca, para que, en un futuro cercano, las pueda implementar. Su propiedad se ubica en San Ramón de Alajuela y se destina a la cosecha de chile, pepino y tomate; reúne las condiciones ideales que se buscan, como cercanía del Valle Central, que la extensión de terreno no es tan amplia como la de grandes productores y que permite una topología que se utilizará para la colocación de los sensores y los circuitos transmisores y receptores.

Para el prototipo se utilizará una tarjeta de desarrollo de alto rendimiento tipo Arduino Mega con tres puertos seriales para la conexión de los sensores y el módulo transmisor, una tarjeta tipo Galileo con un microprocesador Pentium de 400 MHz, tiene seis entradas analógicas y digitales, también tiene comunicación serial para la conexión con los módulos XBEE. Estos últimos son ideales para ser utilizados como transmisores y receptores de los sensores de variables como humedad, nivel de pH del suelo, minerales y temperatura, en complemento con el NodeMCU ESP8266 con módulo *WiFi*; también los módulos XBEE S2C de DIGI que utiliza protocolo ZigBee, trabaja a una frecuencia de 2.4 Ghz, que permite conexiones punto a punto, punto a multipunto, *broadcast* y Mesh, con alcance de 60 metros en interiores y en exteriores de hasta 1.200 metros línea a vista. Se decidió utilizar estos módulos ya que son de baja latencia, bajo costo, y permiten múltiples entradas y salidas.

El proyecto contará con un sistema para almacenar datos y visualización de estos por medio de un teléfono celular o computadora, utilizando la tecnología Ethernet. En la figura 1 se aprecia el diseño.

Figura 1. *Prototipo del proyecto.*



El dispositivo final, después de la validación, se ofrecerá a los pequeños y medianos productores que tengan interés en adquirirlo.

Limitaciones

Limitaciones Económicas

Hay que analizar la capacidad de inversión en las tarjetas y sensores que se van a emplear para el prototipo experimental, se realizará cotizaciones en diferentes tiendas físicas o virtuales de venta de dispositivos electrónicos, inclusive importarlos de tiendas *online* internacionales.

Limitaciones Técnicas

Las pruebas del sistema se llevarán a cabo en una parte de las tres hectáreas destinadas para la siembra, ya que los sensores no tienen alcance mayor a los 1.200 metros a línea vista, por lo que no abarca otra área destinada para otro tipo de producción.

Limitaciones Humanas

Una de las limitaciones es la no adaptación a la población adulta mayor avanzada, ya que la visualización será complementada con la tecnología que tienen los dispositivos móviles y computadoras, en donde el acceso es por medio de Internet, por lo que requiere de conocimientos en el uso de estos aparatos.

Situación Actual del Conocimiento

En Costa Rica, la tecnología aplicada a la agricultura es muy escasa; para medianos y pequeños agricultores es prácticamente nula. Según entrevistas realizadas a diferentes agricultores y personas de conocimiento en el campo, no conocen de sistemas que les ayuden a mejorar su producción.

En el mercado nacional e internacional existen equipos de medición de variables empleados en el sector agrícola, de los cuales se pueden mencionar los siguientes:

Kit Portátil de Monitoreo Nutricional KitProain+

Con todas las herramientas para el monitoreo de los cultivos (imagen referencial en figura 2), distribuido por Proain Tecnología Agrícola con sede en México, este kit cuenta con medidores de pH, nitratos, Calcio, Sodio, Fósforo, conductividad eléctrica y un manual de interpretación de análisis de suelos. El precio ronda los \$2.240, también está la versión básica que ronda los \$2.000.

Figura 2. *Kit portátil de monitoreo nutrimental.*



Nota. Adaptado del kit de monitoreo nutrimental. Proain Tecnología Agrícola (2021), recuperado de: <https://proain.com>

Medidor FieldScout EC 450

Este medidor cuenta con un registrador de datos (imagen de referencia figura 3), puede registrar 4.096 mediciones, de las cuales 1.488 con opción GPS; tiene una carcasa impermeable para pruebas de campo, puede registrar la información de los sensores de conductividad, salinidad y temperatura, se visualizan las variables por medio de una pantalla LCD, cuenta con conexión USB y RS232 para conectar con la computadora. El precio ronda los \$995 más el envío e impuestos.

Figura 3. *Medidor FieldScout EC 450*



Nota. Adaptado de medidores portátiles. Spectrum Technologies, Inc. (2021), recuperado de: <https://www.specmeters.com>

Registrador de Datos en la Nube ZL6

Es un registrador de datos en la nube con tecnología *bluetooth* (ver imagen de referencia en figura 4), puede transmitir los datos para ser visualizados en una computadora a distancia vía red celular, dependiendo del sensor utilizado puede registrar dirección y velocidad de viento, cantidad de lluvia, radiación, temperatura y humedad relativa, nivel freático, conductividad eléctrica, entre otros. También está la versión que solo almacena y no transmite, el modelo EM50.

Figura 4. Registrador de datos en la nube ZL6.



Nota. Adaptado de Registradores de datos heredados. Metergroup (2021), recuperado de: <https://www.metergroup.com>

Estudios de Laboratorios

La Universidad de Costa Rica tiene un laboratorio de análisis de suelos en el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA), en donde ofrecen el análisis de: suelos, de fertilizantes, foliar, orgánicos y de aguas, con precios que rondan desde los ₡5.100 hasta los ₡63.700 por compuesto químico por análisis, con un tiempo estimado de 10 a 15 días hábiles. (UCR, 2021)

Hay que tomar en cuenta la visita del profesional que recoge las muestras, dependiendo del lugar así será el costo económico. Según el Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica, una hora profesional cuesta ₡25.500 por la prestación de los servicios privados profesionales. (*La Gaceta*, 2019)

Objetivos

Objetivo General

- Diseñar un sistema electrónico para medición de datos de humedad, temperatura, niveles de alcalinidad y acidez del suelo (pH), por medio de un sistema de microcontrolador electrónico que detecte las condiciones de terreno y el entorno de la finca Alvarado Rodríguez; de modo que apoye la actividad agrícola afectada por diversas causas naturales en el 2022.

Objetivos Específicos

- Conocer las necesidades del sector agrícola en el micro, pequeño y mediano productor, respecto de los requerimientos de calidad en el uso de suelo, con el fin de hacer una valoración general de las limitaciones del sector en etapas de producción.
- Estudiar las variables de entorno de la finca Warner Alvarado Rodríguez mediante el análisis de los microclimas de la zona y herramientas de recopilación de la información a los agricultores para la determinación del enfoque del dispositivo.
- Desarrollar un diseño electrónico, mediante el microcontrolador de alto rendimiento, y una serie sensores digitales de humedad, temperatura y niveles de alcalinidad en el suelo, que analice las condiciones de terreno y sea funcional para los productores.
- Analizar las pruebas de validación del dispositivo, mediante su puesta en marcha en la finca de Warner Alvarado, de manera que se corrijan posibles condiciones desfavorables.

- Elaborar un análisis económico de rentabilidad mediante el costo-beneficio que obtendrán los agricultores con la implementación del sistema para las mejoras en su producción de los cultivos.
- Establecer un plan de implementación en el sector agrícola regional mediante un estudio de mercado para el apoyo del sector agrario.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

El proyecto por diseñar contará con un sistema que recolecta las variables por medio de dispositivos electrónicos, en donde se da una transmisión de datos inalámbricamente por medio de radiofrecuencia, utilizando el espectro radioeléctrico.

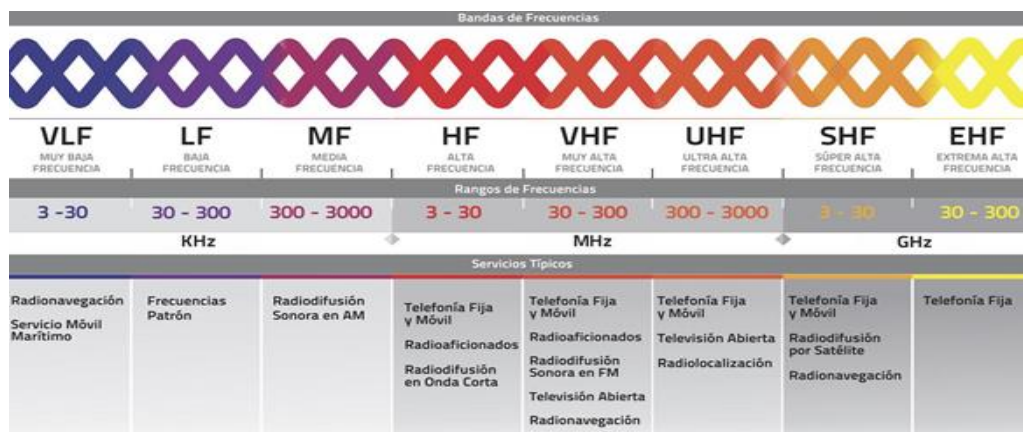
En Costa Rica, el espectro radioeléctrico es regulado por medio de leyes y es el Gobierno el encargado de otorgar las frecuencias por medio de concesión.

El Espectro Radioeléctrico

Es un recurso natural de carácter limitado que contribuye a un bien de dominio público sobre el cual el Estado ejerce soberanía. Es, asimismo, un medio intangible que puede utilizarse para la prestación de diversos servicios de comunicaciones, de manera combinada o no con medios tangibles, como cables, fibra óptica, entre otros.

Está compuesto por un conjunto de frecuencias que se agrupan en bandas de frecuencias y puede ser utilizado por los titulares de una licencia única de telecomunicaciones para la prestación de servicios de comunicaciones inalámbricas, radiodifusión sonora (AM, FM), radiodifusión, TV, Internet, telefonía celular. Es importante graficar el espectro radioeléctrico, como lo muestra la figura 5.

Figura 5. Espectro radioeléctrico.

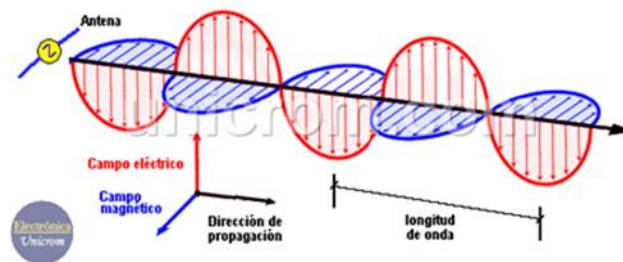


Nota. Adaptado de Espectro Radioeléctrico (2021). Redes Zone, recuperado de: <https://www.redeszone.netx>

Onda Electromagnética

Una onda electromagnética puede definirse como la perturbación simultánea de los campos eléctricos (E) y (H) existentes en una misma región. La gran diferencia existente con las ondas mecánicas es que las ondas electromagnéticas se propagan por el espacio sin necesidad de un medio, pudiendo, por lo tanto, propagarse en el vacío. Esta se puede observar en la figura 6.

Figura 6. Onda Electromagnética.



Nota. Adaptado de Onda Electromagnética (2021), Electrónica Unicorn, recuperado de: <https://www.electronicaunicorn.com>

Tipos de Propagación de Ondas Electromagnéticas

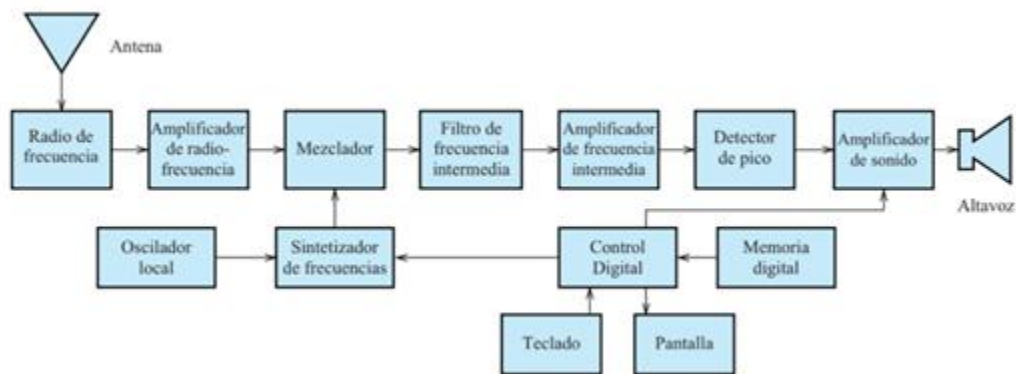
- Superficial: las ondas de radio viajan a través de la porción más baja de la atmósfera, abrazando a la tierra.
- Ionosférica: las ondas de radio (alta frecuencia) se radian hacia la ionosfera donde se reflejan de nuevo hacia la tierra.
- Troposférica: se radia con un cierto ángulo hasta los niveles superiores de la troposfera, donde se refleja hacia la superficie de la tierra.
- Propagación por la línea de vista: las ondas de radio parten del transmisor y llegan directamente al receptor en línea recta. Para que se establezca este tipo de enlace se necesita que haya visibilidad óptica entre el emisor y el receptor.

Atenuación de Onda

La atenuación es descrita matemáticamente por la ley del cuadrado inverso que describe cómo es que se reduce la densidad de potencia con la distancia a la fuente. El

campo electromagnético continuo se dispersa a medida que el frente de onda se aleja de la fuente, lo que hace que las ondas electromagnéticas se alejen cada vez más entre sí; en consecuencia, la cantidad de ondas por unidad de área es menor. No se pierde ni se disipa nada de la potencia irradiada porque el frente de onda se aleja de la fuente; la onda sólo se extiende o se dispersa sobre un área mayor. Para entender mejor la atenuación, se debe ver el desplazamiento, esto se visualiza en un diagrama de bloques en la figura 7.

Figura 7. Diagrama de bloques de un sistema electrónico simple de recepción de ondas de radio.



Nota. Adaptado de Hambley, A. Diagrama de bloques sistema electrónico simple de radio am (2001).

Antena

Una antena es un elemento conductor empleado para transmitir y recibir ondas electromagnéticas hacia y desde el espacio libre. Se utiliza la referencia de ondas estacionarias en una línea de transmisión.

Tipos de Antenas

Existe una gran diversidad de tipos de antenas, dependiendo del uso al cual van a ser destinadas. El tipo de la antena determina su patrón de radiación puede ser omnidireccional o direccional. Las antenas omnidireccionales son buenas para cubrir áreas grandes, donde la radiación trata de ser pareja para todos lados, es decir, cubre

360°. Las antenas direccionales son las mejores en una conexión punto-a-punto, acoplamiento entre los edificios, o para los clientes de una antena omnidireccional.

Para este anteproyecto no se podría implementar una antena en particular debido a que se necesita realizar algunas pruebas de campo para definir cuál es la que mejor se ajusta al sistema. En la ejecución del proyecto se detallará las antenas que se conectarán a los módulos XBee, tanto para los transmisores como para el receptor correspondiente y especificará cada detalle de estas. Sin embargo, se mostrará en la tabla 1 las que podrían funcionar y que existen actualmente.

Tabla 1. *Tipos de antenas adecuadas*

N.º parte antena	Tipo de antena	Ganancia	Pérdida de cable requerida	Adecuada
A24-HASM-450	Dipolo látigo media onda	2,1 dBi	n/a	Sí
A24-QI	Monopolar látigo integrado	1,5 dBi	n/a	Sí
A24-C1	Montaje superficial	-1,5 dBi	n/a	No
29000430	Antena PCB integrada	-0,5 dBi	n/a	No
A24-Y4NF	Yagi 4 elementos	6,0 dBi	n/a	Sí
A24-Y 16RM	Yagi 16 elementos (RPSMA)	13,5 dBi	6,4 dB	Sí
A24-F2NF	Omnidireccional fibra de vidrio	2,1 dBi	n/a	Sí

Antena Isotrópica.

La antena isotrópica, según lo describe autor José Manuel Huidobro en el documento *Antenas de Telecomunicaciones* (2013), es una antena hipotética sin pérdida

(se refiere a que el área física es cero y, por lo tanto, no hay pérdidas por disipación de calor) que tiene intensidad de radiación igual en todas direcciones. Sirve de base de referencia para evaluar la directividad. La antena isotrópica no es una antena, sino un concepto de referencia para evaluar a las antenas en su función de concentración de energía y a las pérdidas por propagación en el espacio libre en los enlaces de radiofrecuencia. Su patrón de radiación es una esfera. (p. 6)

Antena Omnidireccional.

Su objetivo es irradiar o recibir radiación en la mayor cantidad de direcciones posibles. En general, se considera una antena omnidireccional si es capaz de irradiar en todas las direcciones de un plano para una distribución relativamente uniforme.

Antena Direccional.

Una antena direccional es una antena que fue diseñada para concentrar la mayor parte de la energía radiada en una sola dirección, su uso permite aumentar la potencia emitida hacia el receptor o desde la fuente.

Antena Dipolo.

Consiste en dos cables colocados en un mismo eje a una distancia corta. Los cables son alimentados por una fuente sinusoidal por un extremo (el más cercano al otro cable), y el otro extremo queda libre. Esta configuración hace que las distribuciones de corriente sean idénticas en ambos cables, por lo que los campos generados se refuerzan entre ellos. Las ventajas de las antenas dipolo es su fácil construcción y su bajo costo. Por lo general, se utilizan en dispositivos simples, donde no se necesita una ganancia muy alta, por ejemplo, antenas de televisión, antenas de radio, etc.

Antena Dipolo de Media Longitud de Onda.

Es un tipo de antena dipolo en el que cada uno de sus cables tiene un largo de un cuarto de la longitud de onda de la señal con la que está siendo alimentada (o que recibe). El largo total de la antena es de media longitud de onda. Se define ese largo

porque, como en el extremo libre del cable la corriente siempre debe ser cero, eso genera que en el centro de la antena haya un máximo de corriente, por lo que se obtiene una radiación óptima en el plano paralelo a la antena, en comparación con una antena de largo arbitrario.

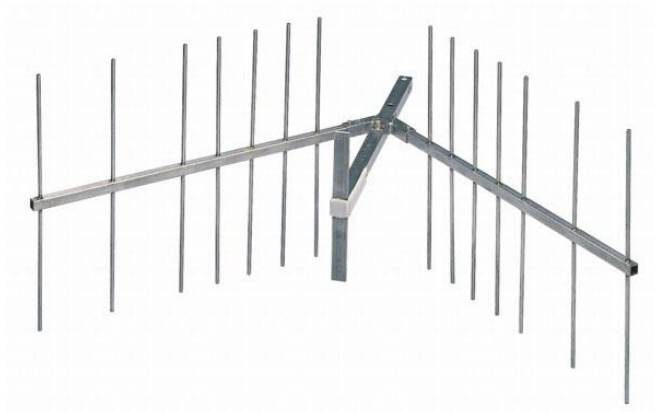
Antena Monopolo Vertical.

Esta antena solo presenta un cable o bien, un conductor que es el encargado de la radiación, la otra parte de la alimentación está conectada a tierra. Generalmente, el cable o el conductor tiene un largo de un cuarto de longitud de onda. La antena monopolo tiene el mismo comportamiento que la antena dipolo, pero irradia la mitad de la potencia. La ventaja de este tipo de antena es que tiene una construcción más simple y una mayor estabilidad en las superficies que la antena

Antena Corner.

El reflector es una de las antenas más populares por su fácil construcción. Esta antena se puede implementar de la misma manera que una Yagi-Uda, con una distribución de dipolos lineales. En el caso del reflector, existen elementos que forman dos planos reflectores con un ángulo de apertura, así, la energía se enfoca en la dirección frontal. La energía radiada hacia la parte posterior disminuye, aumentando la ganancia frente espalda. Por simplicidad, la antena Corner es utilizada como blanco pasivo para aplicaciones de radar y comunicación. En la propuesta de antena de reflector esquinado para la recepción de televisión digital, Cordoví, Jiménez y Matoses (2016) afirman que “la antena reflector esquinado es una antena que se usa fundamentalmente en aplicaciones de radar y mediciones por tener un patrón de radiación bastante directivo, en algunos diseños carente de lóbulos laterales y está constituida por un dipolo colocado a lo largo del plano de la bisectriz dentro de dos planos reflectores con un ángulo determinado en el vértice, el cual se recomienda como compromiso de diseño 90° ”. (p. 2). La antena Corner se puede observar en la figura 8.

Figura 8. Antena tipo Corner.



Nota. Adaptado de Antena reflectora de esquina VHF 380-530MHz. 2021. Electec Broadcast Expert. Recuperado de: <https://www.broadcastelectec.com>

Antena Ellipse.

Es una antena inteligente que se adapta automáticamente y en tiempo real a las condiciones de recepción. Ha sido diseñada para una recepción estable y de calidad de UHF (TDT), optimizando el rechazo a la banda LTE (hasta el canal 48) con un filtro SAW de gran selectividad. Un nuevo concepto de antena que elimina cualquier interferencia incluso en el límite de la banda de TV, fusionando en una mecánica 100% inoxidable, un diseño rompedor y la nueva generación de TForce con filtro SAW. La antena con mejor área de cobertura TDT: recibe correctamente en múltiples localizaciones, aunque la señal sea muy fuerte, o llegue a la antena muy debilitada capaz de adaptarse a los cambios en las condiciones de recepción: está continuamente comprobando la señal y autoajustando su ganancia para dar siempre el mejor nivel de salida posible.

Elimina cualquier interferencia, incluso en el límite de la banda de TV: gracias a su filtro SAW (*Surface Acoustic Wave*) que se caracteriza por su gran selectividad, se filtran las interferencias, principalmente de telefonía LTE, respetando el último canal de la banda. La imagen de una antena tipo Ellipse puede verse en la figura 9.

Figura 9. *Antena tipo Ellipse.*

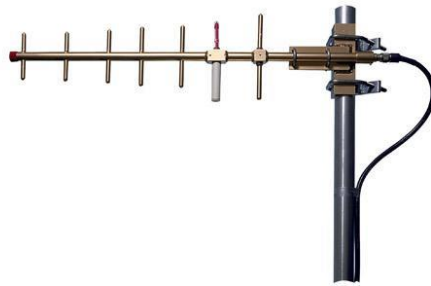


Nota. Adaptado de Cordoví T., Jiménez, R. y Matoses, *Propuesta de Antena* (2016).

Antena Yagi Uda.

Una aplicación práctica de este tipo de antenas es el de las antenas tipo Yagi-Uda (directivas), ampliamente utilizadas, por ejemplo, para la recepción de señales de televisión en la banda de UHF, ya que poseen una gran directividad, tanto mayor cuanto mayor sea el número de elementos pasivos (parásitos) que incorpore y así su ganancia es la adecuada para recibir el nivel de señal suficiente para que pueda ser amplificado sin problemas. Su ganancia y directividad dependerá del número de elementos reflectores, cuantos más, mejor, y puede cubrir toda la gama de canales de UHF, desde el 21 al 69. La antena Yagi es pues una antena capaz de concentrar la mayor parte de la energía radiada de manera localizada, aumentando así la potencia emitida hacia el receptor o recibida desde la fuente y evitando interferencias introducidas por fuentes no deseadas. La imagen de una antena tipo Yagi puede verse en la figura 10.

Figura 10. Antena tipo Yagui-Uda.



Adaptado de Antena Yagi-Uda (2021). antenasulat2012.blogspot. Recuperado de: <http://antenasulat2012.blogspot.com>

Placa de Desarrollo Galileo

Es una placa de desarrollo con un microprocesador Intel Quark X1000 (se puede observar en la figura 11). Esta placa cuenta con 14 conectores integrados, en donde se puede utilizar para entradas o salidas digitales, tiene seis entradas analógicas, un puerto serie para la programación, puerto de red RJ45 para conectarse a Internet, se puede programar con el IDE de Arduino, ya que es compatible con este.

Figura 11. Placa de desarrollo Galileo de Intel



Nota. Adaptado de Cambios de hardware para la Placa Intel Galileo de segunda generación (2021). Intel, recuperado de: <https://www.intel.la>

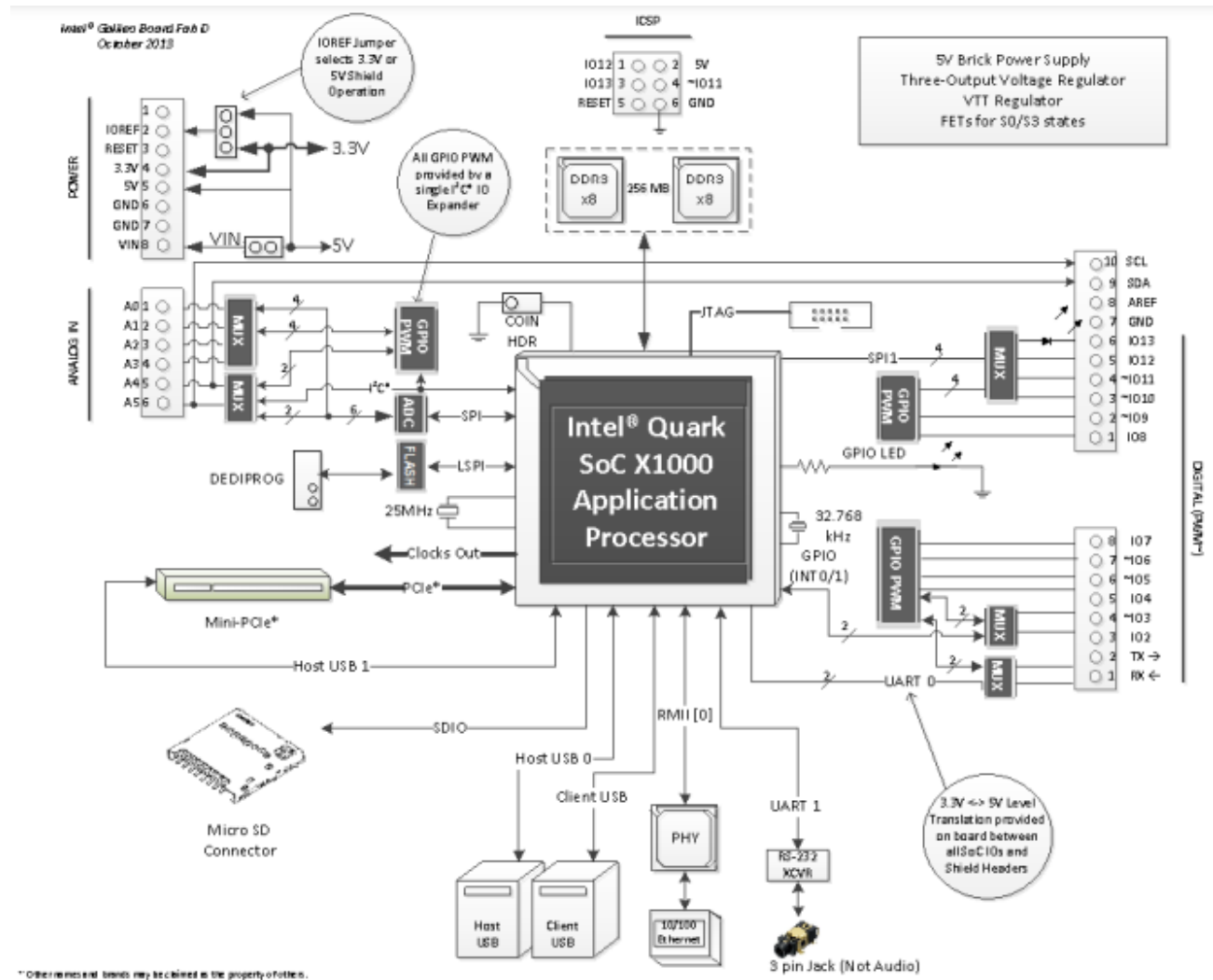
La placa Intel Galileo es la primera con certificación Arduino que proporciona una ranura Mini PCI Express (mPCIe). Esto le permite conectar módulos mPCIe estándar, como *Wi-Fi*, *bluetooth* y adaptadores de tarjeta SIM, para teléfonos celulares. En la tabla 2 adjunta se observa la hoja de datos (*datasheet*) de la respectiva placa de desarrollo.

Tabla 2. Hoja de datos de la placa Galileo.

Especificaciones técnicas		
Frecuencia básica del procesador	400 MHZ	
Cantidad de puertos USB	3	
Puerto USB	2,0	
USB 2.0 (externos + internos)	3	
Cantidad de puertos seriales	1	
Máximo de ancho de banda de memoria	2.5 GB/s	
Extensiones de dirección física	32 bit	
Entradas / salidas digitales	14	
Entradas analógicas	6	
Resumen eléctrico	Valor	
Voltaje de entrada recomendado	5 V	
Voltaje de entrada límite	5 V	
Corriente total DC	80 mA	
Corrientes DC	3.3V/800 mA	
Corriente DC	5V Pin 800 mA	
	Entrada de corriente (mA)	Salida de corriente (mA)
Capacidad por pin	10	25
Pines digitales 3,5,9,10,12, 13	40	100
Pines digitales 0,1,2,4,6,7,8,11	40	100
Pines analógicos A0- A5	40	100
Pines digitales 0-13	80	200
Pines analógicos A0-A5	80	200

En la figura 12 se muestra en detalle la configuración del microprocesador de Intel que tiene la placa Galileo.

Figura 12. Microprocesador Intel Quark SoC1000



Nota: adaptado de Galileo Datasheet (2022). Intel. Recuperado de: <https://www.intel.la>

Placa de Desarrollo Arduino Mega.

La placa Arduino Mega se desarrolla con *microchips* de alto rendimiento que trabajan con una memoria *flash* 256 KB (se puede observar en la figura 13). Posee más de dos puertos seriales y posee un voltaje externo de 3.3 V, ideal para alimentar el transmisor Xbee, la cual la hace óptima para el proyecto realizado.

Figura 13. *Arduino Mega.*



Nota. Adaptado de: <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560>

Tabla 3. *Hoja de Datos Arduino Mega*

Especificaciones técnicas	
Tensión de Funcionamiento	5 V
Tensión de Funcionamiento (Recomendado)	7-12 V
Voltaje de entrada(Límite)	6-20 V
Pines de E/S Digitales	54 (15 proporcionan salida PWM)
<u>Pines Entrada Analógica</u>	16
<u>Corriente cc por pin de E/S</u>	20 mA
<u>Corriente cc para clavija de 3.3 V</u>	50 mA
<u>Memoria Flash</u>	256 KB (8 KB gestor de arranque)
<u>SRAM</u>	8 KB
<u>EEPROM</u>	4 KB
<u>Velocidad de reloj</u>	16 MHz
<u>Led Construido</u>	13
<u>Longitud</u>	101,52 mm
<u>Ancho</u>	53,3 mm
<u>Peso</u>	37 gramos

Nota. Adaptado de <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560>

Placa NodeMCU ESP8266

Es una placa de desarrollo compacta con un módulo de conexión inalámbrica (*WIFI*) integrada para soluciones de Internet de las cosas (ver figura 14). Contiene 30 pines, de los cuales nueve se pueden utilizar como entradas o salidas digitales, contiene un puerto serie para la programación con la computadora.

Figura 14. *NodeMCU ESP8266.*



Nota. Adaptado de *Crear una interfaz Web con NodeMCU ESP8266* (2021). Anacorp, recuperado de: <https://www.aranacorp.com>

Comparación Entre las Placas de Desarrollo

En el mercado existen diferentes placas de desarrollo que integran un microcontrolador con cierta cantidad de pines de entradas y salidas, dependiendo del uso para el que se requiera. En la tabla 4 se detallan las diferencias.

Tabla 4. Diferencias entre placas de desarrollo.

Especificaciones	Arduino Uno	Galileo Intel	Raspberry Pi	Edison Kit for Arduino
Alimentación	5-12 V	5 V	5 V	7-15 V
Corriente entrada	1 A	2,5 A	3 A	1 A
Corriente DC salida total máxima	200 mA	800 mA	100 mA	100 mA
Corriente DC I/O	20 mA	80 mA	51 mA	24-32 mA
Cantidad I/O	14	14	28	20
Interfaz Comunicación	UART/SPI	UART/SPI	UART/SPI	UART/SPI
Microcontrolador	Atmega 328P	NA	NA	NA
Microprocesador	NA	Quark SoC X1000 400 MHz	Quad core ARM-Cortex A72 1,5 GHz	Dual core Atom 500 MHz
Memoria flash	32 KB		4 Gb	4 Gb
Ranura almacenamiento	NA	MicroSD	MicroSD	MicroSD
Entradas analógicas	6	6	0	6
Bluetooth integrado	NA	NA	Si	Si
WLAN/ Ethernet integrado	NA	Ethernet	Wireless/ Ethernet	Si

Lenguajes de Programación

Existen diferentes lenguajes de programación, según el uso que se le vaya a dar. Para este proyecto se investigó el lenguaje adecuado para programar el microcontrolador de la placa de desarrollo Galileo. En la tabla 5 se analizan los diferentes lenguajes.

Tabla 5. Lenguajes de programación

Lenguaje	Ventajas	Desventajas
Lenguaje C	Uso lenguaje eficiente (lenguaje compilado). Muy eficiente para hacer llamadas directas al sistema operativo. Puede ser ejecutado en cualquier tipo de <i>software</i> o <i>hardware</i> , velocidad y simplicidad.	Lenguaje incompleto. Estructura muy cerrada. No recomendable para sitios web. Falta de funciones. No permite <i>checking</i> a tiempo de ejecución. Curva alta de aprendizaje.
Lenguaje C++	Rehúso del código. Manejo de memoria más transparente. Mejores actualizaciones.	Curva alta de aprendizaje. Poco recomendado para diseño Web.

Lenguaje	Ventajas	Desventajas
		Requiere conocimiento previo. (F. Ceballos, 1999)
Lenguaje Java	Seguridad alta. Lenguaje a código abierto. Interpretación y compilación rápida. Usos variados.	Es de lenguaje interpretado. Es de sintaxis compleja. No cuenta con una función de copia de seguridad. Requiere un espacio de memoria significativo. Se ejecuta solo en dispositivos y equipos aptos. (F. Ceballos, 2006)
Visual Basic	Aprendizaje muy rápido. Integra el diseño e implementación de formularios de <i>Windows</i> . Uso fácil de plataforma de <i>Windows</i> .	Sus librerías <i>Runtime</i> . dll tienen problemas de versionado. Soporte escaso.
Ide Arduino	Bajo costo. Fácil de utilizar. Alta flexibilidad. Gran variedad de placas. Plataforma abierta.	Nivel escaso de aprendizaje en términos de electrónica y programación (al utilizar el IDE). El equipamiento con <i>shields</i> puede ser caro.

Sensor de Humedad

Es un dispositivo electrónico que permite medir la humedad del suelo (ver figura 15). La sonda utiliza resistencia analógica para detectar el nivel de humedad, tiene salida digital y analógica para trabajar con placas de desarrollo como Galileo, Arduino, Raspberry Pi.

Figura 15. *Sensor de humedad.*



Nota. Adaptado de Sensor de humedad del suelo resistente, detector de humedad de la estación de hielo, con sonda resistente a la corrosión, salida de señal analógica digital para sistema de riego automático de jardín Arduino. (2021). Amazon, recuperado de: <https://www.amazon.com>

Sensor de Ph

Es un instrumento utilizado para medir el nivel de acidez o alcalinidad de una determinada solución (ver figura 16). El pH se mide en una escala de 0 a 14, en donde el valor expresa el grado de acidez de una base en términos de la actividad de los iones de Hidrógeno (H+) e Hidroxilo (OH-).

Figura 16. *Medidor de pH*



Nota. Adaptado de RS485 4-20mA temperatura del suelo humedad conductividad EC PH Sensor. (2022). Aliexpress, recuperado de: <https://www.Aliexpress.com>

Analizador de Minerales

Es un instrumento utilizado para la medición de nutrientes en la agricultura, analiza Amoniacaco, Fósforo, Nitrato, Potasio, Calcio, Magnesio, Sulfato (ver figura 17). Realiza las mediciones de cada nutriente y para cada concentración de nutrientes con completa exactitud.

Figura 17. *Medidor de nutrientes en suelo*



Nota. Adaptado de Fotómetro para el análisis de nutrientes en suelo. HI 83325 (230V). (2021). InfoAgro.com, recuperado de: <https://www.infoagro.com>.

Sensor de Minerales NPK

Es un medidor de minerales presentes en el suelo, mide la cantidad de Nitrógeno, Potasio y Fósforo, tiene un rango de medición de 0 a 1.999 miligramos por kilogramo (mg/Kg) o miligramo por litro (mg/L), la alimentación puede ser de 12 a 24 voltios en corriente directa (DC), utiliza tres sondas de material dieléctrico para ser insertada permanentemente en la tierra, utiliza el protocolo de comunicación RS-485, el cual es compatible con dispositivos industriales. En la figura 18 se puede observar el sensor.

Figura 18. Sensor de Nitrógeno, Fósforo, Potasio



Nota. Adaptado de Probador de Suelo Agrícola (Nitrógeno, Fósforo y Potasio). (2021). Amazon.com, Recuperado de: <https://www.amazon.com>.

Módulo XBEE S2C

Es un módulo de bajo costo que permite realizar conexiones inalámbricas entre dispositivos electrónicos. Trabaja con una frecuencia de 2.4Ghz y permite crear redes de conexión punto a punto, punto a multipunto, *broadcast* y Mesh, tiene incorporado la comunicación SPI (*Serial Pheriferal Interface*), en español Interfaz Periférica Serial y la UART (*Universal Asynchronous Receive Transmit*), en español Transmisor Receptor Universal Asíncrono, que provee un intercambio de datos con una alta velocidad entre dispositivos, optimizando la conexión con microcontroladores. Tiene un alcance de 1.200 metros línea a vista en condiciones favorables y 60 metros en interiores. En la tabla 6 se detallan las especificaciones técnicas de este módulo y en la figura 19 se observa el dispositivo.

Tabla 6. Hoja de datos XBee

Especificaciones técnicas Xbee X2C	
Conjunto de chip del transceptor	Silicon Labs EM357 SoC
Fuente de alimentación	2,1 a 3,4 voltios
Corriente de transmisión	33 a 45 mA
Corriente de recepción	28 a 31 mA
Velocidad de datos	RF 250 Kbps, Serial > 1 Mbps
Canales	16

Especificaciones técnicas Xbee X2C	
Alcance interior	60 metros
Alcance exterior/línea vista	1.200 metros
Frecuencia	2,4 GHz (2400 MHz)
Potencia de transmisión	3,1 mW (+5 dBm) a 6,3 mW (+8 dBm)
Sensibilidad del receptor	-100 dBm a -102 dBm
Interfaz de datos en serie	UART, SPI
Método de configuración	API, comandos AT
Entradas analógico-digital	4
Entradas/salidas digitales	15
Opciones de antena	Antena PCB, conector U.FL, conector RPSMA
Protocolo	Digi Xbee 802.15.4, actualizable a los protocolos Digi Mesh y Zig Bee
Temperatura de operación	-40 a 85° C
Modulación	Espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS)
Encriptación	128 bits AES (Estándar de Cifrado Avanzado)
Corriente de apagado	1 μ A

Figura 19. Módulo XBEE S2C



Nota. Adaptado de XBee ZB S2C TH. (2021). Digi, recuperado de: <https://xbee.cl>

Enrutador *WIFI* Móvil

Este dispositivo tiene una velocidad de 150 Mbps 4 G LTE proveerá de Internet al sistema, en uno de sus puertos RJ45 se conectará por medio de cable de red directamente a la tarjeta de Desarrollo Galileo, tiene una ranura para tarjeta mini-sim. Sin embargo, se limita a lo que pueda ofrecer el proveedor de servicio de datos (ver figura 20).

Figura 20. Router WIFI 4 G LTE.



Nota: Adaptado de B315s-608. Huawei, recuperado de: <https://consumer.huawei.com/>

WIFI Móvil Huawei E5785

Este dispositivo proporciona Internet inalámbrico en doble banda 2,4 GHz y 5 GHz respectivamente, con una velocidad de aproximadamente 300 Mbps, el cual servirá de redundancia para el sistema, en caso de una eventual caída de red (ver figura 21).

Figura 21. *WIFI móvil Huawei E5785.*



Nota: Adaptado de *WIFI móvil Huawei E5785.* Huawei, recuperado de: <https://consumer.huawei.com/>

Nivel de PH

El pH, según el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia, indica que el pH es una propiedad química que mide el grado de acidez o alcalinidad de las soluciones acuosas. Por definición se considera que el pH es el logaritmo negativo de la actividad de los protones (H⁺) en una solución acuosa. $pH = -\log (H^+)$.

Ya propiamente en los suelos, el pH es una propiedad química de mucha importancia porque indica qué tan ácida o alcalina es la solución del suelo, que es de donde las raíces y los microorganismos del suelo toman sus nutrientes. Esta propiedad usa una escala de medición cuyo rango de fluctuación es de 0 a 14. Se basa en el principio de que la constante de equilibrio de la disociación del agua es 10^{-14} , dada por la siguiente representación $H_2O \leftrightarrow H^+ + OH^-$ $K = 10^{-14}$. (N. Osorio, 2012)

Nivel de Humedad del Suelo

El nivel de humedad se debe a la cantidad de agua en el suelo, la capacidad de retención de la humedad del suelo es un aspecto fundamental para el desarrollo y crecimiento de las plantas, lo cual va a estar influenciada directamente por las propiedades fisicoquímicas y procesos biológicos del suelo, por lo que ejerce un impacto importante sobre las plantas. (Porta *et al.*, 2003)

Cantidad de Minerales en el Suelo

Para el crecimiento de la mayoría de las plantas son 16 los minerales esenciales, cuya procedencia puede ser del agua (H₂O), aire (CO₂) o del suelo (N), de los cuales son tres nutrientes primarios: Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

El Nitrógeno (N) es absorbido por la planta en forma de Nitratos o Amonio, es necesario para el desarrollo y crecimiento de las plantas y ayuda en la absorción de los otros nutrientes.

El Fósforo (P) es importante para la transferencia de energía, la fotosíntesis y para el desarrollo de los tejidos.

El Potasio (P) es necesario ya que activa sustancias químicas que regulan la vida de las plantas, mejora el régimen hídrico, lo cual aumenta la tolerancia a las sequías, heladas y salinidad. (FAO)

Conceptualización de la Metodología IDEAL

Según José Ignacio Ruiz, en su libro *Metodología de la Investigación Cualitativa*, menciona:

La construcción y utilización de Tipos Ideales nos ofrece la posibilidad de establecer (representar y comprender) de forma pragmática, las relaciones y los tipos de relaciones que existen entre determinados factores y nos aclaran como han podido influir en algunos casos concretos de la realidad. (Ruiz, 2012, p. 41)

De acuerdo con lo mencionado anteriormente por José Ignacio Ruiz, se puede decir que utilizar este tipo de metodología cualitativa proporciona un claro escenario para comprender todos los factores que influyen en una investigación, debido a que se pueden emplear los siguientes conceptos que ayudan en la ejecución de la investigación de acuerdo con el Blog NANOPDF.COM, titulado *Metodología de Construcción*, menciona:

➤ **Identificar**

Etapa 1: Plan de requisitos y adquisición de conocimientos

En esta etapa se consideran los siguientes parámetros:

- Fines generales y específicos.
- Rendimiento y funcionamiento.
- Limitaciones de coste-tiempo.
- Tecnología disponible.
- Requisitos de fabricación.
- Competencia.
- Ampliaciones futuras.
- Fiabilidad y confiabilidad.

Etapa 2: Evaluación y selección de la tarea.

En esta etapa se hace un estudio de viabilidad y se cuantifica la evaluación para determinar el grado de dificultad y se analiza lo siguiente:

- Plausibilidad.
- Adecuación.
- Justificación.
- Éxito.

Etapa 3: Se establecen y definen las características más importantes de la tarea.

- Definición formal de la aplicación, los cuales pueden ser funcionales, operativos, de interfaz o de soporte.
- Criterios de éxito.
- Juegos de ensayos.
- Especificación de recursos humanos y materiales.
- Análisis de costo-beneficio y riesgo.
- Calendario e hitos.

➤ **Desarrollar**

Etapa 1: Concepción de la solución.

Etapa 2: Conceptualización de conocimientos.

Etapa 3: Formalización de conocimientos.

Etapa 4: Implementación.

Etapa 5: Evaluación y validación.

Etapa 6: Especificaciones y diseño.

➤ **Ejecutar**

Etapa 1: Requisitos y diseño.

Etapa 2: Evaluación e implementación.

Etapa 3: Aceptación por parte del usuario final.

➤ **Actuar**

Etapa1: Se define el mantenimiento del sistema global.

Etapa 2: Se define el mantenimiento de la base del conocimiento.

Etapa 3: Adquisición de nuevos conocimientos.

➤ **Lograr**

Etapa 1: Organizar la transferencia tecnológica.

Etapa 2: Completar la información del sistema. (Anónimo, 2018, pp. 1-3)

CAPÍTULO III. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

En este apartado se desarrollará la estrategia metodológica de un sistema electrónico para la medición de variables agrícolas en la Finca Alvarado Rodríguez, brindando el apoyo al micro, pequeño y mediano productor, donde se indica el tipo de investigación, definición de variables, enfoque, población, técnicas e instrumentos, análisis de datos y el cronograma de la propuesta.

Enfoque de la Investigación

De acuerdo con Gómez (2006), “El enfoque cualitativo se basa en métodos de recolección de datos sin medición numérica, sin conteo, utiliza las descripciones y las observaciones”. (p. 60)

Según esta investigación es cualitativo, se busca dar un punto de vista de calidad para la propuesta basada en ofrecer una solución a los micro, pequeños y medianos agricultores de Costa Rica, con la intención de recolectar los datos y efectuar un análisis para obtener los resultados de los objetivos planteados en el primer capítulo de este proyecto, según se afirma en el enunciado anterior.

El tipo de información será cualitativo, lo cual permite realizar una observación de los diferentes elementos para luego hacer el análisis correspondiente. Por lo tanto, se trabajará bajo la metodología IDEAL, la cual se desarrolla en las siguientes etapas:

➤ **Identificar**

En este primer apartado se identificarán los problemas y necesidades de los micro, pequeños y medianos agricultores de la zona de occidente. Seguidamente, en esta misma etapa se buscará tecnologías a las cuales pueden acceder los agricultores para el desarrollo de sus cultivos. Lo anterior dará como resultado una perspectiva de qué se va a enfrentar en el mercado.

➤ **Desarrollo**

En este apartado se labora en el desarrollo de un prototipo, el cual brindará datos para verificar el alcance del proyecto en la parte del equipo y lo social.

➤ **Elaboración**

Para esta etapa se realiza el diseño del proyecto a través de los sistemas electrónicos que se requieran y los que se han tomado en cuenta en apartados anteriores, también se analizará el valor económico del prototipo y los honorarios por la realización de este.

➤ **Análisis**

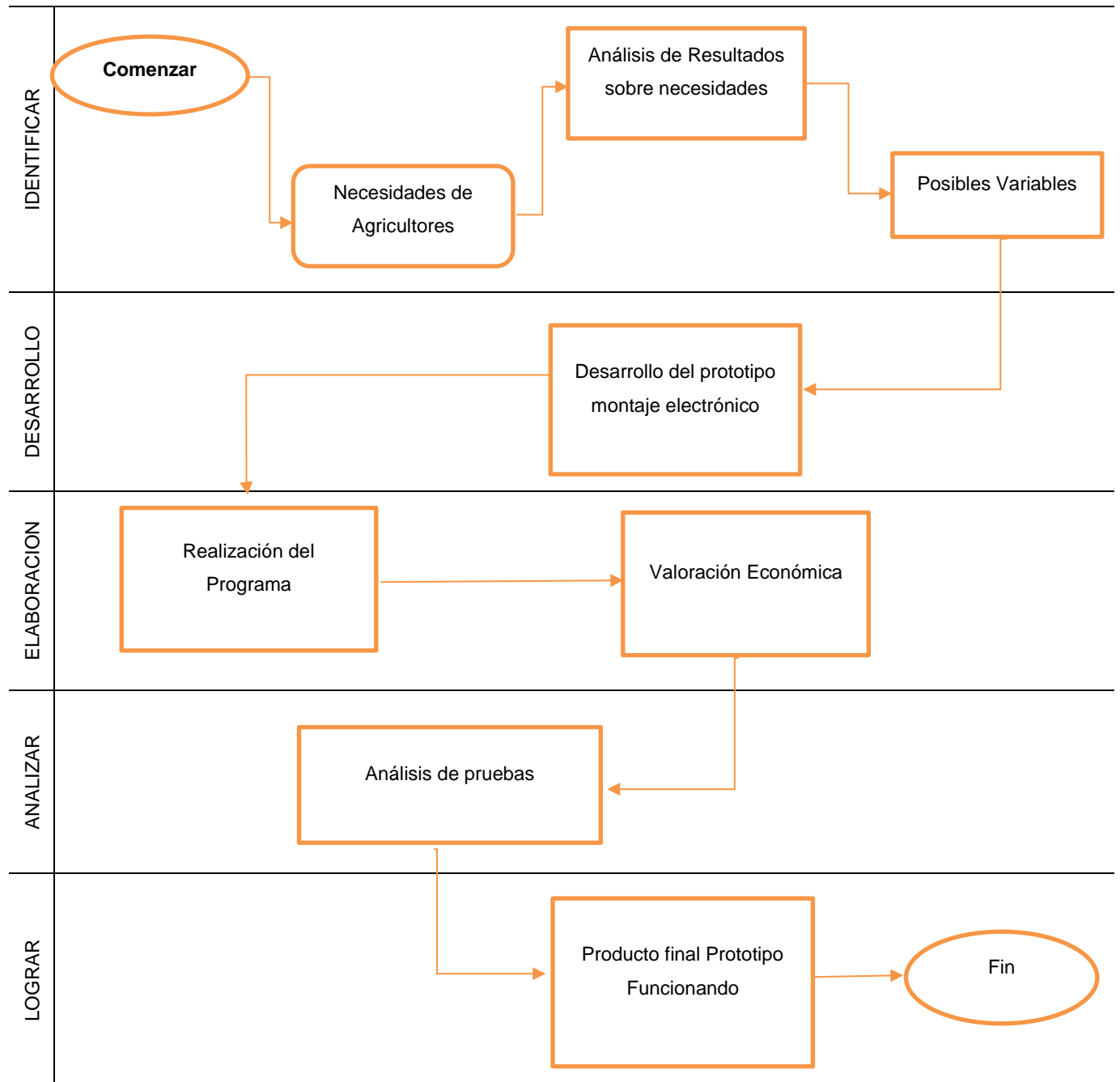
A esta altura del proyecto ya se tienen los resultados de las etapas anteriores, por lo cual se dará inicio con la implementación del prototipo en la finca Alvarado para proveer de conclusiones y recomendaciones.

➤ **Lograr**

El alcance de esta etapa es la culminación del proyecto y se dará respuesta a las necesidades del señor Alvarado para atacar sus problemas en la agricultura y mejorar su producción.

De acuerdo con lo analizado en los párrafos anteriores sobre la metodología IDEAL, se puede entregar un resultado al producto propuesto. Posteriormente, se observará un diagrama de cómo se puede demostrar esta metodología para el proyecto (ver tabla 7).

Tabla 7. Diagrama de metodología.



Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, ya que se generará conocimiento con una aplicación directa a los problemas que tiene el sector agrícola del país, en específico los micro, pequeños y medianos productores. Tal como lo cita Lozada (2014), “Esta se basa fundamentalmente en los hallazgos tecnológicos de la investigación básica, ocupándose del proceso de enlace entre la teoría y el producto”. (p. 34)

Lo anterior se logrará a través de la implementación de un sistema que pueda recolectar datos utilizando sensores de humedad, alcalinidad del suelo, analizador de minerales y con la posibilidad de transmitirlos por medio de radiofrecuencia al sistema encargado de recolectar y almacenar los datos de forma continua, para ser visualizados en tiempo real empleando el Internet de dispositivos móviles o computadoras.

Se utilizará como metodología general el análisis de los datos que muestran los sensores, así como toda información obtenida mediante los cuestionarios aplicados a los expertos en el sector agropecuario.

La experimentación se llevará a cabo por medio del prototipo que se diseñará para realizar las pruebas en la finca del señor Alvarado, mientras que para la metodología específica se utilizará la observación de los efectos, documental, de campo y testimonio oral de fuentes primarias, como los agricultores e ingenieros expertos en el campo agrícola del país, también con ayuda del dueño de la finca en donde se implementará el proyecto.

Población

De acuerdo con un análisis de producción de agricultores, basados en el *Diario Oficial La Gaceta* n.º 177, en el Artículo 10 (2013), descrito en la delimitación del Problema de este proyecto, se dirige a la población específica de micro, pequeño y mediano productor agrícola de la zona de Occidente. Tomando en cuenta la expansión del sistema en todo el territorio nacional una vez realizado y probado, la implementación del proyecto se dará en la finca del señor Warner Alvarado.

Se contempla una población de alrededor de 20 productores de la zona, a esta población se aplicó el cuestionario para tener una referencia de la muestra y se realizaron entrevistas a tres agricultores, los cuales se mostraron interesados. Por lo tanto, el señor Alvarado decidió que la implementación del proyecto se realice en su finca.

Técnicas e Instrumentos

Las técnicas e instrumentos son todas aquellas herramientas que permiten obtener datos y recolectar información para la realización de un proyecto. Los siguientes instrumentos fueron empleados para el desarrollo del proyecto:

- Se utilizó la técnica de cuestionarios, estos permiten obtener el dato de qué productores eran aptos para una implementación del proyecto de formulación tecnológica (ver anexo 1).
- Las entrevistas permiten calificar a los agricultores que optaron por la implementación del sistema.
- Sensores de PH: estos sensores son los utilizados para medir la cantidad de acidez y la alcalinidad del suelo.
- El sensor de humedad medirá la variable de humedad en el terreno.
- El sensor de minerales ofrece un parámetro que puede dar valores de Nitrógeno, Fósforo y Potasio a nivel del terreno a cultivar.
- El módulo NodeMCU ESP8266 es una tarjeta de desarrollo compacta con entradas y salidas, contiene un microcontrolador de 32 bits, esta se puede programar con el IDE de Arduino.
- Módulos XBEE S2C de DIGI: estos son módulos de bajo costo que permiten realizar conexiones inalámbricas entre dispositivos electrónicos. Trabaja con una frecuencia de 2.4Ghz y permitirá crear redes de conexión punto a punto, punto a multipunto, *broadcast* y Mesh.
- Multímetro: herramienta que se utiliza para obtener diferentes magnitudes en el área de la electrónica.
- Tarjeta tipo Galileo de Intel, con un microprocesador Pentium de 400 MHz, tiene seis entradas analógicas y digitales, también tiene comunicación serial para la conexión con los módulos XBEE.

- *Software* XCTU es una plataforma para programar e interactuar los módulos RF XBEE por medio de una interfaz gráfica muy fácil de utilizar.
- El Arduino IDE es un software de código abierto que se utilizará para programar el microprocesador del Arduino Mega 2560 y el módulo NodeMCU ESP8266.
- *Android Studio* es el entorno IDE para programar las aplicaciones que se utilizarán en los dispositivos móviles.
- HTML es el *software* encargado de estructurar la página Web en donde se visualizarán las variables almacenadas en la base de datos.
- CSS es el lenguaje de diseño que le dará estructura, formato y una mejor presentación a la página Web.
- MySQL es el sistema encargado de gestionar la base de datos y administrar la información.

Análisis de Datos

En el presente proyecto se recauda la información de los cuestionarios realizados a los agricultores de la zona de interés (zona de occidente), se tabulan los datos obtenidos y, por medio de gráficos, se analiza y se explica el resultado.

Las preguntas de las entrevistas se tomarán en cuenta para identificar las variables, recaudar toda la información acerca de los parámetros y procedimientos de la siembra y cosecha en la finca en donde se llevará a cabo el proyecto.

Propiamente en el prototipo experimental que se diseñará mediante el microcontrolador integrado en la placa de desarrollo Arduino Mega y el Galileo de Intel, con el previo estudio de los parámetros utilizados en la agricultura, se indican los umbrales de valores entre lo funcional y no funcional por medio del chip; se establecen los límites para obtener las diferentes variables que proporcionan los diferentes sensores antes descritos.

Se utiliza la tecnología Internet para analizar los datos de las variables recopiladas por medio de la página Web o aplicación móvil que se desarrollará, y la información almacenada en la base de datos del sistema para compararlos con la información obtenida de los agricultores expertos del campo agrícola.

Se tomará en cuenta las entrevistas al ingeniero agrónomo, ya que este proporciona información importante para tomar en cuenta a la hora de definir las variables que se van a medir con el sistema.

Procesamiento de Información

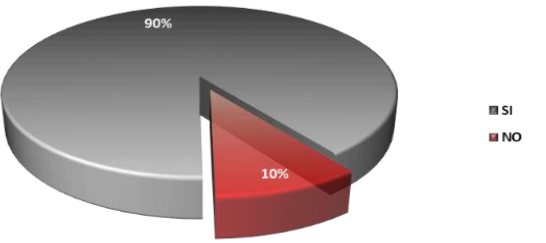
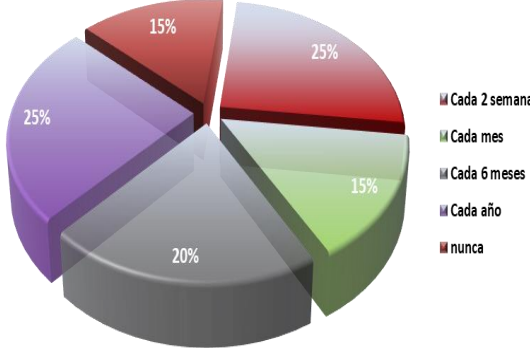
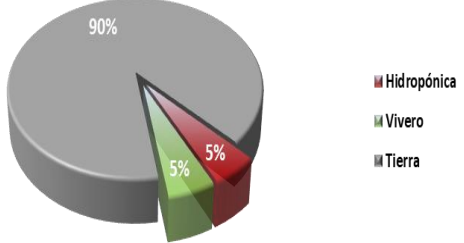
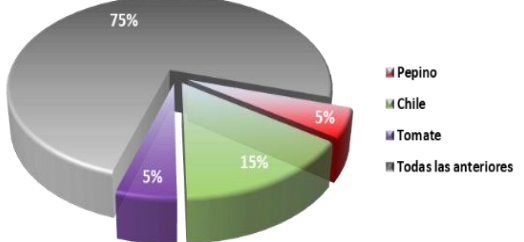
Los micro, pequeños y medianos productores agrícolas de la zona de Occidente necesitan proveer para sus fincas de tecnología que les ayude con el mejoramiento de sus cultivos mediante el uso de tecnología como un sistema que reciba del suelo datos de variables agrícolas, mediante el uso de sensores instalados en la finca donde cultivan, y que sea utilizado como otra herramienta de trabajo.

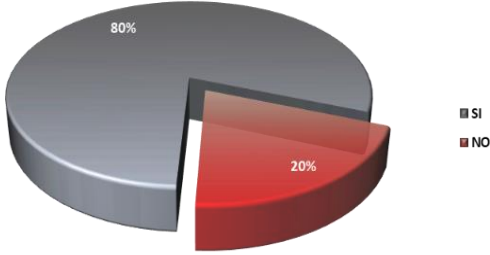
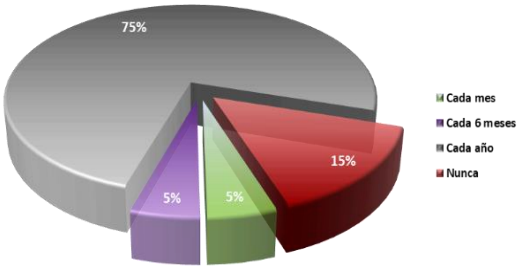
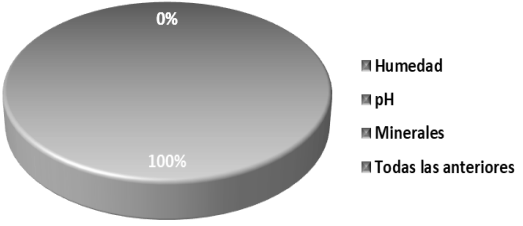
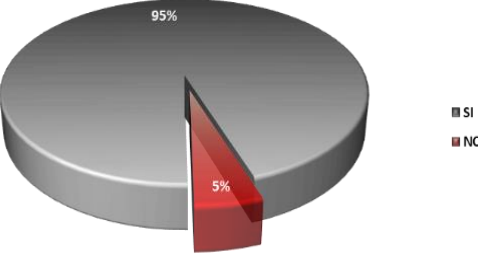
De acuerdo con las entrevistas realizadas, tanto a los agricultores como al ingeniero agrónomo, lo que más necesitan es medir la humedad del suelo, nivel de pH, temperatura del suelo, presencia de minerales tales como el Nitrógeno, Fósforo y Potasio, que esos datos puedan ser visualizados en tiempo real para así efectuar los ajustes y mejoras que el suelo necesita para que los cultivos sean de buena calidad y obtener un mayor control de la producción.

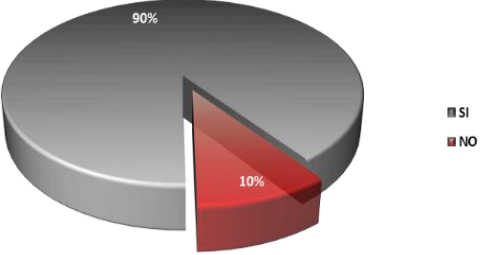
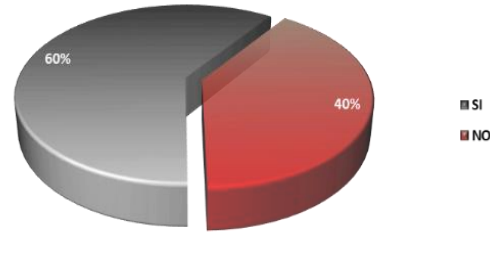
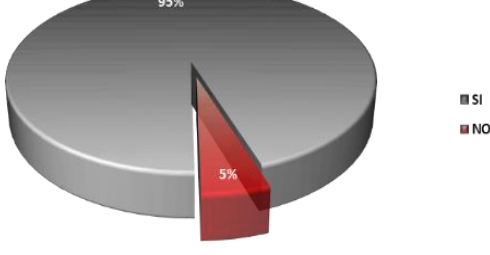
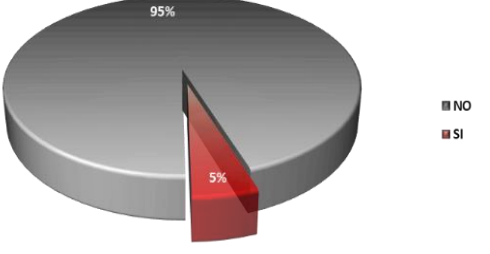
Una limitante que se encontró es el poco conocimiento que tienen los productores sobre el uso de tecnología agrícola, ya que algunos de ellos dijeron no saber nada al respecto, lo cual le da una gran oportunidad al proyecto que se implementará en la finca del señor Alvarado.

Se incorpora el criterio técnico de los agricultores, del cual se extrae la información del cuestionario de doce preguntas, para valorar algunos aspectos donde se necesita saber qué acompañamiento recibe el agricultor en la zona de Occidente acerca del uso de la tecnología en los cultivos. De acuerdo con la tabla 8, se brinda información relevante que permitirá la orientación del proyecto.

Tabla 8. Tabulación del cuestionario.

Ítem	Pregunta	Respuesta en gráfico	Resumen												
1	¿Algún ingeniero agrónomo lo asesoraba?	<p style="text-align: center;">Asesoría en Agronomía</p>  <table border="1"> <caption>Data for Asesoría en Agronomía</caption> <thead> <tr> <th>Respuesta</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SI</td> <td>90%</td> </tr> <tr> <td>NO</td> <td>10%</td> </tr> </tbody> </table>	Respuesta	Porcentaje	SI	90%	NO	10%	<p>El aprovechamiento fue de 18 personas, las cuales indicaron que sí; dos indicaron que no, dejando como resultado 90% afirmativo y un 10% negativo.</p>						
Respuesta	Porcentaje														
SI	90%														
NO	10%														
2	Frecuencia con que lo visitan para asesorías.	<p style="text-align: center;">Frecuencia de visitas</p>  <table border="1"> <caption>Data for Frecuencia de visitas</caption> <thead> <tr> <th>Frecuencia</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cada 2 semanas</td> <td>25%</td> </tr> <tr> <td>Cada mes</td> <td>25%</td> </tr> <tr> <td>Cada 6 meses</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>Cada año</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>nunca</td> <td>15%</td> </tr> </tbody> </table>	Frecuencia	Porcentaje	Cada 2 semanas	25%	Cada mes	25%	Cada 6 meses	15%	Cada año	20%	nunca	15%	<p>Panorama disperso en donde cinco marcaron que los visitaban cada 15 días, tres cada mes, cuatro cada seis meses, cinco encuestados marcaron que al menos una vez al año, y por último, tres marcaron nunca.</p>
Frecuencia	Porcentaje														
Cada 2 semanas	25%														
Cada mes	25%														
Cada 6 meses	15%														
Cada año	20%														
nunca	15%														
3	Tipo de agricultura que realiza.	<p style="text-align: center;">Tipo de Agricultura</p>  <table border="1"> <caption>Data for Tipo de Agricultura</caption> <thead> <tr> <th>Tipo</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hidropónica</td> <td>90%</td> </tr> <tr> <td>Vivero</td> <td>5%</td> </tr> <tr> <td>Tierra</td> <td>5%</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo	Porcentaje	Hidropónica	90%	Vivero	5%	Tierra	5%	<p>La mayoría de los agricultores marcaban la opción de tierra refiriéndose a cielo abierto, para un 90% exactamente.</p>				
Tipo	Porcentaje														
Hidropónica	90%														
Vivero	5%														
Tierra	5%														
4	Productos que siembra regularmente.	<p style="text-align: center;">Productos que Siembra</p>  <table border="1"> <caption>Data for Productos que Siembra</caption> <thead> <tr> <th>Producto</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pepino</td> <td>75%</td> </tr> <tr> <td>Chile</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>Tomate</td> <td>5%</td> </tr> <tr> <td>Todas las anteriores</td> <td>5%</td> </tr> </tbody> </table>	Producto	Porcentaje	Pepino	75%	Chile	15%	Tomate	5%	Todas las anteriores	5%	<p>Existe gran variedad de productos producidos, no solo un monocultivo exactamente, las tres opciones cuentan el 75%.</p>		
Producto	Porcentaje														
Pepino	75%														
Chile	15%														
Tomate	5%														
Todas las anteriores	5%														

Ítem	Pregunta	Respuesta en gráfico	Resumen								
5	¿Ha realizado algún análisis de suelo a la plantación?	<p data-bbox="667 247 922 275">Análisis de Suelo</p>  <table border="1" data-bbox="1068 407 1105 457"> <tr> <td>■ SI</td> <td>80%</td> </tr> <tr> <td>■ NO</td> <td>20%</td> </tr> </table>	■ SI	80%	■ NO	20%	16 dijeron que sí, mientras que cuatro dijeron que no, para un 80% positivo y un 20% negativo, de quienes han realizado ocasionalmente estudios de suelo.				
■ SI	80%										
■ NO	20%										
6	Frecuencia de análisis de suelo en la plantación.	<p data-bbox="711 604 966 632">Frecuencia de Análisis de Suelo</p>  <table border="1" data-bbox="1019 743 1105 835"> <tr> <td>■ Cada mes</td> <td>75%</td> </tr> <tr> <td>■ Cada 6 meses</td> <td>5%</td> </tr> <tr> <td>■ Cada año</td> <td>5%</td> </tr> <tr> <td>■ Nunca</td> <td>15%</td> </tr> </table>	■ Cada mes	75%	■ Cada 6 meses	5%	■ Cada año	5%	■ Nunca	15%	A 15 fincas se le realizaron análisis de suelo al menos una vez al año y a tres nunca se les había hecho, mientras que a una cada mes y a otra cada seis meses.
■ Cada mes	75%										
■ Cada 6 meses	5%										
■ Cada año	5%										
■ Nunca	15%										
7	Factores más influyentes en la agricultura previo a la plantación.	<p data-bbox="667 972 1008 999">Factores que Influyen en la Agricultura</p>  <table border="1" data-bbox="938 1108 1105 1234"> <tr> <td>■ Humedad</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>■ pH</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>■ Minerales</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>■ Todas las anteriores</td> <td>100%</td> </tr> </table>	■ Humedad	0%	■ pH	0%	■ Minerales	0%	■ Todas las anteriores	100%	Todos coinciden en sus respuestas, todas las variables influyen en la agricultura.
■ Humedad	0%										
■ pH	0%										
■ Minerales	0%										
■ Todas las anteriores	100%										
8	¿Ha hecho encuestas sobre tecnología en la agricultura?	<p data-bbox="678 1360 1008 1388">Encuestas sobre tecnología Agrícola</p>  <table border="1" data-bbox="1068 1520 1105 1570"> <tr> <td>■ SI</td> <td>95%</td> </tr> <tr> <td>■ NO</td> <td>5%</td> </tr> </table>	■ SI	95%	■ NO	5%	19 personas estuvieron de acuerdo con que nunca se le había realizado una encuesta sobre la aplicación de la tecnología en la agricultura, mientras que una persona marco que sí.				
■ SI	95%										
■ NO	5%										

Ítem	Pregunta	Respuesta en gráfico	Resumen
9	¿Conocimiento de alguna tecnología aplicada en la agricultura?	<p data-bbox="630 247 1042 283">Conocimiento de tecnología en la Agricultura</p>  <p data-bbox="1063 409 1112 451">■ SI ■ NO</p>	Aprovechamiento en el cual 18 personas no conocían sobre tecnologías aplicadas a la agricultura, mientras que dos sí, para un 90% afirmativo, mientras que un 10% respondió de modo negativo.
10	¿Algún ingeniero agrónomo lo asesoraba?	<p data-bbox="630 625 1042 682">Conocimiento en equipos para control de variables agrícolas</p>  <p data-bbox="1063 798 1112 840">■ SI ■ NO</p>	Aprovechamiento en el cual 18 personas indicaron que si, 2 indicaron que no, dejando como resultado 90% afirmativo y un 10% negativo.
11	Conocimiento acerca de tecnología aplicada en la agricultura.	<p data-bbox="630 1003 1042 1039">Conocer algún instrumento de medición</p>  <p data-bbox="1063 1155 1112 1197">■ SI ■ NO</p>	Resultados sorprendentes en las respuestas, ya que a 19 personas les gustaría conocer algún instrumento de medición tecnológica que le ayude con su cosecha y solo una persona no mostró interés.
12	¿Interés por implementar alguna tecnología en las plantaciones?	<p data-bbox="630 1402 1042 1438">Implementar tecnología en plantación</p>  <p data-bbox="1063 1554 1112 1596">■ NO ■ SI</p>	Solamente a un agricultor le gustaría implementar algún tipo de tecnología en su finca, mientras que a los 19 restantes no les gustaría, dando como resultado un 5% afirmativo, mientras un 95% negativo.

Componentes que Integra el Estudio de Suelo

El establecimiento de las variables agrícolas adecuadas para este proyecto fue mediante la investigación con los agricultores y el ingeniero agrónomo, éste último proporcionó un estudio de suelo realizado en la finca del señor Alvarado, el cual se puede observar en el anexo 2.

El ingeniero agrónomo fue una parte fundamental para este proyecto, ya que, con base en los datos obtenidos en el laboratorio, junto con el criterio técnico de los agricultores, se decidió cuáles son las variables agrícolas adecuadas para el sistema del proyecto.

Se extrajo del estudio de suelo información correspondiente a las variables de pH y minerales presentes, sobre lo cual se detallan los componentes en la siguiente tabla 9.

Tabla 9. Componentes del estudio de suelo.

	Simbología	Descripción
Acidez y alcalinidad	pH	Rango entre 0 y 14
Nitrógeno, Fósforo, Potasio	N, P, K	Nutrientes primarios
Nitrato	NO ₄	Compuesto de Nitrógeno
Amonio	NH ₄	Compuesto de Nitrógeno
Óxido de Fósforo	P ₂ O ₅	Compuesto de Fósforo
Óxido de Potasio	K ₂ O	Compuesto Potasio
Óxido de Magnesio	MgO	Compuesto de Magnesio
Óxido de Calcio	CaO	Compuesto de Calcio
Kilogramo por Hectárea	Kg/Ha	Medida de los minerales en el suelo

Niveles de pH en el Suelo

Es el nivel de acidez o alcalinidad presentes en el suelo, la escala del pH tiene un rango que va de 0 a 14, en donde 7 es el valor neutro, los niveles menores a 7 indican acidez, mientras que los números mayores a este indican alcalinidad. Todo depende del tipo de planta, ya que hay variedades que crecen en suelos ácidos con pH de 5 a 5,5, mientras que otras crecen mejor en suelos moderadamente ácidos con pH de 5,8 a 6,5.

Las deficiencias de los nutrientes son fáciles de restaurar al mantener el pH del suelo en un valor óptimo, estas se miden con equipos e instrumentos especiales. (Kluepfel y Lippert, 2012)

Cantidad de Minerales en el Suelo

El Nitrógeno (N) está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas, ayuda en la absorción de los nutrientes, es esencial para el crecimiento de la planta, lo cual lo absorbe del suelo en forma de Nitrato (NO_3) o Amonio (NH_4). El Fósforo (P) es importante en la transferencia de energía, esencial para la fotosíntesis y otros procesos químico-fisiológicos, para el desarrollo de los tejidos de crecimiento de la planta, este mineral es deficiente en la mayoría de los terrenos agrícolas.

El Potasio (K) juega un papel importante en la síntesis de carbohidratos y proteínas, mejora el régimen hídrico de la planta; por ende, aumenta su tolerancia a las sequías, heladas y salinidad. Las plantas con suficiente Potasio sufren menos enfermedades. (FAO, 2002)

Según indica el ingeniero agrónomo Randall Alvarado Ledezma, en un análisis de laboratorio realizado a la finca de don Warner Alvarado en abril del 2021, el estudio se realizó a una parte del terreno donde se cultiva chile dulce, el pH dio como resultado 5,25, en donde para este tipo de cultivo el óptimo es 5,5 tal como se observa en la tabla 6, presentando un déficit de pH. También se analizó el porcentaje de saturación de Aluminio, en donde el resultado fue de 2%, por debajo del óptimo que es de 20% a 30% (se detalla en la tabla 10). Por lo tanto, el análisis de esta variable al terreno en donde se cultivan estos tipos de vegetales debe ser constante para corregir cualquier diferencia de nivel de acidez o alcalinidad.

Tabla 10. Estudio laboratorio pH

	Obtenido	Óptimo
Acidez Extraíble	1,21	0,5
% de Sat Al deseable	2	20 a 30
pH	5,25	5,5

También el estudio determinó la cantidad de minerales presentes en kilogramos por hectárea (Kg/Ha), dando como resultado el análisis del Nitrógeno (N), Óxido de Fósforo (P2O5), Óxido de Potasio (K2O) y Óxido de Calcio (CaO). En donde el contenido presente en el suelo de P2O5 estaba justo en el nivel crítico 45,8 Kg/Ha, el K2O estaba en 758,2 Kg/Ha, el MgO presente fue de 876,5 y el CaO fue de 3584, dando como resultado un exceso de minerales, tal como se puede observar en la tabla 11. Por ende, un análisis constante permitiría al agricultor controlar las cantidades necesarias para que no tengan excesos de fertilizantes, si no un adecuado manejo de los recursos.

Tabla 11. Estudio de laboratorio de minerales.

Contenido en el Suelo					
Kg/Ha					
	N	P2O5	K2O	MgO	CaO
Nivel crítico	ND	45,8	187,2	398,4	2240,0
El suelo tiene	ND	45,8	758,2	876,5	3584,0

Para el proyecto se realizó una entrevista a tres diferentes agricultores de la zona, de las cuales destaca la que se le realizó al señor Alvarado, ya que sus respuestas fueron acordes a la necesidad y objetivos de esta propuesta, donde se evidencia la necesidad tecnológica para ayudar a diferentes productores.

La entrevista al señor Warner Alvarado Rodríguez se realizó el sábado 8 de enero del 2022, quien muy amablemente nos atiende en su lugar de trabajo, en su finca, y accede a contestar las 17 preguntas que se detallan a continuación:

Primeramente, se le consulta: ¿en qué lugar realiza la actividad agrícola?, a lo cual responde: “Aquí en Piedades Sur, prácticamente toda la vida” y comenta de sus inicios en la agricultura heredada por su padre.

En la pregunta dos se le consulta: ¿cuál es el tipo de agricultura que realiza en su propiedad?, inmediatamente contesta “Se produce en tierra”, y explica un poco de su proceder con la tierra. En seguida se continúa con la pregunta tres: ¿cuánto tiempo, en años, se dedica a la agricultura? Entre risas rápidamente contesta que “tiene más de 40 años, desde muy chiquillo” además comenta sobre una anécdota de pequeño.

Se le realiza la cuarta pregunta más directa sobre su patrimonio: ¿cuánto mide la propiedad en donde realiza la actividad? e indica que “alrededor de 2 hectáreas de terreno”. Luego de un rato de conversar, se continúa con la quinta pregunta: ¿qué siembra en su propiedad?, a lo cual responde “Tomate, chile, pepino. Casi siempre y a veces vainica”. Se le comunica que, por razones de tiempo de él, las preguntas se harán de un modo más rápido y directo. En la pregunta seis se le consultó: ¿cuántos laboran en su propiedad? Y respondió: “Yo y un peón” (dos personas).

La pregunta siete: ¿consulta regularmente a un Ingeniero Agrónomo? y respondió: “Sí, se puede decir que sí”. Para la pregunta ocho: ¿cada cuánto tiempo consulta al experto?, respondió: “Cada año hago algunas consultas”. En la pregunta nueve se le consultó: ¿Tiene experiencia en tecnología agrícola?, si su respuesta es afirmativa indique cuál conoce. A esto respondió: “No ninguna”.

Para la pregunta diez: ¿Tiene conocimiento en tecnología agrícola?, respondió: “Sé que existe tecnología, pero nunca la he probado”.

Una vez planteadas estas repuestas se le consultó, en la pregunta once, sobre si dependiendo de lo que siembre, ¿qué condiciones debe tener el clima? Para lo anterior se hace una síntesis de lo que respondió: “Es muy variado, por ejemplo, el tomate se tiene que tapar (poner plástico) por la lluvia. El chile tiene que tener una humedad alta, goteo si está seco”. Para la pregunta número doce: ¿cuáles son las variables agrícolas más importantes que se debe tener en cuenta a la hora de sembrar?, contesta: “La humedad y que el suelo tenga una regulación de minerales como el Fósforo, Potasio, Nitrógeno y que los niveles de pH sean adecuados”. La pregunta trece la responde directa y decía así: ¿considera oportuna la asesoría del ingeniero agrónomo?, ante lo cual respondió un rotundo “Sí”.

En la pregunta catorce, la cual indica que: ¿dentro de su experiencia agrícola, considera que les han afectado los minerales en los rendimientos de sus cosechas?, su respuesta es más extensa: “Sí claro, una vez que un ingeniero vino a realizar un estudio a mi finca, hacía falta abono, más que todo Fósforo y Nitrógeno, lo cual causó que las plantas no se desarrollaran bien”. Luego se continua con la pregunta quince: ¿cuánto ha sido la pérdida económica que ha sufrido en los últimos años?, y respondió: “El año pasado (2021) tuvimos una gran pérdida, en un terreno que también alquilamos, en ese entonces sembramos chile jalapeño, se veía húmedo el terreno, pero drenaba muy rápido, le faltaban nutrientes, no le hicimos análisis; por lo tanto, no se desarrolló la cosecha y tuvimos pérdidas”.

Se le consulta además en la pregunta dieciséis: ¿ha tenido recursos económicos para abordar las pérdidas económicas?, y respondió: “No, pero al tener diferentes siembras, se compensa una con la otra”.

Después de una conversación muy amena se le pregunta en la última consulta si a través de los años han percibido cambios en la mineralización de los suelos o su textura y respondió: “Sí, porque los terrenos y el clima son más diferentes, han cambiado demasiado”.

La entrevista fue de gran ayuda para este proyecto ya que muestra un gran panorama de la necesidad de llevar a cabo el proyecto en esta finca, como una respuesta a las necesidades que tienen los micro y pequeños agricultores de Costa Rica que no tienen la posibilidad de obtener tecnología al alcance de sus bolsillos.

Para este proyecto se tomó en consideración los criterios y opiniones de diferentes fuentes para decidir cuáles son las variables adecuadas para el sistema. En la tabla 12 se observa la información detalladamente.

Tabla 12. Variables agrícolas adecuadas.

Variables agrícolas adecuadas	Justificación científica
Niveles de pH	En un artículo publicado por <i>College of Agriculture, Forestry and Life Sciences</i> de la Universidad de Clemson, Estados Unidos, con fecha 22 de octubre de 2012, se afirma que el nivel de pH es una medida de la acidez y alcalinidad del suelo, afecta directamente la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento de las plantas.
Cantidad de Minerales N, P, K.	En una guía preparada para uso de los oficiales de extensión que trabajan para el programa de fertilizantes de la FAO en edición 2002, dice que son 16 los nutrientes esenciales para el crecimiento de la mayoría de las plantas, los cuales provienen del aire, como el Carbono, del agua como Hidrógeno (H) y Oxígeno (O) y del suelo como Nitrógeno (N), Potasio (K), Fósforo (P), magnesio (Mg), Calcio (Ca), entre otros.
Niveles de humedad del suelo.	El nivel de humedad se debe a la cantidad de agua en el suelo, esto es una de las principales limitantes para el crecimiento de las plantas. La abundancia, tanto como su carencia, inducen un efecto negativo en el rendimiento de los cultivos, el nivel de humedad en el suelo es fundamental para las plantas, principalmente en su nutrición, ya que funciona como medio de transporte de los nutrientes hacia las raíces y a toda la planta, aumenta el crecimiento y el rendimiento de los cultivos. (Gavande, 1973; Porta <i>et al.</i> , 2003 y Torrán, 2007).

Conforme a los cuestionarios realizados a 20 agricultores, de los cuales se seleccionó por el método de la muestra, los siguientes 10 indicaron su información personal y los otros 10 no:

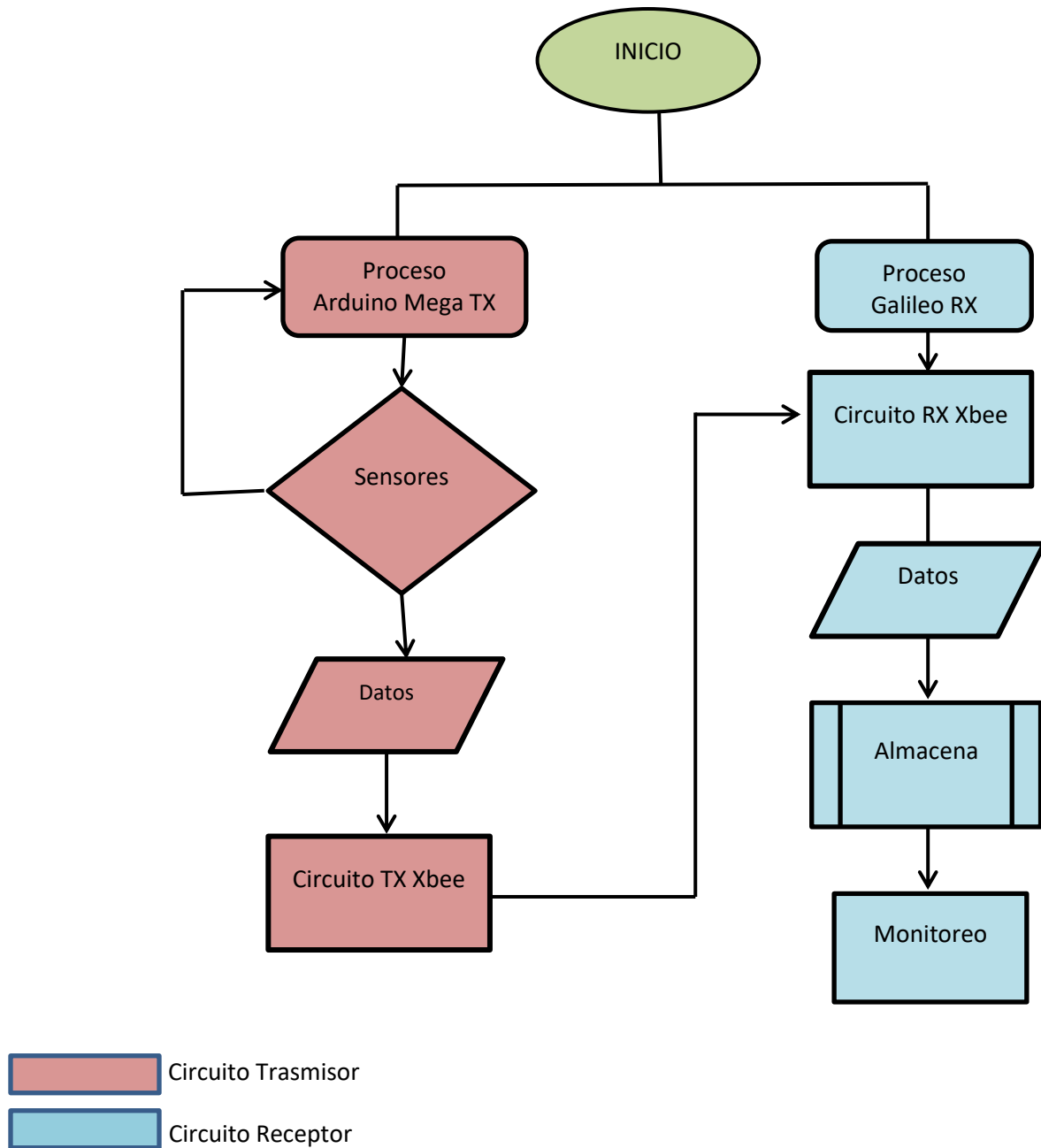
- a. Luis Ramírez Cascante, ubicado en Santiago de Palmares.
- b. Warner Alvarado Rodríguez, ubicado en Piedades Sur de San Ramón.
- c. Rosbin Alvarado Calderón, ubicado en Piedades Sur de San Ramón.
- d. Otoniel Rodríguez, ubicado en Piedades Sur de San Ramón.
- e. Álvaro Oviedo, ubicado en Piedades Norte de San Ramón.
- f. Francisco Abarca Elizondo, ubicado en Piedades Sur de San Ramón.
- g. Miguel Cruz Camacho, ubicado en Piedades Sur de San Ramón.
- h. Barak Rodríguez, ubicado en Piedades Sur de San Ramón.
- i. Alain Alvarado Rodríguez, ubicado en Piedades Sur de San Ramón.
- j. Alejo Ramírez Calderón, ubicado en Piedades Sur de San Ramón.

Funcionamiento del Sistema

Se inicia el sistema de los procesos Tx y Rx, el Galileo emisor se encarga de procesar los datos de los sensores de humedad, pH y minerales NPK y los envía por el puerto serial hacia el módulo trasmisor.

El receptor procesa los datos recibidos en el microcontrolador Galileo Rx, los almacena en la base de datos de la página Web y se monitorea en pantalla. En la tabla 13 se observa el diagrama en bloques.

Tabla 13. Diagrama de bloques del circuito.



Diseño del Circuito Electrónico

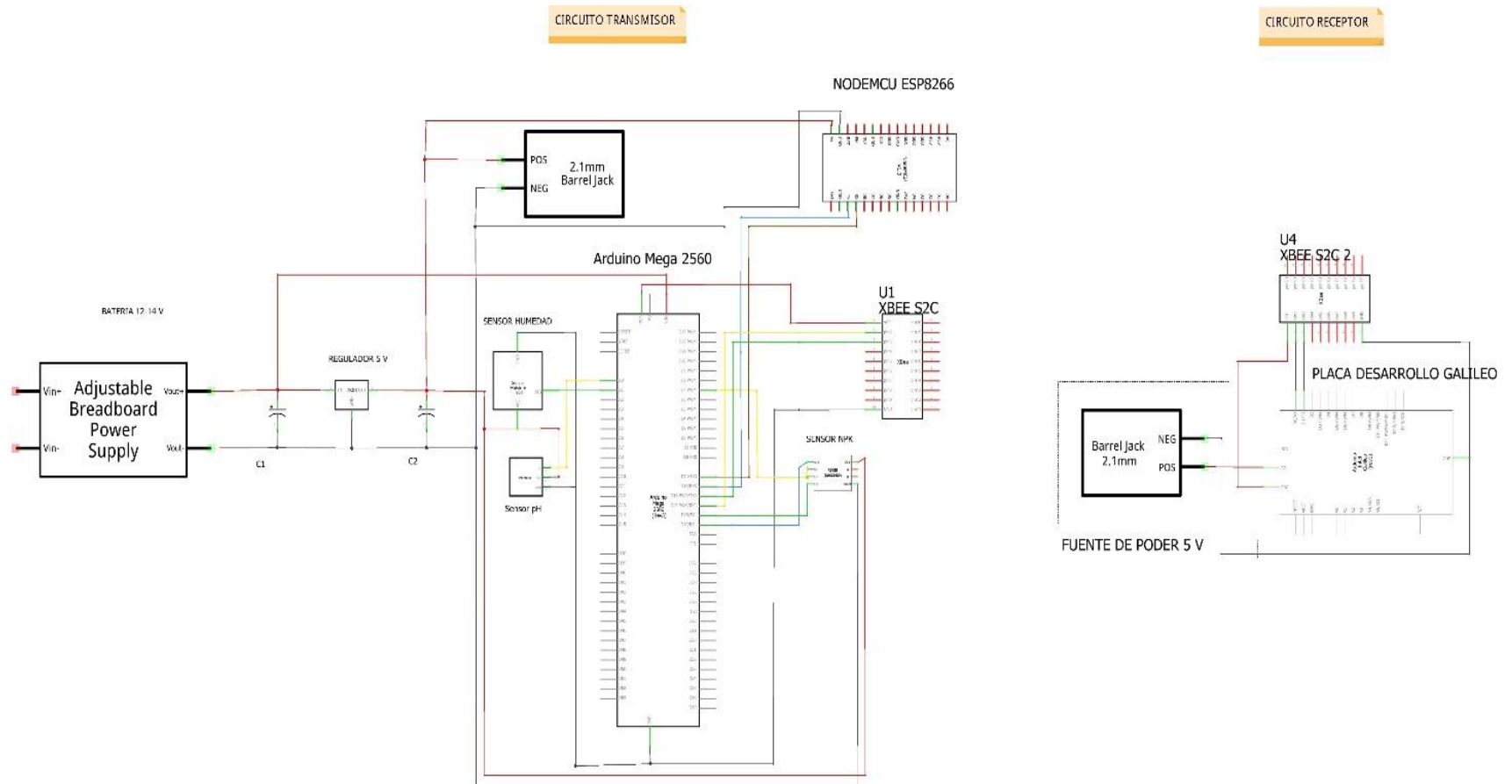
El circuito electrónico está diseñado por un transmisor RF, un receptor RF y uno redundante por medio de *WIFI*.

El transmisor cuenta con tres sensores, uno de humedad de suelo, otro de nivel de pH y el que analiza la cantidad de minerales presentes NPK, utiliza la placa de desarrollo de alto rendimiento Arduino Mega 2560 y un módulo Xbee configurado como transmisor o router. Este sistema será alimentado con baterías de 12 a 14 voltios, debido a la gran distancia que existe entre el cultivo y el tendido eléctrico de corriente alterna.

Para energizar cada sensor se contará con un convertidor DC-DC que estará instalado en el sistema, en una placa de circuito impreso con su respectivo fusible de 2.5 amperios para la protección, esta fuente alimentará los sensores de pH y de minerales NPK, mientras que el sensor de humedad será energizado con 5 voltios de la placa Galileo.

El circuito receptor cuenta con una placa de desarrollo Galileo de primera generación y un Xbee programado como receptor o coordinador, estará ubicado en la casa del señor Warner Alvarado, para ser energizado con el adaptador provisto por la placa, conectado a un tomacorriente de 110 voltios alternos. Para la autonomía energética se recomienda utilizar una UPS para conectar el sistema y el router de la compañía que provee el servicio de Internet. En la figura 22 se detalla el diagrama del circuito.

Figura 22. Arquitectura general del circuito.



Uno de los objetivos en un inicio era usar las placas de alto rendimiento como la placa Galileo de Intel, tanto para el circuito transmisor como para el receptor; por ende, se comienza a realizar varias pruebas con códigos simples en las lecturas básicas de los sensores en el circuito transmisor. En el circuito receptor las pruebas eran de otra índole, ya que se necesitaba para la verificación de códigos y ver el rendimiento a la hora de redireccionar los datos a la Web y bases de datos.

Tanto las entradas como las salidas de forma serial en el Galileo permitía que se hiciera una conexión de transmisión y la recepción fueran óptimas, durante diferentes pruebas y requerimientos. Se vio la necesidad de optar por otro puerto serial, ya fuera que estuviera disponible o habilitarlo mediante códigos internos, pero la placa Galilea solo disponía de uno y otro habilitado por sistema de códigos, se necesitaba un tercer puerto serial. Lo anterior con el fin de usar ese tercer puerto para proteger la información mediante un circuito de redundancia y que fuera leído debido al protocolo ModBus utilizado.

Se hicieron muchas variables a los códigos, pero se necesitaban tres puertos como mínimo en el circuito transmisor: uno para recibir toda la información de los sensores mediante el protocolo establecido, otro que proporcionara la transmisión al circuito receptor y por último, el que ayudara con la redundancia del circuito.

Por estas razones no fue posible completar el objetivo del proyecto; por ende, fue necesario utilizar otra placa de alto rendimiento. Se puso a prueba el Arduino Mega que tenía ciertas características que ayudarían a optar por hacer funcionar el circuito redundante, una de ellas era la posibilidad de habilitar un tercer puerto serial. Además de que por su sistema de programación Arduino utilizaba la misma nomenclatura de programación que la placa anterior y se acoplaba perfectamente a los códigos que ya se habían copiado durante el proceso de pruebas fue así como se escoge la placa Arduino Mega. También se valoran otros microchips de esa familia, como el UNO, Leonardo por las características en códigos. En la tabla 14 se comparan ciertos datos que ayudarán a comprender mejor su escogencia.

Tabla 14. *Tabla comparativa Placas de Arduino.*

Características	Mega	Uno	Leonardo
Voltaje de operación	5 V	5 V	V
Frecuencia de Operación	16 MHz	16 MHz	16 MHz
Cantidad de Pines	54	20	20
Puertos seriales	3	1	1
Memoria Flash	256 KB	32 KB	32 KB
Puerto de Red	Si	No	NO
EEPROM	4 KB	1KB	1 KB
Procesador	Atmega 2560	Atmega 328	Atmega 32u4

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Necesidades del Sector Agropecuario

Cuando se piensa un proyecto para ayudar a las personas, se debe escoger las necesidades que se tenga, pero primero se debe tener en cuenta a qué tipo de personas ayudar y el sector al que pertenece. Una vez que se decide, se da la tarea de indagar dónde y cómo.

Para este proyecto se decide apoyar la agricultura desde la tecnología, para lo anterior se busca al sector agrario costarricense de la zona de Occidente, específicamente en San Ramón de Alajuela. Se comienza con la aplicación de una encuesta a diferentes agricultores para recabar datos que aporten conocimientos tecnológicos y desde la rama de la Ingeniería Electrónica poder brindar soporte al sector agrícola y brindar la ayuda que ellos necesitan.

Al realizar la encuesta a 20 agricultores se obtienen resultados variados pero que llevan a una conclusión: no tienen acceso a recursos científicos en los cuales apoyarse. Aunque en el 90% de los casos han sido visitados por un ingeniero agrónomo en alguna ocasión, no tenían un apoyo real de sistemas o aparatos tecnológicos para obtener información necesaria para desarrollar mejor las cosechas.

Los productos de cosecha, en su gran mayoría, son chile dulce, tomate, pepino u otros en menor cantidad, por ejemplo vainica y algunas hortalizas; se puede decir que después de varios años se da un monocultivo en estas zonas. Cuando se les consulta si han realizado algún análisis de suelo a la plantación, el 80% da una respuesta afirmativa pero solamente una vez.

No tienen un monitoreo constante de lo que necesitan saber periódicamente para desarrollar una agricultura sana y provechosa, y es que estas pruebas son costosas, el valor de una prueba completa sencilla de un solo mineral oscila desde ₡5.100 hasta los ₡10.200. Ya análisis más complejos tienen valores hasta de ₡40.800 según el Laboratorio de la Universidad de Costa Rica para el año 2022, sin contar los honorarios por la visita del ingeniero agrónomo y los impuestos.

Debido a ello y al aumento en el costo de los insumos agrícolas en el último año, según la Cámara de Productores de Caña del Pacífico, al agricultor se le dificulta este tipo de asistencia. (Centro de Investigaciones Agronómicas, 2021)

Se les realiza una pregunta más específica sobre qué factores son los más influyentes en la agricultura de previo a la plantación. Se da una respuesta muy congruente y todos coinciden en sus respuestas: los factores son humedad, pH (acidez del suelo), minerales y, en algunos casos, temperatura de suelo.

Una vez obtenidos los resultados, tal como se ha descrito en el párrafo anterior, se visualiza la necesidad primordial dar a conocer las variables descritas anteriormente y divulgarlas de manera frecuente a cada agricultor. Debido a que la deficiencia o el aumento de las diferentes sustancias dañan las plantaciones, por ejemplo, el exceso de humedad de suelo ocasiona en la planta la producción de hongos en las raíces, esto hará que la raíz de la planta entre en estado de putrefacción y la planta se marchitará hasta morir. La falta de Calcio y Nitrógeno hace que la fruta tenga deficiencias en la maduración, igual que los otros minerales descritos en el trabajo. Una alta cantidad de pH neutraliza los mecanismos de defensa suministrados; entonces, las aplicaciones de fungicidas y minerales no tienen un buen funcionamiento.

Se tenía una pregunta clara y directa: cómo realizar un proyecto que ayudara al sector agro con respecto a la calidad de los terrenos y poder dar a conocer esas variables que los agricultores tenían la necesidad de identificar, sin contar con un ingeniero agrónomo que los visitara periódicamente.

Una vez que se tenían claras las diferentes necesidades, se dio a la tarea de escoger un agricultor en específico que quisiera desarrollar un proyecto en su finca e implementar una serie de análisis previos, conjuntamente con una entrevista.

Variables de Entorno de la Finca de Warner Alvarado

Según un informe del Ministerio de Agricultura y Ganadería, llamado *Análisis del Contexto Regional*, se indica lo siguiente:

La Región Central Occidental se caracteriza por contar con una gran diversidad de microclimas; sin embargo, la precipitación promedio anual es de unos 2.600 milímetros, con una distribución histórica bastante uniforme de la época lluviosa de aproximadamente siete meses, que va de mayo a noviembre y una estación seca bastante definida, de diciembre a abril. (MAG)

Según el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) en la publicación realizada por Johny Solano y Roberto Villalobos, llamada *Regiones y Subregiones Climáticas de Costa Rica*, se indica que en la región Valle Central Occidental, la lluvia media anual oscila entre 1.950 a 2.820 milímetros.

La precipitación se mide en milímetros (mm) al año, en donde 1mm equivale a un litro de agua por metro cuadrado (1 l/m^2), por lo cual las lluvias de 200-500 son escasas, mientras que de 500-1.000 son normales, de 1.000-2.000 son abundantes y más de 2.000 son demasiadas. (*Meteolobios*, 2013)

Con base en datos del informe del MAG y la publicación del IMN, la región agrícola de esta investigación es afectada por la diversidad de microclimas, pero por estar dentro del Valle Central y por ser Costa Rica un país tropical, son dos las estaciones a estudiar: la seca y la lluviosa. Debido a estas condiciones climáticas, este sector de Alajuela se presta para la agricultura de hortalizas, pero siempre tomando en cuenta una adecuada planificación, estudios de suelo previos durante la preparación del terreno y la siembra del chile dulce, tomate, pepino, entre otros.

Un correcto análisis de suelo, junto con una buena asesoría, beneficiará al micro y pequeño agricultor, tanto de la región de Occidente como de las demás regiones del país, mediante el uso de la tecnología propuesta en este proyecto, la cual será económica, amigable con el agricultor y de gran utilidad.

El terreno en donde se desarrolla el proyecto está ubicado en Piedades Sur de San Ramón de Alajuela, pertenece a la Región Central Occidental, en la sección Oeste del Valle Central de Costa Rica, precisamente en las coordenadas 10.1051 latitud norte, -84.5534 longitud oeste.

Durante la investigación se efectuaron visitas a la finca del señor Warner Alvarado, en donde se analizaron diferentes aspectos utilizando herramientas como visualización de campo (ver figura 23), entrevistas, encuestas a los agricultores y al ingeniero agrónomo, con el fin de analizar la viabilidad del proyecto.

Figura 23. *Análisis de campo de la finca.*



De acuerdo con la información obtenida a partir de las entrevistas, las encuestas y del estudio de laboratorio, se tomaron en cuenta tres variables agrícolas importantes para la agricultura, como son la humedad de suelo, niveles de pH y cantidad de minerales NPK (N-Nitrógeno; P-Fósforo; K-Potasio) presentes en el suelo, para la realización de este proyecto.

Medición de Humedad en el Suelo

En el *Documento AE496*, de una serie de publicaciones del *Agricultural and Biological Engineering*, del Servicio de Extensión Cooperativa de la Florida, Instituto de Alimentos y Ciencias Agrícolas de la Universidad de Florida, se afirma que:

La humedad del suelo es la capacidad que este tiene para almacenar agua, el límite máximo se denomina capacidad de campo, mientras que el mínimo se llama punto de marchitamiento permanente, después de cada lluvia o riego que satura el suelo hay un movimiento descendente debido a la gravedad, lo cual se le llama drenaje.

El punto de marchitamiento permanente se define como el contenido de humedad del suelo en el que la planta ya no tiene la capacidad de absorber agua del suelo, haciendo que la planta se marchite y muera. (L. Zotarelli *et al.*, 2013)

De acuerdo con lo descrito anteriormente y lo comentado por los agricultores de la zona de Occidente, la mayoría coinciden en que las hortalizas que se siembran en esta región se producen durante todo el año, sin importar que sea estación seca o lluviosa.

Durante la época seca los cultivos requieren de cierta humedad, la capacidad del campo representa la cantidad de agua que puede ser retenida en un suelo contra la fuerza de gravedad, después de un riego o lluvia que ha humedecido todo el suelo.

Aguilar (1988) indica que suelos de textura arenosa presentan de 5% a 16% de capacidad de campo; los de textura franco-arenosa, de 10% a 20%; los de textura franca de 15% a 30%; los de textura franco-arcillosa de 25% a 35% y los de textura arcillosa de 30% a 70%, dependiendo del contenido y tipo de arcilla (Proain, 2021). En el terreno sin exceso, de acuerdo con el tipo de planta que se siembra, se recurren al riego, ya sea por goteo o por aspersión y, dependiendo del cultivo, se tapa con plástico.

En la estación lluviosa el terreno se satura de agua, dando como resultado un porcentaje alto de humedad, provoca que la planta entre en su punto de marchitamiento permanente, también propicia el aumento de las plagas y enfermedades; por lo que anticipadamente el terreno debe ser preparado con un buen sistema de drenaje.

Medir y monitorear el estado del agua del suelo es un componente esencial de las mejores prácticas de gestión para mejorar la sostenibilidad de la agricultura. (R. Muñoz *et al.*, 2002). Esto también lo afirma el señor Wagner Alvarado en la entrevista realizada, quien recalca la importancia de medir la humedad del suelo.

Medición de Niveles de pH en el Suelo

La acidez del suelo, conocido como pH, tiene un rango que va de 0 a 14, en donde 7 es el punto neutro; mayores a este número se consideran alcalinos o bases que generalmente hacen que los terrenos sean de estructura arcillosa, pobres, con pocos nutrientes y sin capacidad de absorción de agua; mientras que los menores a 7 son ácidos, asociados al exceso de metales como el Hierro, Aluminio, Cobre a niveles de toxicidad y deficientes de Fósforo, nocivos para los cultivos. El óptimo debería ser entre 6 y 7, aunque la mayoría de los cultivos tropicales se desarrollan bien con un pH entre 5,5 y 6.

Hay varios factores que reducen el nivel de pH del suelo dependiendo del tipo de suelo, cultivo y de las condiciones de manejo, por lo que un buen conocimiento de estos factores contribuye a un mejor control de los parámetros que llevan a condiciones ácidas.

La acidez del suelo empieza con la pérdida de cationes básicos, como el K (Potasio), Ca (Calcio), Mg (magnesio) y Na (sodio) debido en la mayoría de las veces por acción de las plantas; por medio de las raíces absorbe cationes y libera H con el fin de mantener un equilibrio en su interior, dando como resultado la reducción del pH en el suelo. (*International Plant Nutrition Institute*, 1999)

Otro factor presente en el desarrollo de la acidez es la presencia de Aluminio, reacciona con el agua formando hidroxilos; las reacciones con el Hidróxido de Aluminio son similares a una reacción con ácidos fuertes que liberan más H.

Para neutralizar la acidez y elevar el nivel de pH en el suelo se recomienda la aplicación de sales básicas, como óxido de calcio (CaO [cal viva]) o Hidróxido de Calcio (cal hidratada.)

La acidez intercambiable (Al e H intercambiables) mayor a 0,5 cmol/l puede afectar el crecimiento de las plantas y el óptimo debería de ser inferior a 0,3 cmol/l.

El valor de porcentaje de saturación de acidez (%SA) está directamente relacionado con el pH, se utiliza para diagnosticar problemas de acidez en el suelo, en donde el valor óptimo para la mayor parte de las plantas oscila entre un 10% y 25%.

En la investigación para llevar a cabo este proyecto, se toma en cuenta la información de las fuentes primarias del ingeniero agrónomo por ser el experto en este campo, también se consulta en documentos de investigación de otros actores, como en este caso, para conocer la importancia de los niveles de pH en el suelo. En la tabla 15 se observa con detalle estos niveles.

Tabla 15. Niveles de pH.

pH del suelo	Acidez/ alcalinidad
9.0	Alcalino
8.0	Alcalino
7.0	Neutro
6.0	Ácido
5.0	Ácido
4.0	Ácido

Análisis de Suelo

El análisis de suelo es una herramienta necesaria para los agricultores, ayuda a diagnosticar problemas de nutrición y establecer recomendaciones de fertilización.

Según afirma el ingeniero Eloy Molina del Centro de Investigación Agronómica (CIA) de la UCR, en una publicación llamada *Análisis de Suelo y su Interpretación*:

El análisis de suelos está basado en la teoría de que existe un “nivel crítico” en relación con el procedimiento analítico utilizado y a la respuesta del cultivo cuando se aplica un determinado nutriente. Cuando el nivel de un nutriente se encuentra debajo o por encima del nivel crítico, el crecimiento de la planta se verá afectado en forma negativa o positiva, según dicha concentración.

De acuerdo con la tabla 16, resumen de la *Tabla de interpretación de análisis de suelos* (Molina y Meléndez, 2002) del Centro de Investigaciones Agronómicas y al

análisis de suelo realizado en la finca de don Warner Alvarado (tabla 17), se toma la primera como referencia para saber cuáles son los niveles óptimos de los elementos presentes en el suelo.

Tabla 16. *Tabla resumen Interpretación de análisis de suelos Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA).*

		Bajo	Medio	Óptimo	Alto
pH		<5	5-6	6-7	>7
Ca	cmol/L	<4	4-6	5-15	>15
Mg	cmol/L	<1	1-3	3-6	>6
K	cmol/L	<0,2	0,2-0,5	0,5-0,8	>0,8
Acidez	cmol/L		0,3-1	<0,3	>1
S. A	%		10-30	<10	>30
P	mg/L	<12	12-20	20-50	>50
Fe	mg/L	<5	5-10	10-50	>50
Cu	mg/L	<0,5	0,5-1	1-20	>20
Zn	mg/L	<2	2-3	3-10	>10
Mn	mg/L	<5	5-10	10-50	>50
B	mg/L	<0,2	0,2-0,5	0,5-1	>1
S	mg/L	<12	12-20	20-50	>50
MO	%	<2	2-5	5-10	>10
Relaciones		Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg) /K
Catiónicas		2-5	5-25	2,5-15	10-40

En esta tabla, en la columna número uno, se encuentran las diferentes variables de los elementos por analizar; para la columna dos, las unidades de medida correspondientes, y las otras columnas de los valores en los rangos bajo, medio, óptimo y altos.

Tabla 17. Resultados de laboratorio de la finca de Warner Alvarado.

		Optimo	Obtenido	Estado
K	cmol/L	0,5-0,8	0,81	Debe reducirse
Ca	cmol/L	5-15	6,40	Óptimo
Mg	cmol/L	3-6	2,2	Debe aumentar
pH		6-7	5,25	Debe aumentar
Acidez	cmol/L	<0,3	1,21	Debe reducirse
S. A	%	<10	11,39	Debe reducirse
Fe	mg/L	10-50	161	Debe reducirse
Cu	mg/L	1-20	No obtenido	-
P	mg/L	20-50	10	Debe aumentar
B	mg/L	0,5-1	No obtenido	-
S	mg/L	20-50	No obtenido	-
Mn	mg/L	10-50	35,4	Óptimo
Zn	mg/L	3-10	1,4	Debe aumentar
MO	%	5-10	0	Debe aumentar
Relaciones	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg) /K
Catiónicas	2,91	7,9	2,72	11
Óptimas	2-5	5-25	2,5-15	10-40
Estado	Debe reducirse	Óptimo	Óptimo	Óptimo

Esta tabla corresponde al estudio de suelo proporcionada por el ingeniero agrónomo Randall Alvarado, donde brinda toda la información obtenida de los diferentes elementos, los cuales en este proyecto se establecen: el Fósforo, el Potasio y la acidez de suelo.

De acuerdo con lo dicho por el ingeniero Eloy Molina, es muy importante realizar el análisis de suelo, ya sea en un laboratorio o directamente con tecnología de sensores en el campo. Este es el propósito de esta investigación, que el agricultor tenga a mano la información para realizar el diagnóstico y, consecuentemente, las correcciones de fertilización en el suelo en el momento oportuno.

Las unidades utilizadas frecuentemente son el milequivalentes (meq/ 100 gramos) o centimoles (cmol (+) / Kg), en unidades del sistema internacional se expresa como cantidad de carga por unidad de masa de suelo, también se utiliza el cmol/L y el mg/L.

El cmol/L es normalmente utilizado para expresar el contenido de Calcio, Magnesio, Potasio y la acidez intercambiable, mientras que el mg/L para los valores de Manganeso, Cobre, Azufre, Zinc, Hierro y Fósforo.

El grado de fertilidad del suelo generalmente es definido por el contenido de base intercambiables de Ca, Mg, K. Para determinar el grado de fertilidad del suelo se detalla en la tabla 18.

Tabla 18. *Grado de fertilidad del suelo.*

Bases intercambiables	Bajo (cmol/l)	Medio (cmol/l)	Alto (cmol/l)
Ca, Mg, K	< 5	5-12	>12

El contenido del Fósforo es muy importante para la nutrición de los cultivos, ya que permite a las plantas desarrollar más raíces y mejorar la floración, se expresa en mg/l, en donde el nivel crítico es 10 mg/l, lo que quiere decir que hay 10 mg de P por cada millón de Kg de suelo, la mayoría de suelos vírgenes presentan deficiencia de P, mientras que los que se siembran constantemente y son fertilizados en abundancia, tiene un alto contenido de este elemento, lo que le permitirá al agricultor tener una mayor productividad y, por ende, mejoras en sus ganancias.

La materia orgánica incorporada en el suelo es el residuo de plantas y animales, su valor se expresa en %. El contenido de materia orgánica es un índice que permite estimar aproximadamente las reservas de Nitrógeno, Fósforo y Azufre presentes en el suelo, y su comportamiento en la dinámica de nutrientes. (Kass, 1996)

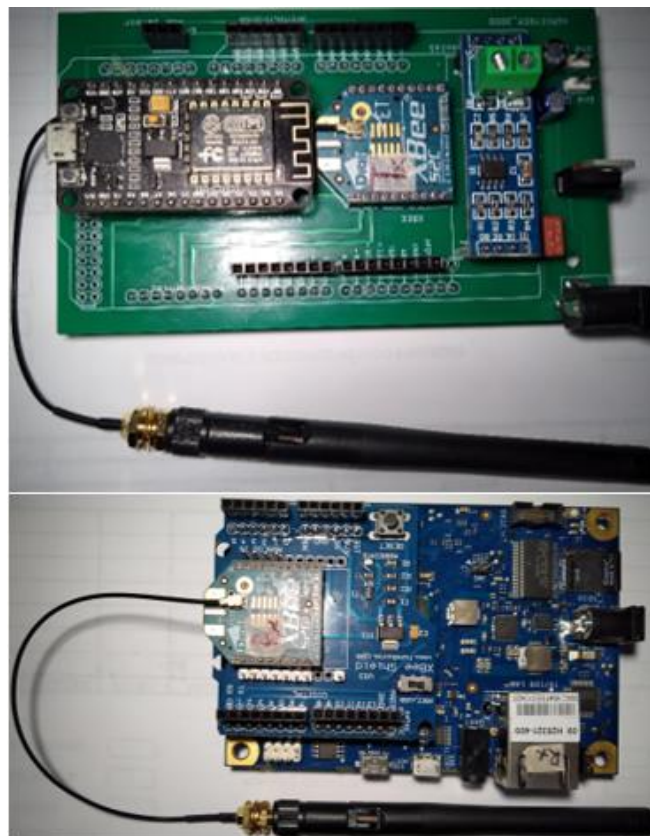
Un porcentaje bajo de contenido de materia orgánica se estima en menos de 2%, medio de 2% a 5% y alto mayor a 5%.

Diseño del Circuito Electrónico

La implementación del diseño electrónico se realiza mediante la utilización de dos placas de desarrollo, un Arduino Mega para el circuito transmisor y otra Galileo de Intel para el circuito receptor. Estas placas presentan características favorables para el

proyecto, tales como corriente de salida de los pines I/O 800 mA en total, comunicación UART con tres puertos seriales compatibles con los módulos Xbee y los sensores, también seis convertidores analógico-digital, un conector RJ45 integrado, una ranura mini PCI para conectar un módulo *WIFI*, para la conexión a Ethernet, con una gran diferencia con las placas Arduino que no tienen incorporado los módulos para enlazar a Internet, aparte que el suministro de corriente de estas es limitado a 40 mA en sus pines de entrada/salida. En la figura 24 se puede apreciar el diseño del circuito transmisor y receptor

Figura 24. *Diseño del circuito.*



La placa Arduino Mega del transmisor realizará la función de recolectar la información de los sensores, la codifica por medio del microcontrolador Atmega 2560 diseñado especialmente para el Internet de las cosas (IoT), este los convierte en bits de datos para ser transmitidos por medio de tramas utilizando el protocolo de comunicación serial UART (Transmisor, receptor universal asíncrono), por medio del Xbee Tx, para

luego transmitirlos por medio de un enlace punto a punto de radiofrecuencia en una banda de 2.4 GHz hacia el receptor con otro módulo Xbee Rx, este otro circuito tendrá otra placa Galileo, la cual almacenará la información en una base de datos, en una página Web.

La conexión a Internet será mediante un router de un proveedor de servicios de telecomunicaciones nacional, lo cual permitirá la opción de acceder a la información de los sensores en tiempo real por medio de un dispositivo móvil o PC conectado a la red Ethernet, ingresando a la página Web de la base de datos.

Circuito Transmisor

El prototipo del circuito transmisor cuenta con una placa de desarrollo Arduino Mega, un módulo Xbee, que tiene la función de enviar los datos hacia el circuito receptor que estará ubicado a 700 metros del lugar de donde estarán los sensores, el microcontrolador de la placa se encarga de codificar los datos de los sensores de pH, humedad del suelo y el sensor NPK.

El circuito transmisor estará ubicado estratégicamente en el terreno en el cual se va a analizar la tierra, los datos se enviarán por medio de tramas, empaquetando cada dato en serie de los sensores, tanto el Arduino Mega como el Xbee estarán conectados en los pines Tx y Rx de cada uno (puerto serial).

El sensor de humedad mide la resistencia eléctrica del suelo, mediante una sonda con dos electrodos, la cual dependerá de la cantidad de agua. Entre más agua tenga el suelo, menor será la resistencia (cortocircuito), y entre más seco esté, la resistencia será mayor (circuito abierto). Se utiliza la salida analógica del sensor conectada al puerto A0 del Galileo, el microcontrolador toma la referencia del voltaje y lo convierte en digital para procesarlo y mostrar la información por el puerto serial.

Los sensores son dispositivos u objetos utilizados para captar estímulos o datos externos y transformarlos en impulsos eléctricos. Los sensores utilizados en este proyecto son los llamados pH y NPK, cuya función es medir la acidez del suelo, Nitrógeno, Potasio y Fósforo, estos pertenecen a la familia de sensores capacitivos.

Estos son un tipo de sensor que logra modificar su capacitancia interna cuando algunas variables externas tienen cambios, estos son capaces de detectar metales y no metales, inclusive pueden detectar materiales a través de algunos objetos, siempre y cuando no sea un metal. Además, reaccionan al aproximarse a la superficie cuando sobrepasan una determinada capacidad.

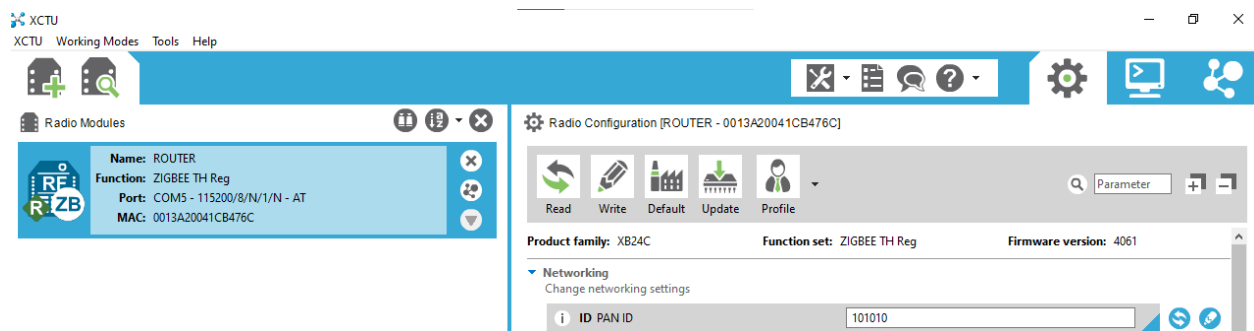
La distancia de conexión respecto a un determinado material es tanto mayor cuanto más elevada sea su constante dieléctrica. Específicamente, estos sensores tienen de dos a tres sondas que se insertan directamente en la tierra en donde se analizará el nivel de pH y los minerales presentes, estos están ajustados de tal manera que mide los elementos de acuerdo con los parámetros con referencias establecidas de fábrica, de acuerdo con el fabricante 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. Su utilización va más allá de la agricultura y se utiliza además en silvicultura, la investigación del suelo, la exploración geológica, el cultivo de plantas y otros campos.

Los sensores de pH y de minerales presentes NPK utilizan el protocolo de comunicación RS485, lo cual es un estándar del primer nivel del modelo OSI (Interconexión de Sistemas Abiertos), el cual permite intercambio de datos hasta un máximo de 32 dispositivos conectados en el mismo par de cables trenzados, permitiendo una gran resistencia a las interferencias, a una velocidad de datos máxima de 10 Mb/s, estos sensores utilizan un convertidor de RS485 a TTL, en donde convierte los datos del protocolo en una señal serial asíncrona, de tal forma que el microcontrolador de la placa pueda entender. Los datos son procesados y almacenados en la memoria RAM utilizando variables para luego ser convertidos en código ASCII (código estadounidense estándar para intercambio de información), para finalmente pasarlos por el puerto serial hacia el Xbee y este los transmite en código hexadecimal hacia el receptor, utilizando una modulación DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*, por sus siglas en inglés y en español, Espectro Ensanchado por Secuencia Directa).

Para este circuito, el Xbee estará configurado como transmisor, el cual se debe de programar previamente con el XCTU proporcionado por el proveedor Digi, esto se

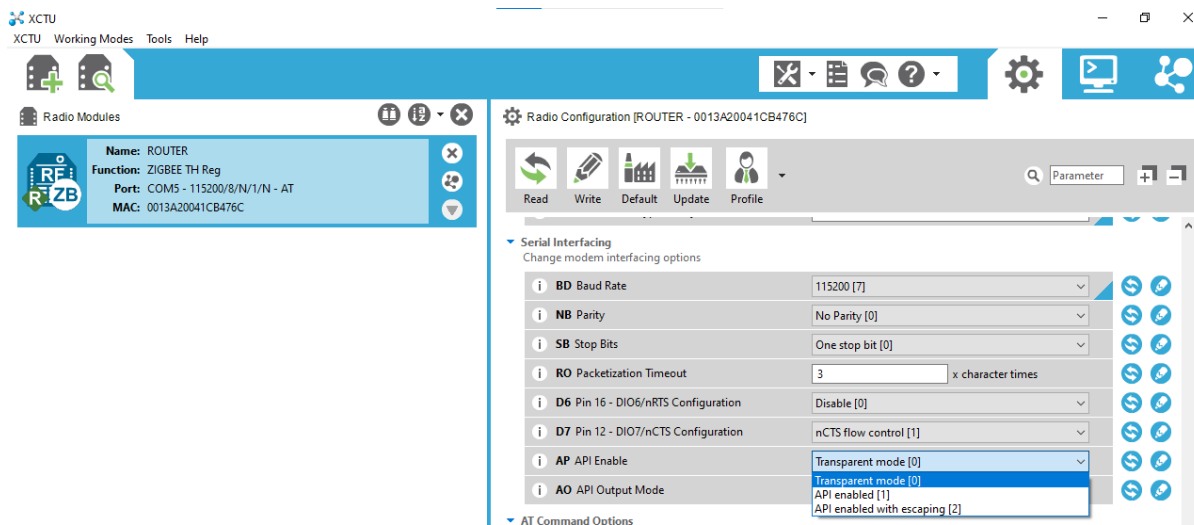
realizó mediante el uso del adaptador Xbee Explorer conectado al puerto USB de la computadora en donde está instalado el programa, se configuró el módulo como router. Para que estos módulos se puedan comunicar entre ellos se debe establecer una PAN ID (identificación de red de área personal), la cual se estableció en 101010. En la figura 25 se detalla la información.

Figura 25. PAN ID.



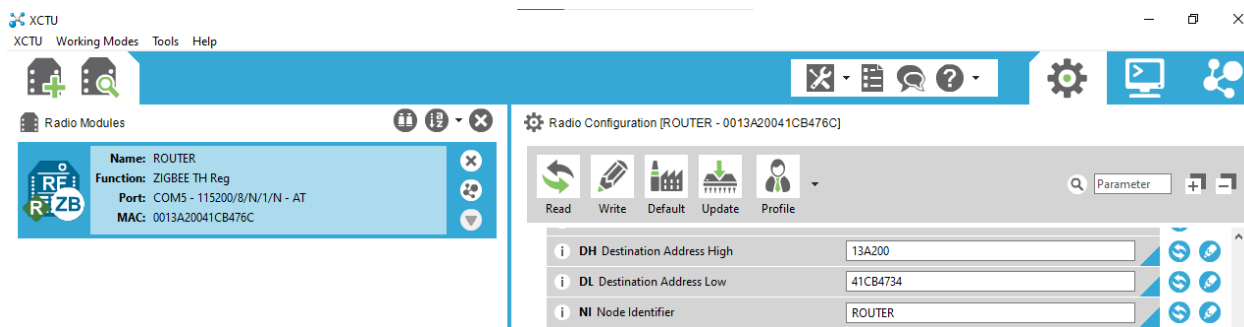
Se estableció la velocidad en que se transfiere la información en 115200 baudios, lo cual es la cantidad de símbolos por segundos en un bus de transmisión, esta velocidad es esencial para comunicar los Xbee, ya que permite una mejor transferencia de datos entre cada módulo y también para que sea compatible con la tarjeta Galileo. Para el envío de información se programó el XBee en modo transparente, esta configuración permite al Xbee enviar y recibir datos de forma serial por los puertos Tx y Rx, según se aprecia en la figura 26.

Figura 26. *Transferencia de información y modo transparente.*



Al establecer la comunicación punto a punto se configuró la *Destination Address Low* (dirección de destino bajo) del Xbee receptor, en 41CB4734, la cual es única para cada módulo, corresponde a una parte de la dirección Mac del dispositivo. En la figura 27 se detalla la información.

Figura 27. *Dirección Mac.*



Este sistema tiene la opción de configurarse de manera que pueda enviar la información de las variables por medio de *WIFI* a una base de datos en una página Web para tener redundancia de la información, se utiliza la placa NodeMCU ESP 8266, tal como se aprecia en la figura 28. También en la figura 29 se puede observar las especificaciones de este circuito y en la tabla 19 se detalla las especificaciones técnicas del circuito.

Figura 28. Topología del circuito redundante.

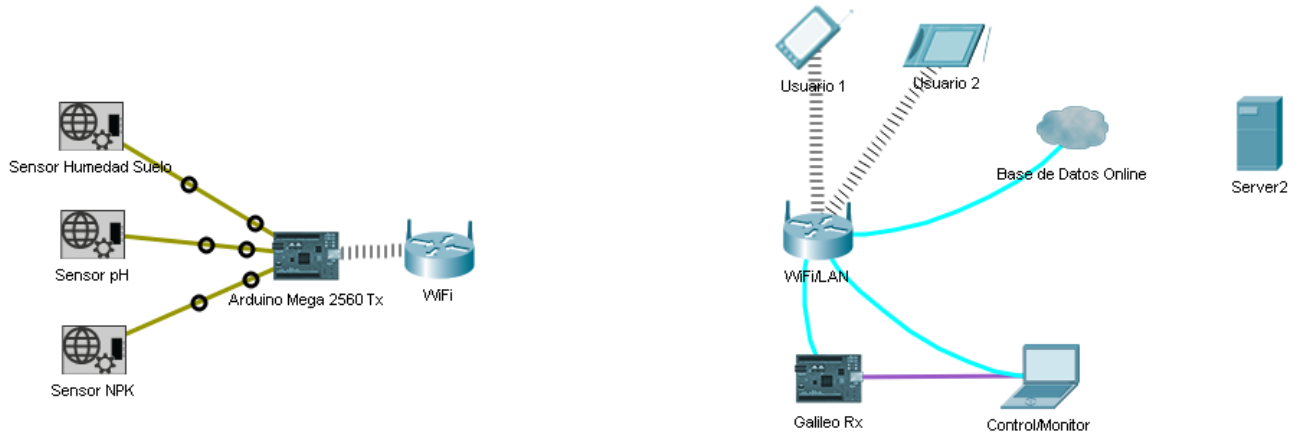


Figura 29. Arquitectura del circuito transmisor.

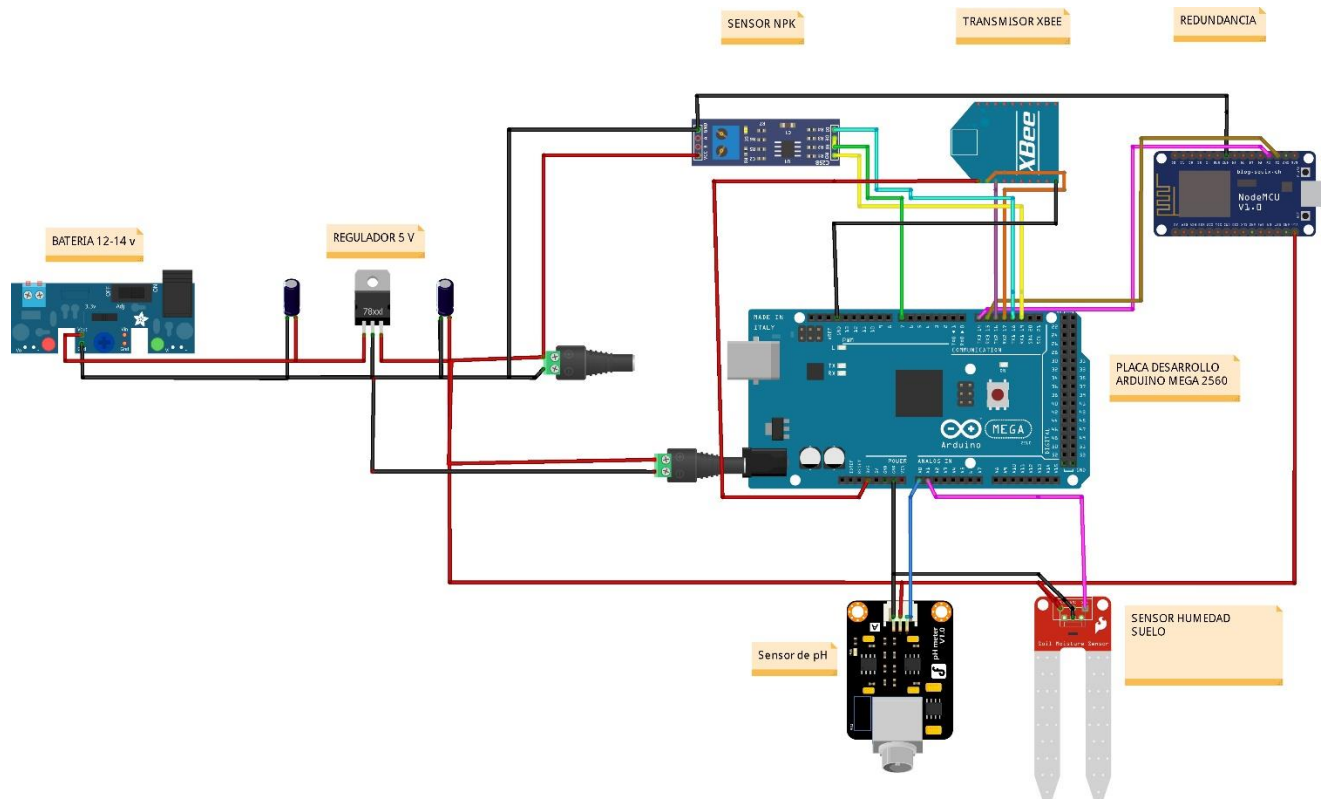


Tabla 19. Especificaciones técnicas del circuito transmisor.

Especificaciones técnicas	
Pin	Utilidad
Tarjeta Arduino Mega 2560	
VIN	Entrada voltaje
5 V	Salida voltaje 5 voltios
GND	Tierra
3V3	Salida voltaje 3,3 voltios
A0	Entrada analógica para el sensor de humedad
Tx1	Entrada digital Rx puerto serial 1
Rx1	Salida digital Tx puerto serial 1
Tx2	Entrada digital Rx puerto serial 2
Rx2	Salida digital Tx puerto serial 2
Tx3	Entrada digital Rx puerto serial 3
Rx3	Salida digital Tx puerto serial 3
D7	Habilita o deshabilita el RE
D8	Habilita o deshabilita el DE
Convertidor RS-485 a TTL	
DI	Entrada digital de datos
RO	Salida digital de datos
DE	Habilita la transmisión
RE	Habilita la recepción
Modulo Xbee	
VCC	Entrada de voltaje
Pin 2 DOUT	Salida digital (Tx)
Pin 1 DIN	Entrada digital (Rx)
GND	

El microcontrolador de la placa Galileo del circuito transmisor se programó con el IDE de Arduino, el cual está basado en el lenguaje de programación C++, siendo este bastante versátil para el proyecto. En la tabla 20 se describe el código.

Tabla 20. Código del circuito transmisor.

Código	Comentarios
#define RE 8	Se define el pin 8 como RE
#define DE 7	Se define el pin 7 como DE

Código	Comentarios
#include <SensorModbusMaster.h>	Se define librería para sensores Modbus RS-485
byte modbusAddress = 0x01;	Variable para la ID del sensor NPK
byte modbusAddress1 = 0x02;	Variable para la ID del sensor pH
long modbusBaudRate = 9600;	Variable para la velocidad en baudios para la transmisión con los sensores Modbus
const byte nitro_inquiry_frame[] = {0x01,0x03, 0x00, 0x1e, 0x00, 0x01, 0xe4, 0x0c};	Se define Nitrógeno con la constante según la hoja de datos
const byte phos_inquiry_frame[] = {0x01,0x03, 0x00, 0x1f, 0x00, 0x01, 0xb5, 0xcc};	Se define Fósforo con la constante según la hoja de datos
const byte pota_inquiry_frame[] = {0x01,0x03, 0x00, 0x20, 0x00, 0x01, 0x85, 0xc0};	Se define Potasio con la constante según la hoja de datos
const byte pH_inquiry_frame[] = {0x01, 0x03, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0x84, 0x0a};	Se define pH con la constante según la hoja de datos
int sensorSuelo = A0;	A0 como entrada
byte values[11];	
Serial1.begin(modbusBaudRate, SERIAL_8N1);	Se inicia el Puerto serial 1, con el bit de stop.
void setup() {	
Serial.begin(9600);	Frecuencia de transmisión
Serial1.begin(9600);	
Serial2.begin(115200);	
pinMode(RE, OUTPUT);	Se define RE como salida
pinMode(DE, OUTPUT);	Se define De como salida
HumedadSuelo ();}	
void loop() {	
byte nitrogen_val,phosphorus_val,potassium_val,pH_val;	
nitrogen_val = nitrogen();	
delay(250);	
phosphorus_val = phosphorous();	
delay(250);	
potassium_val = potassium();	
delay(250);	
pH_val = pH();	
delay(250);	
Serial.print("Cantidad Nitrógeno: ");	Se muestra la constante en forma de valor numérico

Código	Comentarios
Serial.print(nitrogen_val);	Se imprime en monitor serial lo que está entre los paréntesis
Serial.println(" mg/kg");	
Serial.print("Cantidad Fosforo: ");	
Serial.print(phosphorus_val);	
Serial.println(" mg/kg");	
Serial.print("Cantidad Potasio: ");	
Serial.print(potassium_val);	
Serial.println(" mg/kg");	
Serial.print("Valor pH: ");	
Serial.println (pH_val);	
Serial.print ("Humedad Suelo: ");	
Serial.print (sensorSuelo);	
Serial.println ("%");	
delay(1000);	Retardo de 1 segundo
Serial2.print("Cantidad Nitrogeno: ");	Se imprime los datos para enviarlos por el puerto serial 2 para el Xbee.
Serial2.print(nitrogen_val);	
Serial2.println(" mg/kg");	
Serial2.print(",");	
Serial2.print("Cantidad Fosforo: ");	
Serial2.print(phosphorus_val);	
Serial2.println(" mg/kg");	
Serial2.print(",");	
Serial2.print("Cantidad Potasio: ");	
Serial2.print(potassium_val);	
Serial2.println(" mg/kg");	
Serial2.print(",");	
Serial2.print("Valor pH: ");	
Serial2.println (pH_val);	
Serial2.print(",");	
Serial2.print ("Humedad Suelo: ");	
Serial2.print (sensorSuelo);	
Serial2.println ("%");}	

Código	Comentarios
<pre>byte nitrogen(){ digitalWrite(DE,HIGH); digitalWrite(RE,HIGH); delay(10); if(Serial1.write(nitro_inquiry_frame,sizeof(nitro_inquiry_frame))==8){ digitalWrite(DE,LOW); digitalWrite(DE,LOW); digitalWrite(DE,LOW); for(byte i=0;i<7;i++){ values[i] = Serial1.read();} </pre>	<p>Permite poner en alto(5v) los pines definidos anteriormente</p> <p>Da un retardo de 10 ms para ejecutar la acción</p> <p>Permite poner en bajo(0v) los pines definidos anteriormente</p>
<pre>Serial.println();} </pre>	
<pre>return values[4]; }</pre>	
<pre>byte phosphorous(){ digitalWrite(DE,HIGH); digitalWrite(RE,HIGH); delay(10); if(Serial1.write(phos_inquiry_frame,sizeof(phos_inquiry_frame))==8){ digitalWrite(DE,LOW); digitalWrite(RE,LOW); for(byte i=0;i<7;i++){ values[i] = Serial1.read();} </pre>	<p>Permite poner en alto(5v) los pines definidos anteriormente</p> <p>A un retardo de 10 ms para ejecutar la acción</p> <p>Permite poner en bajo(0v) los pines definidos anteriormente</p>
<pre>Serial.println();} </pre>	
<pre>return values[4]; }</pre>	
<pre>byte potassium(){ digitalWrite(DE,HIGH); digitalWrite(RE,HIGH); delay(10); if(Serial1.write(pota_inquiry_frame,sizeof(pota_inquiry_frame))==8){ digitalWrite(DE,LOW); digitalWrite(RE,LOW); for(byte i=0;i<7;i++){ values[i] = Serial1.read();} </pre>	
<pre>Serial.println();} </pre>	
<pre>return values[4]; }</pre>	
<pre>byte pH(){ digitalWrite(DE,HIGH); digitalWrite(RE,HIGH); </pre>	<p>Repite las acciones anteriores para cada valor requerido por cada sensor.</p>

Código	Comentarios
<pre> delay(10); if(Serial1.write(pH_inquiry_frame,sizeof(pH_inquiry_frame))==8){ digitalWrite(DE,LOW); digitalWrite(RE,LOW); for(byte i=0;i<7;i++){ values[i] = Serial1.read();} Serial.println();} return values[4]; }</pre>	
<pre> void HumedadSuelo () { int sensorSuelo = map (analogRead (sensorSuelo), 0, 760, 100, 0); }</pre>	

En el código de programación de la placa Arduino Mega del circuito transmisor, primeramente se deben definir los pines a utilizar para un mayor orden del código, en este caso se utiliza el pin 7 y 8. Para las órdenes del sensor NPK, en este caso el pin 7 se va a llamar DE y el 8, RE.

Se definen la constantes Nitrógeno, Fósforo, Potasio y pH con el código según el manual de programación de la hoja de datos del sensor, también se habilita otro pin como entrada A0.

Una vez hecho esto para el bucle constante se habilitan los tres puertos seriales y los pines RE y DE como salidas.

Para el bucle de enlace, los bytes de Nitrógeno, Fósforo, Potasio y pH se muestran en forma de valor, se le da un pequeño tiempo de respuesta para cada valor y se imprimen los datos de los sensores para que se muestren por medio del monitor serial. Para cada byte de NPK, los pines DE y RE se apagarán o encenderán de acuerdo por los datos suministrados por el sensor y se imprimirán en los puertos seriales, se repiten constantemente según el retraso.

Este dispositivo, al estar alejado de la conexión a la corriente eléctrica, será energizado por medio de baterías entre 9 y 14 voltios, tendrá un convertidor DC-DC para alimentar con un voltaje de 5 voltios los sensores por aparte y como elemento protección tendrá un fusible de 2.5. Se puede programar para que envíen datos en lapsos de tiempo

con la finalidad de ahorrar energía de las baterías. En la figura 30 se observa el diagrama electrónico del circuito.

Circuito Receptor

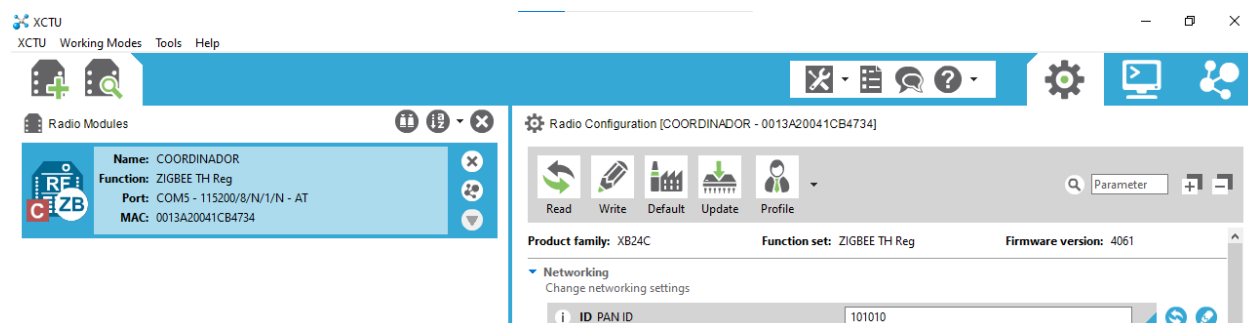
El circuito receptor tiene una placa de desarrollo Galileo de Intel, estará conectado por el puerto serial con el Xbee configurado como coordinador (receptor), este circuito tiene la función de recibir los datos de la señal del transmisor por medio de ondas electromagnéticas, utilizando el espectro radioeléctrico, con la misma frecuencia del transmisor de 2.4 GHz.

El módulo Xbee recibe los datos en hexadecimal del transmisor, los decodifica y los convierte en ASCII, para pasarlos a la placa Galileo por el puerto serial, en donde el microcontrolador se encarga de recibir esos datos, le asigna variables para después poder subirlos a la base de datos en la página Web. También por medio de la comunicación serial se envían los datos a la aplicación de escritorio para visualizar los datos de los sensores en un monitor, ya sea de celular o PC.

La conexión a la red Ethernet será por medio de red de área local (LAN), la cual estará conectada por medio de cable UTP (par trenzado no blindado) al router del proveedor de Internet.

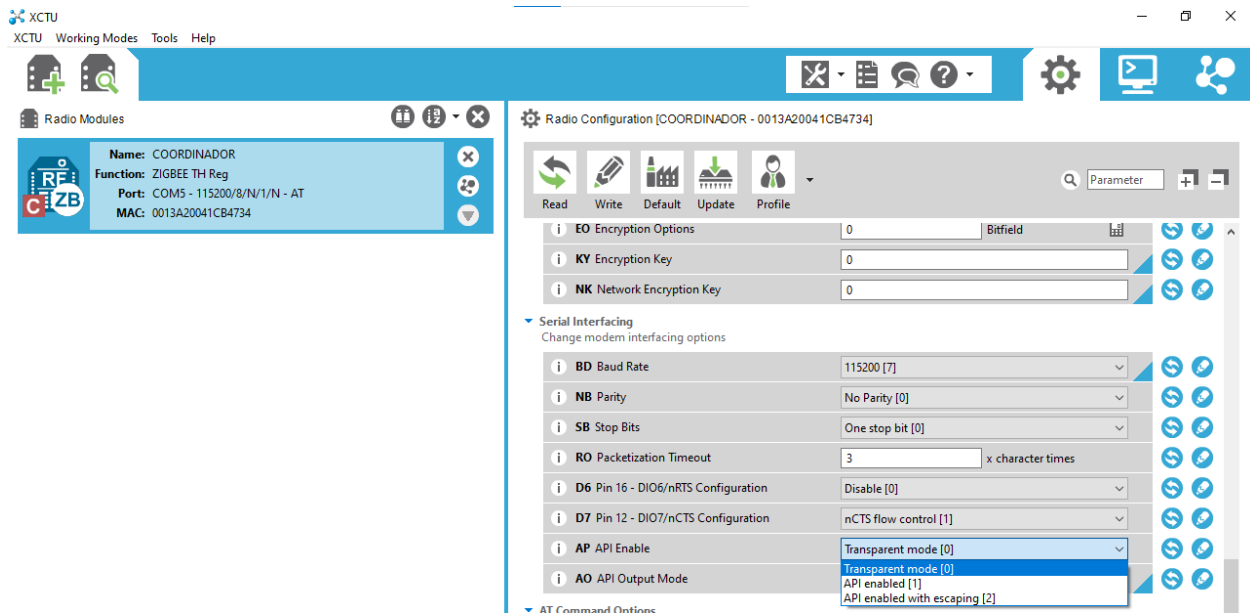
Al igual que el módulo transmisor, el Xbee receptor se debe configurar con la misma dirección de área personal (PAN ID) para que se pueda comunicar, se le asignó la 101010. En la figura 31 se observa la información.

Figura 31. Dirección PAN ID.



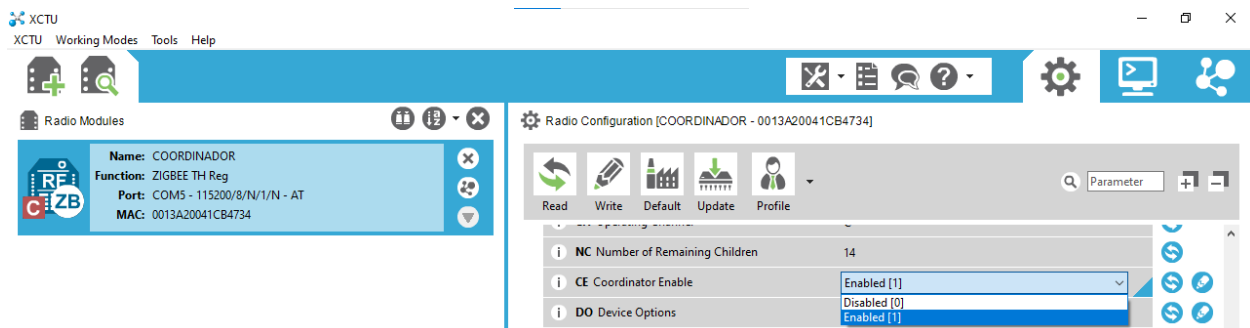
Ambos módulos deben estar con la misma frecuencia de transmisión de datos 115200 baudios y en el modo transparente, de lo contrario no habría comunicación. En la figura 32 se puede observar la información.

Figura 32. Frecuencia y modo transparente.



La red debe tener un dispositivo maestro, el Xbee receptor se habilita como coordinador para que sea el que administre la red. En la figura 33 se observa la información.

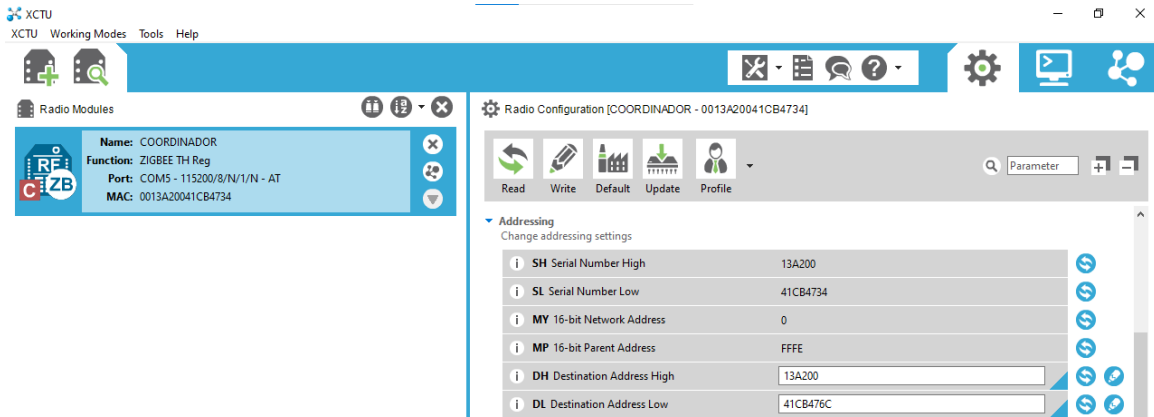
Figura 33. Habilitar modo coordinador.



Al igual que el transmisor, se debe tener la dirección MAC del módulo transmisor para que exista comunicación entre los dos dispositivos. Para el receptor se estableció

la *Destination Address Low* (dirección de destino bajo) del Xbee transmisor en 41CB476C. Esta se detalla en la siguiente figura 34.

Figura 34. *Dirección Mac.*



En la figura 35 se detalla la arquitectura del circuito receptor y en la tabla 21 se puede observar las especificaciones técnicas.

Figura 35. *Arquitectura del circuito receptor.*

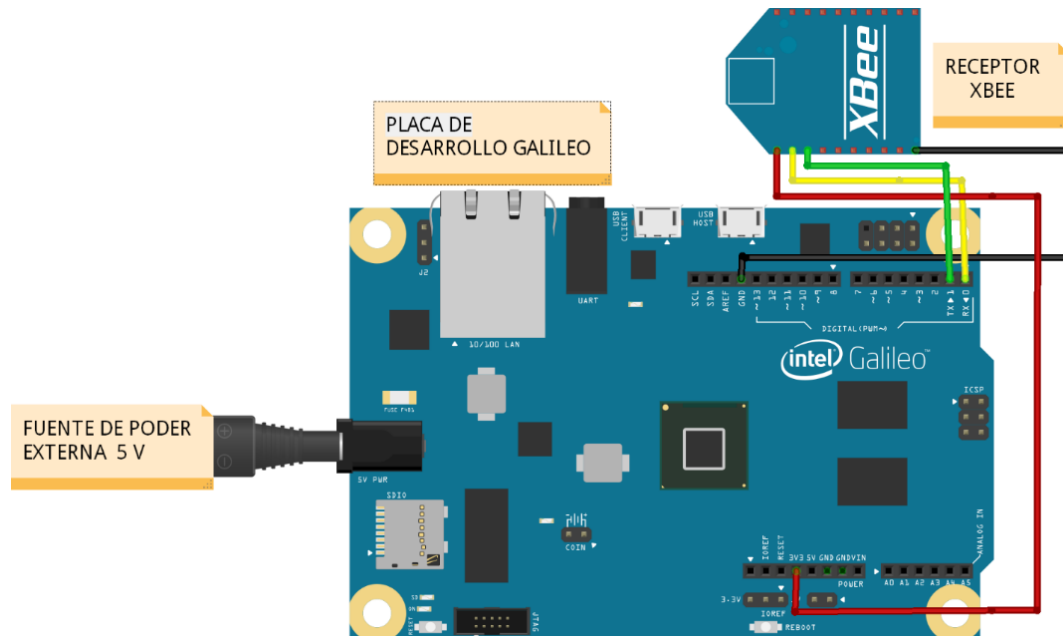


Tabla 21. Especificaciones técnicas circuito receptor.

Especificaciones técnicas	
Pin	Utilidad
Tarjeta Galileo	
VIN	Entrada voltaje
5 V	Salida voltaje 5 voltios
GND	Tierra
3V3	Salida voltaje 3,3 voltios
A0	Entrada analógica para el sensor de humedad
D0	Entrada digital Rx puerto serial 0
D1	Salida digital Tx puerto serial 0
Modulo Xbee	
VCC	Entrada de voltaje 3,3 voltios
Pin 2 DOUT	Salida digital (Tx)
Pin 1 DIN	Entrada digital (Rx)
GND	

El código de programación del circuito receptor se detalla en la tabla 22.

Tabla 22. Código del circuito receptor.

Código	Comentario
<code>#include <SPI.h></code>	Incluye la librería que permite la comunicación serial
<code>#include <Dhcp.h></code>	Incluye la librería para leer y escribir datos que pasan por el puerto de Ethernet
<code>#include <Dns.h></code>	Permitir buscar redes vía nombre de dominio y no una dirección IP
<code>#include <Ethernet.h></code>	Abre la librería de Ethernet
<code>#include <EthernetClient.h></code>	Incluye la librería para crear un cliente que la enlaza a una determinada IP y puerto definido.
<code>#include <EthernetServer.h></code>	Incluye la librería que permite leer lo que entra por un puerto definido y crea un servidor
<code>#include <EthernetUdp.h></code>	Incluye la librería que es complemento de las anteriores.
<code>#include <Separador.h></code>	Librería para la separación de caracteres.
<code>String nitro;</code>	Permitir guardar cadenas de caracteres en código ASCII en esas variables
<code>String fosfo;</code>	
<code>String pota;</code>	

Código	Comentario
String pH;	
String humsue;	
String datosrecibidos;	
Separador s;	Separa las líneas de caracteres de las cadenas anteriores
byte mac [] = {0x98, 0x4f, 0xee, 0x01, 0x04, 0x20};	
EthernetServer server = EthernetServer (80);	Activa las librerías DE Ethernet
String readString;	Muestra las líneas de caracteres
EthernetClient client;	Muestra los clientes del puerto Ethernet
void setup () {	
Serial.begin (115200);	Inicia el puerto serial a la velocidad en segundos
Serial1.begin (115200);	
Serial.println ("AGROCYBER 3000");	Se imprime en el monitor serial lo que escriba entre el paréntesis
system ("ifdown eth0");	
delay (500);	Retardo de 500 ms en la instrucción
system ("ifup eth0");	
delay (500);	Retardo de 500 ms en la instrucción
Serial.println ("Configurando Ethernet...");	
delay (3000);	Retardo de 3 segundos
if (Ethernet.begin (mac) ==0) {	Si el Puerto Ethernet no se encuentra información que imprima Error
Serial.println ("Error");}	Imprime por el puerto serial Error
else {	Es una instrucción de enganche
Serial.println ("Ok");	Se imprime en el monitor serial lo que escriba entre el paréntesis para todos los casos.
Serial.print ("IP: ");	
Serial.println (Ethernet.localIP());}	
void loop () {	
if (Serial1.available() >0) {	Una condición de lo que vea por el puerto serial
}	
serialEvent ();	
LecturaTH ();}	Da lectura a la variable determinada
void serialEvent (){	
String datosrecibidos = Serial1.readString();	
String Cantidad_Nitrogeno = s. separa (datosrecibidos, ',',0);	Muestra la cadena de caracteres para cada variable Potasio, Fósforo, Nitrógeno, pH y humedad de suelo.

Código	Comentario
String Cantidad_Fosforo = s. separa (datosrecibidos, ',' ,1);	Además, separa los caracteres por la instrucción Separa
String Cantidad_Potasio = s. separa(datosrecibidos, ',' ,2);	
String Valor_pH = s. separa(datosrecibidos, ',' ,3);	
String humedad_suelo = s.separa(datosrecibidos, ',' ,4);	
Serial.println(Cantidad_Nitrogeno);	Se imprime en el monitor serial lo que escriba entre el paréntesis para todos los casos.
Serial.println(Cantidad_Fosforo);	
Serial.println(Cantidad_Potasio);	
Serial.println(Valor_pH);	
Serial.println(humedad_suelo);	
Serial.print ("IP: ");	
Serial.println (Ethernet.localIP());}	
void LecturaTH(){	Permiten mostrar los caracteres guardados del código ACII
datosrecibidos = Serial1.readString();	
nitro = s.separa(datosrecibidos, ',' ,0);	
fosfo = s.separa(datosrecibidos, ',' ,1);	
pota=s.separa(datosrecibidos, ',' ,2);	
pH=s.separa(datosrecibidos, ',' ,3);	
humsue=s.separa(datosrecibidos, ',' ,4); }	

Al comenzar se debe, como cualquier código de placa Galileo, agregar las librerías de complemento para el desarrollo del programa. Estas son aquellas que permiten el acceso a Internet vía nombre de dominio o dirección IP y reconocimiento de señales de radiofrecuencia desde otro dispositivo.

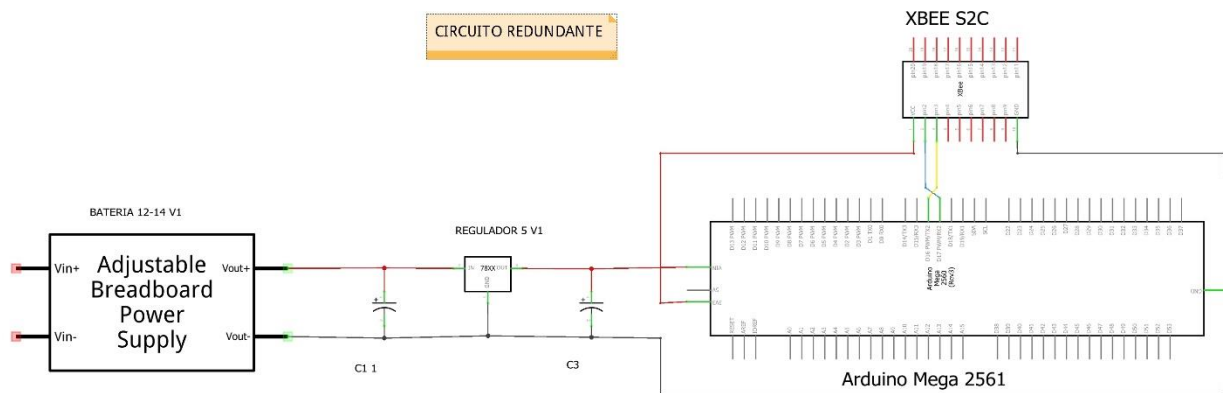
También se utiliza una instrucción que permitirá guardar cadenas de caracteres para cada lectura de los diferentes sensores NPK, pH, humedad u otros datos recibidos. Luego se limita los números de los caracteres obtenidos.

Además, se imprime a una velocidad establecida en milisegundos y se le indica que muestre la leyenda de "AGROCYBER 3000" o la de preferencia. Cada vez que se dé una instrucción para correr el programa o de impresión, se debe dar un tiempo de respuesta muy pequeño, en este caso es de quinientos milisegundos. Por otra parte, se

le asigna otra indicación donde si no hay señal lo muestre en pantalla, o el dispositivo de salida que se tenga a la mano y si la hay que lo mencione como OK.

Una vez que se obtenga la señal, muestre las cadenas de caracteres de todos los sensores conectados al circuito transmisor, pero ya cifrada en datos contables y los imprima en pantalla. Este sistema estará ubicado estratégicamente en la propiedad del señor Warner Alvarado, ya que requiere conectarse a la corriente eléctrica por medio del adaptador que proviene con la placa Galileo, esta tiene una entrada de voltaje en corriente continua entre 7 a 15 voltios, 2,1 amperios, también se puede implementar con un sistema de alimentación autónomo, para el suministro de corriente eléctrica para los lugares en donde el tendido eléctrico está ausente. A continuación, se detalla la conexión por medio del siguiente diagrama electrónico en la figura 36.

Figura 36. Diagrama electrónico del circuito receptor.



Circuito Redundante

La redundancia o respaldo de la información del sistema será mediante el uso de la placa NodeMCU ESP 8266, la cual se conectará al mismo circuito que contiene los sensores, por medio del puerto serial en los pines Tx2 y Rx2 del Arduino Mega. Recibirá los datos en forma ASCII y los almacenará en una base de datos en una página Web. Esta placa se puede conectar a Internet por medio de un módulo de *WIFI* que tiene integrado, para lograr la conexión se dispondrá de un router inalámbrico portátil tipo *MIFI*, con un pequeño plan de datos para que proporcione la conectividad, o también se le puede compartir los datos con un celular.

Para la configuración al acceso a Internet, primero el NodeMCU crea un punto de acceso llamado "AGROCYBER_3000", hay que seleccionarlo en un dispositivo móvil, aparte al que se va a conectar por medio de *WIFI*, con la finalidad de agregar las credenciales de red. Cuando ya esté conectada la placa a Internet, ésta sube la información de los sensores a la base de datos de la página Web de acuerdo con la programación del microcontrolador. En la tabla 23 se detalla el código de este circuito.

Tabla 23. Código del circuito redundante.

Código	Comentario
#include <ESP8266WiFi.h>	Se incluye la librería para la conexión a <i>WIFI</i> .
#include <WiFiManager.h>	Librería complementaria a la anterior
#include <DNSServer.h>	Permitir buscar redes vía nombre de dominio y no una dirección IP
#include <ESP8266WebServer.h>	Librería complementaria a la anterior
#include <Ticker.h>	
#include <ESP8266HTTPClient.h>	Librerías requeridas complementaria para la conexión <i>WIFI</i>
#include <ESP8266WiFiMulti.h>	
#include <WiFiClient.h>	
#define pinLedWifi 02	Define el pin 02 con un nombre específico
Ticker ticker;	
WiFiClient client;	
String t;	Permitir guardar cadenas de caracteres en código ASCII
String h;	
String hs;	
String datosrecibidos;	
#include <Separador.h>	Librería para separar los datos dentro de la misma trama.
Separador s;	
void parpadeoLedwifi(){	
byte estado=digitalRead(pinLedWifi);	Escribe en forma digital lo mostrado en el pin establecido.
digitalWrite(pinLedWifi, !estado); }	
void setup() {	
Serial.begin(115200);	Inicia el puerto a la velocidad en segundos
Serial.println(F("DHT 11 prueba de conexión con el servidor"));	Imprime los datos al puerto en forma serial.
pinMode (pinLedWifi, OUTPUT);	Pone el pin 2 en forma de salida
ticker.attach (0.2, parpadeoLedwifi);	

Código	Comentario
WiFiManager wifiManager;	
if(!wifiManager.autoConnect("AGROCYBER_3000")){	
Serial.println("Fallo en la conexión (timeout)");	Imprime lo estipulado entre los paréntesis.
ESP.reset();	
delay (1000); }	Tiempo de espera de 1s
Serial.print("Conectando...");	Imprime lo estipulado entre los paréntesis
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {	Mientras <i>WiFi</i> esté conectado imprime por el puerto serial OK
delay(500);	Retardo de 50ms
Serial.print(".");}	
Serial.println("Conexión OK!");	Imprime lo estipulado entre los paréntesis
Serial.print("IP Local: ");	Imprime los datos al puerto en forma serial.
Serial.println(WiFi.localIP());	
ticker.detach();	
digitalWrite(pinLedWifi, HIGH); }	Enciende pin 02, lo pone en alto.
void loop() {	
if (Serial.available() >0){	
}	
serialEvent();	
LecturaTH();	Da lectura a la variable establecida
EnvioDatos();	
delay (2000); }	Tiempo de espera
void serialEvent(){	
String datosrecibidos = Serial.readString();	Muestra la cadena de caracteres para cada variable
String humedad = s.separa(datosrecibidos, ',',0);	humedad, temperatura; además, separa los
String temperatura = s.separa(datosrecibidos, ',',1);	caracteres por la instrucción Separa
String humSuelo = s.separa(datosrecibidos, ',',2); }	
void LecturaTH(){	
datosrecibidos = Serial.readString();	Muestra los caracteres recibidos
h = s.separa(datosrecibidos, ',',0);	Separa los caracteres para cada variable
t = s.separa(datosrecibidos, ',',1); }	
void EnvioDatos(){	
if (WiFi.status() == WL_CONNECTED){	
HTTPClient http;	

Código	Comentario
String datos_a_enviar = "temperatura=" + String(t) + "&humedad=" + String(h);	
http.begin(client,"http://prueba-finca-alvarado.000webhostapp.com/EspPost.php");	
http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");	
int codigo_respuesta = http.POST(datos_a_enviar);	
if (codigo_respuesta>0){	
Serial.println("Código HTTP: "+ String(codigo_respuesta));	
if (codigo_respuesta == 200){	
String cuerpo_respuesta = http.getString();	
Serial.println("El servidor respondió: ");	Se imprime en el monitor serial lo que escriba entre el paréntesis para todos los casos.
Serial.println(cuerpo_respuesta); }	
else {	
Serial.print("Error enviado POST, código: ");	Se imprime en el monitor serial lo que escriba entre el paréntesis para todos los casos.
Serial.println(codigo_respuesta); }	
http.end();}	
else {	
Serial.println("Error en la conexión WIFI"); }	
delay(2000);	Retarda 2s la impresión
}	

Para desarrollar el código del circuito receptor de la placa Galileo se debe iniciar incluyendo varias librerías, estas son necesarias para el funcionamiento del programa, entre ellas la del *WIFI (Wireless Fidelity)*, acrónimo en inglés que traducido al español significa fidelidad inalámbrica. Lo anterior para que la redundancia del sistema no se vea afectada, conjuntamente con la librería del desarrollo de su comunicación inalámbrica. Otra es la de *DNSServer*, la cual permitirá buscar redes vía nombre de dominio y no una dirección IP; además de algunas que son complementarias a las mencionadas anteriormente.

Se definen algunas variables para tener un mayor orden durante el código, se utiliza una instrucción que permitirá guardar cadenas de caracteres llamada *String* y se indica la lectura de algunos pines definidos anteriormente.

Como se necesita visualizar lo que está sucediendo en el código, se da la instrucción de habilitar el monitoreo de este e imprimirlo vía serial por el puerto establecido, también de imprimir algunas frases ya predeterminadas; lo anterior en varias ocasiones con diferentes enunciados según lo requerido.

Para poder verificar que el código está siendo ejecutado correctamente a nivel del circuito, se necesita habilitar un pin como indicador.

Una vez dadas las instrucciones de inicio, se deben brindar las instrucciones del desarrollo de lo que se recibirá a nivel del circuito. Para ello, cada bucle habilita diferentes datos que fueron almacenados anteriormente. Si estos datos son correctos se dará la instrucción de enviarlos por el puerto de visualización e imprimirlos.

Un dato importante es que cuando se habla en programación de imprimir los datos, no se habla de un dispositivo de salida, como lo es una impresora de papel común, y su resultado, si no de habilitar un puerto de manera serial donde se puedan visualizar los diferentes caracteres mediante un monitor o pantalla.

Las placas se acoplan perfectamente, ya que su compatibilidad proviene desde su origen, ya que la placa Galileo y su sistema operativo puede manejar las librerías de Arduino porque Intel toma esas bases para su programación.

Visualizador de la Información

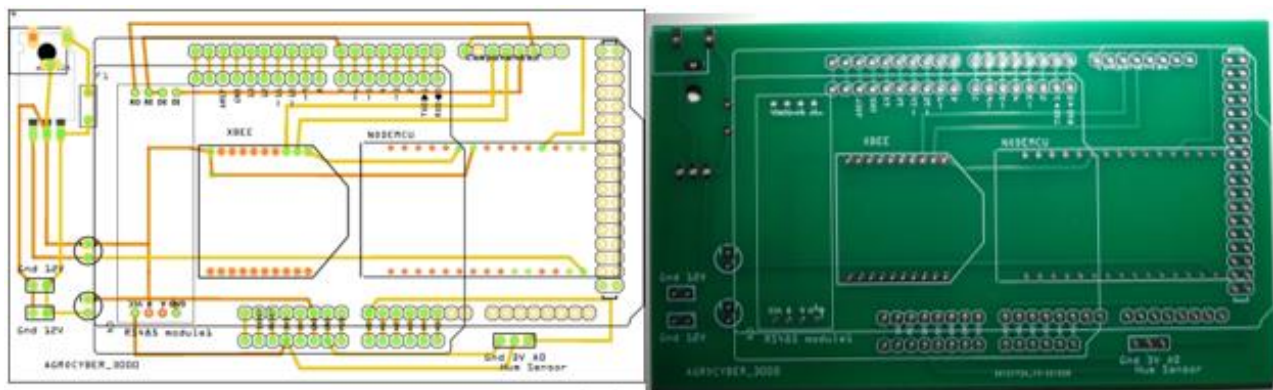
Por medio del programa *Visual Studio Code* se realizará la aplicación de escritorio en donde se visualizará la información en tiempo real de los sensores, con el uso de la interfaz gráfica instalada en una PC o dispositivo móvil, diseñada para este caso. Conectando la computadora mediante USB, se configura el puerto de comunicación (COM) y se establece la conexión para visualizar los datos que recibe del sistema, también se podría tener acceso desde un dispositivo móvil como celular o *Tablet*, por medio de una aplicación que se puede subir a Internet para que se pueda descargar por medio de un link, o se propone crearla en *Visual Studio Code* para que sea compatible para Android y IOS, según se aprecia en la figura 37.

Figura 37. Interfaz gráfica.



Para ensamblar los componentes del proyecto en donde se conectarán los sensores y el Xbee transmisor, se diseñará una placa o escudo PCB, este estará acoplado en los pines del Arduino Mega Tx, tal y como se puede apreciar en la figura 38.

Figura 38. PCB placa de circuito impreso.



Protocolo 802.15.4

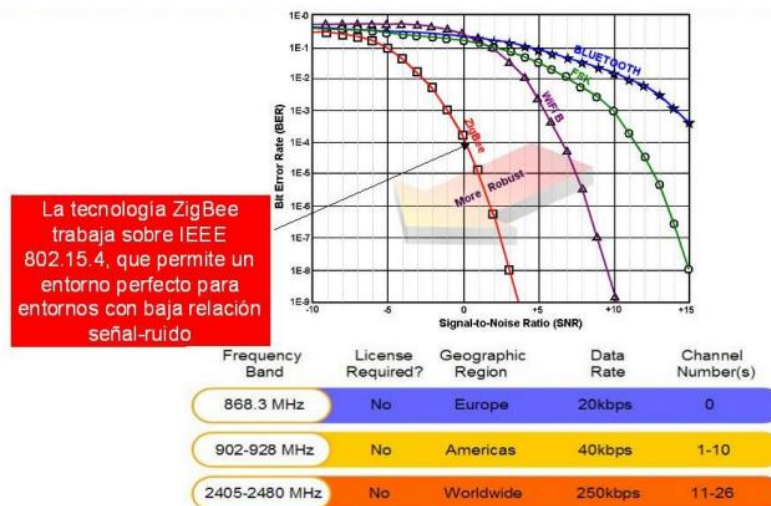
Los módulos Xbee pueden utilizar una topología punto a punto, punto a multipunto y esta última se maneja bajo el protocolo 802.15.4, puede ser escalable hacia el protocolo Zigbee, el cual es propietario Digi. Este último nace bajo un grupo de compañías (*Motorola, Philips, Samsung, Honeywell y Siemens*, entre otras), donde su principal

objetivo es encender las redes inalámbricas de bajo consumo de energía y costo económico en un estándar global que pueda ser compatible con varios productos; además, que se defina una serie de protocolos para habilitar la comunicación entre dispositivos. A lo anterior se le conoce como Zigbee y se basa en redes WPAN (Redes de área personal) IEEE 802.15.4.

También se puede decir que este protocolo es una tecnología inalámbrica que opera en las bandas libres de 2,4 GHz, 868 MHz (Europa) y 915 MHz (Estados Unidos) y su comunicación se mueve entre la capa física y enlace de datos del modelo OSI (Interconexión de Sistemas Abiertos).

Una característica del IEEE 802.15.4 es la posibilidad de que en la capa física sea posible evaluar el nivel de interferencias en un determinado instante y así ajustar el canal de comunicación. Esta norma permite, además, el uso de direcciones de red de 16 bits o 64 bits, siendo que el uso de 64 bits es útil cuando se tienen redes de gran tamaño. En cuanto a la topología, esta norma es compatible con topologías de estrella y punto a punto, con baja relación señal-ruido (ver figura 39).

Figura 39. Gráfico tecnología Zigbee.



Nota: Adaptado Anexo I. Protocolo Zigbee (IEEE 802.15.4). Recuperado de: <https://rua.ua.es>.

El Ruido como Factor de Interferencia

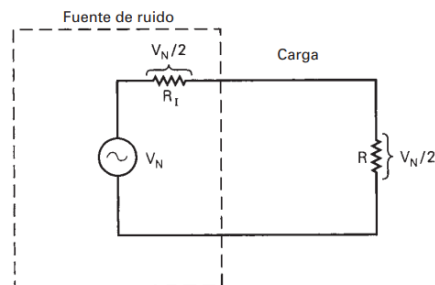
Cuando se trata de la transmisión inalámbrica pueden ocurrir muchas complicaciones en el desarrollo de la operación. En el proyecto donde se utiliza como gran modulador del mecanismo, el módulo Xbee de Digi se permite desplazarse entre las bandas 2.4 GHz y 900 MHz mediante el protocolo 802.15.4, el cual tiene incorporados módulos RF que protegen algunas interferencias, pero dependiendo de la frecuencia a utilizar y su acercamiento a frecuencias más bajas, se necesita más inmunidad hacia el ruido.

Pero ¿qué es el ruido en una transmisión de datos?, se puede decir que es cualquier interferencia o perturbación que produzca que la comunicación no se logre. También se puede definir como cualquier energía eléctrica que impida o distorsione una señal de onda electromagnética.

Recordar que, según Tomasi, el ruido se puede clasificar en dos categorías: correlacionado y no correlacionado. La correlación implica una relación entre la señal y el ruido. Por consiguiente, el ruido correlacionado sólo existe cuando hay una señal y no correlacionado está presente siempre, haya o no una señal. En este apartado están el ruido externo, el atmosférico y extraterrestre.

Para lo anterior, los desarrolladores han creado diferentes mecanismos como son módulos de protección o consejos para evitar la interferencia electromagnética, ya sea internamente en los circuitos o externamente (ver figura 40).

Figura 40. Circuito protector contra interferencia.



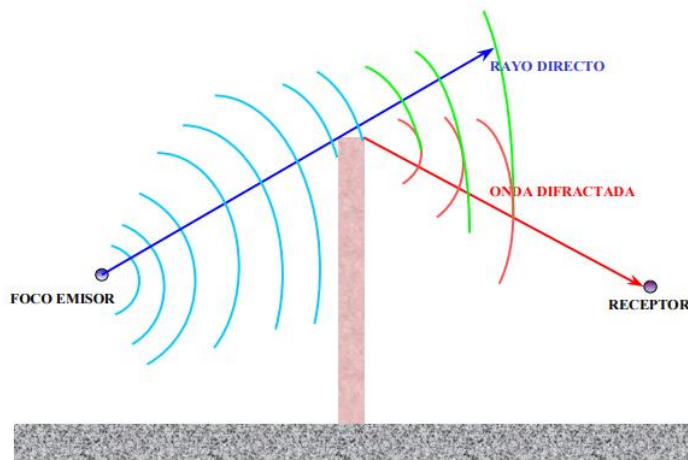
Nota: Adaptado de Tomasi, *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*.

El proyecto esta enfatizado claramente a la agricultura, este se desarrolla a campo abierto y se necesitan varias horas de monitoreo constante, por lo cual se puede enfrentar a diferentes afectaciones meteorológicas, por ejemplo, el sol, lluvia, en donde se necesita más protección a interferencias; además de los módulos internos de las diferentes placas, ya sea la Galileo, Arduino Mega o los Xbee.

Sin duda alguna, cuando se habla de ondas electromagnéticas existen muchas variaciones y cuando se trata de transmitir las, aún más. Una de las cosas que se debe tomar en cuenta para transmitir es el ruido, como anteriormente se explicó, este hace perder la forma de la onda que se quiere recibir, pero aparte de eso se tiene algunos elementos como lo es la refracción. Esta se puede definir como una desviación que se da en las ondas en la dirección de su propagación y se produce cuando la onda pasa de un medio a otro. La refracción se debe a que, al cambiar de medio, cambia la velocidad de propagación. (Tomassi, p. 353)

En la figura 41 se aprecia la refracción de la onda electromagnética.

Figura 41. *Refracción de la onda electromagnética.*



Nota: Adaptado 4RF. Ventajas de la transmisión de menos de 3 GHz. <https://4rf.com/>

Otro punto en razón de ondas transmitidas es la dispersión; esta se podría explicar como una reflexión en muchos obstáculos con diferentes ángulos. La dispersión depende de la frecuencia y de la longitud de onda. La dispersión se produce cuando la estructura del obstáculo es más pequeña que la longitud de onda; también a las alteraciones

producidas en la propagación de la onda por la presencia de un determinado tipo de suelo, como pasa con el sonido. Por una parte, el suelo actúa como un obstáculo sólido, reflejando una fracción de la energía y absorbiendo el resto.

Cuando se trabaja redes *WIFI* se utilizan dos tipos de frecuencia, como es la de 5 GHz o la de 2.4 GHz. Para el proyecto se toma en cuenta esta última, ya que una de sus ventajas es dar mayor cobertura y su principal característica es la capacidad para traspasar objetos sólidos. En esta banda es menos sensible al atravesar vegetación, naturaleza densa u otros obstáculos; además, si el dispositivo se encuentra lejos del router, siempre manteniendo una velocidad baja pero constante. Por ello es por lo que la frecuencia de 2.4 GHz es apta para transmitir en exteriores, con base en esta teoría.

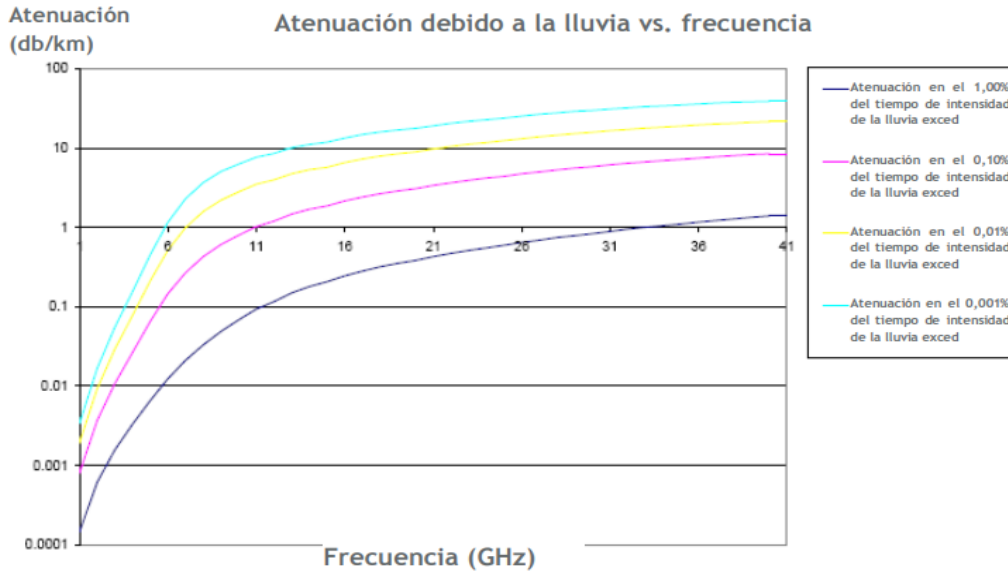
Por las condiciones climatológicas que existen en la zona y la lluvia frecuente, se decide trabajar con este ancho de banda, ya que es sabido que las gotas de agua absorben esta frecuencia de radio y parcialmente bloquean la señal. También que el viento produce partículas moviéndose a gran velocidad; sin embargo, estas no tienen carga ni velocidad suficiente como para generar campos magnéticos, por lo cual se implementa la transmisión de baja frecuencia.

Según la revista *Aprisa XE Technical Paper*, las ventajas de la transmisión de menos de 3 GHz en comparación con las tecnologías de enlazado que se utilizan comúnmente con frecuencias más altas son bastante buenas, combinado con los avances tecnológicos de estos últimos años ha permitido extender ampliamente los sistemas terrestres de radio digital. Las distancias cubiertas son de dos a tres veces más grandes que las cubiertas por microondas de mayor frecuencia; además, un funcionamiento sin interrupciones en bandas licenciadas, una capacidad de cobertura de distancias más grandes y la inmunidad a las condiciones atmosféricas.

En resumen, los sistemas donde las frecuencias son inferiores a 3 GHz permiten a los usuarios conectar distancias más amplias debido a la menor pérdida de trayecto, incluidos el funcionamiento fuera de la línea de visión, una mayor ganancia de sistema, menor susceptibilidad a los efectos del medio ambiente, menos infraestructura y mantenimiento mediante cargas reducidas en las torres y, a su vez, disfrutar de un costo

económico de implementación más bajo. En la figura 42 se puede observar la gráfica de la atenuación de la onda electromagnética debido a la lluvia.

Figura 42. *Atenuación versus frecuencia para la zona de lluvias.*



Nota: Adaptado de: 4RF, *Ventajas de la transmisión de menos de 3 GHz*. Recuperado de: <https://4rf.com/>

Validación Matemática

Para el proyecto se tomó en cuenta el cálculo del radioenlace utilizando fórmulas matemáticas. Se consideran diferentes factores, ya sea la potencia del transmisor, receptor, ganancia de las antenas, pérdidas en el espacio libre, obstáculos, entre otros.

Primero se averigua la atenuación por efectos de propagación de la onda electromagnética en el espacio libre llamada FSL (*Free Space Loss* en inglés, en español Pérdidas en el Espacio Libre), en donde la distancia entre el transmisor y el receptor es de 0,52 Km y la frecuencia es de 2,4 GHz (2400 MHz).

$$FSL = 20 \text{ Log}(d) + 20 \text{ Log}(f) + k = -\text{dB}$$

En donde:

FSL= atenuación total causada por efectos de la propagación de la onda electromagnética en el espacio libre.

d= distancia en Km.

f= frecuencia en MHz.

k= constante 32,45.

Sustituyendo en la fórmula:

$$FSL = 20 \text{ Log}(0,52\text{Km}) + 20 \text{ Log}(2400 \text{ MHz}) + 32,45 = 94,37 \text{ dB}$$

Se toma en consideración que este valor matemático es ideal, dando como resultado una atenuación de 94,37 dB por causa de pérdidas en el espacio libre, lo cual es una potencia relativamente baja. En la práctica, con la validación del dispositivo se tendrá más adelante los valores correspondientes de acuerdo con los análisis en el campo. Para convertir los valores dB en watts se realiza de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$P (\text{log}) = 10 \log \left(\frac{p (\text{mW})}{1 \text{ mW}} \right)$$

Se despeja la potencia en mW de la ecuación principal y se divide entre 1.000 para obtener la potencia en watts, lo cual queda de la siguiente manera:

$$P (\text{mW}) = \frac{10^{\frac{P(\text{dBm})}{10}}}{1000}$$

Se sustituye el valor dB en la fórmula:

$$P (\text{mW}) = \frac{1 \text{ W} \times 10^{\frac{-94,37\text{dBm}}{10}}}{1000} = 3,66 \times 10^{-13} \text{ W}$$

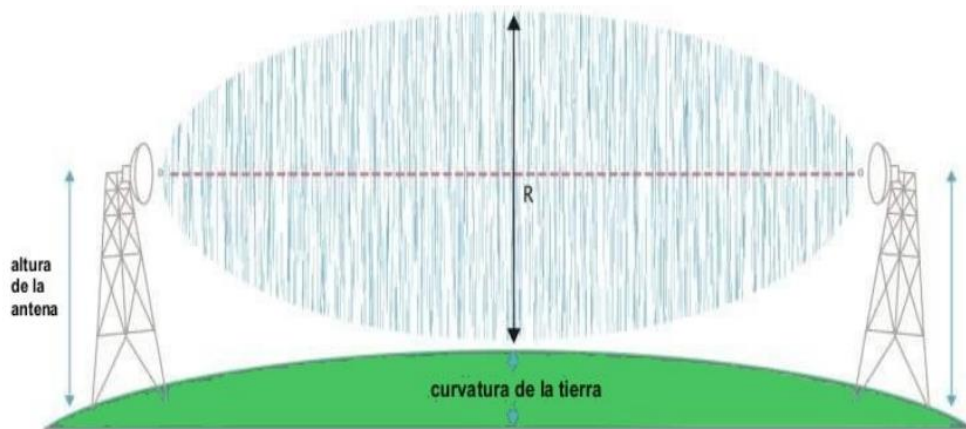
La potencia perdida en watts da $3,66 \times 10^{-13} \text{ W}$

No se debe dejar de lado el cálculo de la Zona de Fresnel, la cual es un área de la señal que se debe considerar cuando existen obstáculos entre el transmisor y el receptor, cuando se realiza un radioenlace punto a punto. Se debe tomar en cuenta la obstrucción máxima permisible que corresponde al 40% de la primera zona de Fresnel, o el 60% libre de obstrucción. Esto quiere decir que, si hay árboles en medio o a los lados

de la señal entre los puntos de transmisión y recepción, esto afectaría considerablemente el radioenlace.

Otro factor que afecta el enlace es la curvatura de la Tierra, pero a distancias más largas, según se aprecia en la figura 43.

Figura 43. Zona de Fresnel.



Nota: Adaptado de Syscom, ¿Qué es la Zona de Fresnel?, recuperado de: <https://soporte.syscom.mx>

La fórmula para calcular la zona de Fresnel es la siguiente:

$$ZF = 17,32 \sqrt{\frac{d}{4f}} = m$$

En donde:

17,32 es una constante.

ZF es la zona de Fresnel.

d es la distancia en kilómetros.

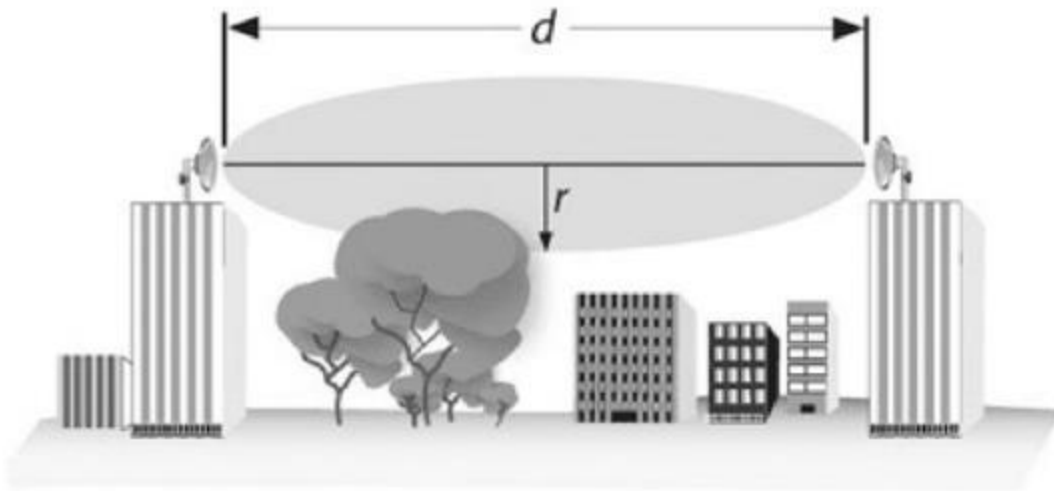
f es la frecuencia en GHz.

Sustituyendo en la fórmula a una distancia de 520 metros y una frecuencia de 2,4 GHz.

$$ZF = 17,32 \times \sqrt{\frac{0,52 \text{ m}}{4(2,4 \text{ GHz})}} = 4 \text{ metros}$$

La zona de Fresnel da como resultado 4 metros de radio; por lo tanto, para que el radioenlace funcione con normalidad se debe respetar 2,4 metros que corresponde al 60% libre de obstáculos en la señal del enlace. Por ejemplo, tal como se aprecia en la figura 44, el árbol estaría obstruyendo un 40% de la señal.

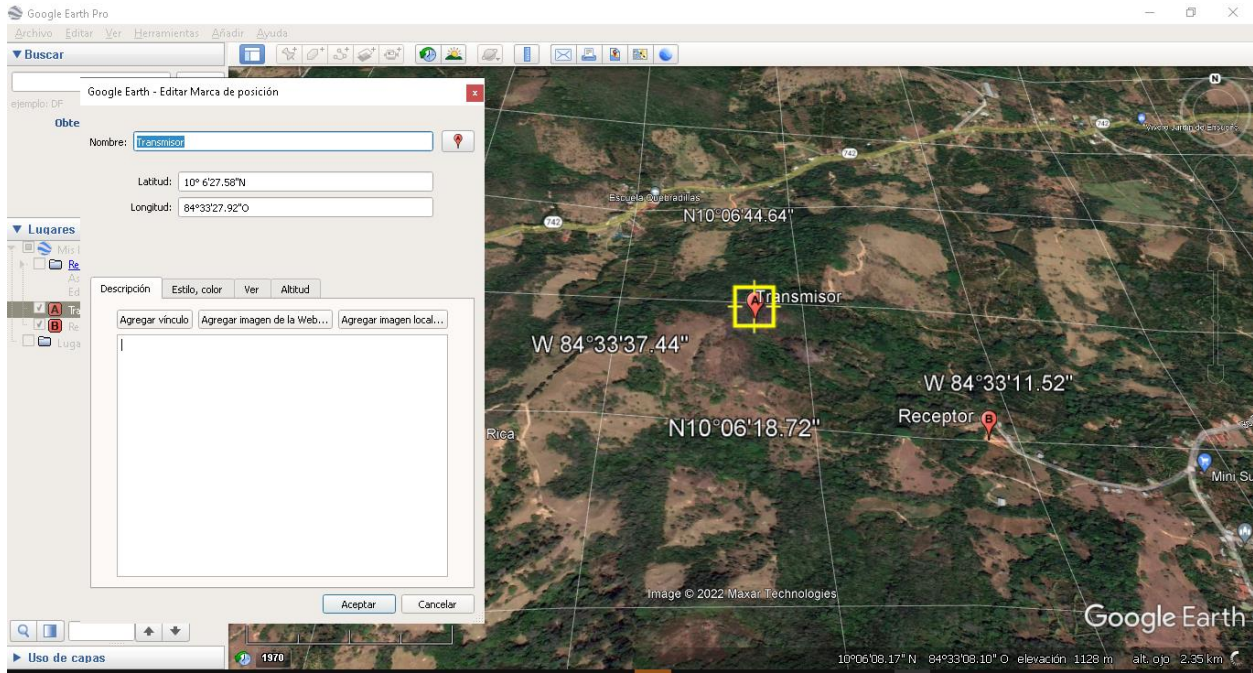
Figura 44. *Obstrucción permisible en la zona de Fresnel.*



Nota: Adaptado de Syscom, ¿Qué es la Zona de Fresnel?, recuperado de: <https://soporte.syscom.mx>

Para localización en donde se implementará el proyecto, se hace uso del programa *Google Earth*, el transmisor se colocará en las coordenadas latitud 10° 6'27.58" norte y longitud 84°33'27.92" oeste, tal como se observa en la figura 45.

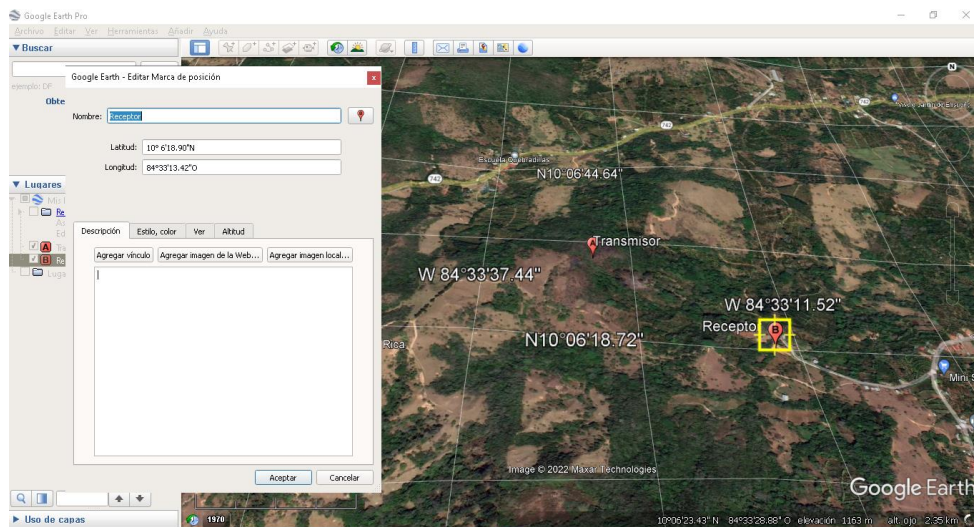
Figura 45. Ubicación del transmisor.



Nota: Adaptado de *Google Earth*.

El receptor estará ubicado en las coordenadas latitud $10^{\circ} 6'18.90''$ norte y longitud $84^{\circ}33'13.42''$ oeste, tal como se aprecia en la figura 46.

Figura 46. Ubicación del receptor.

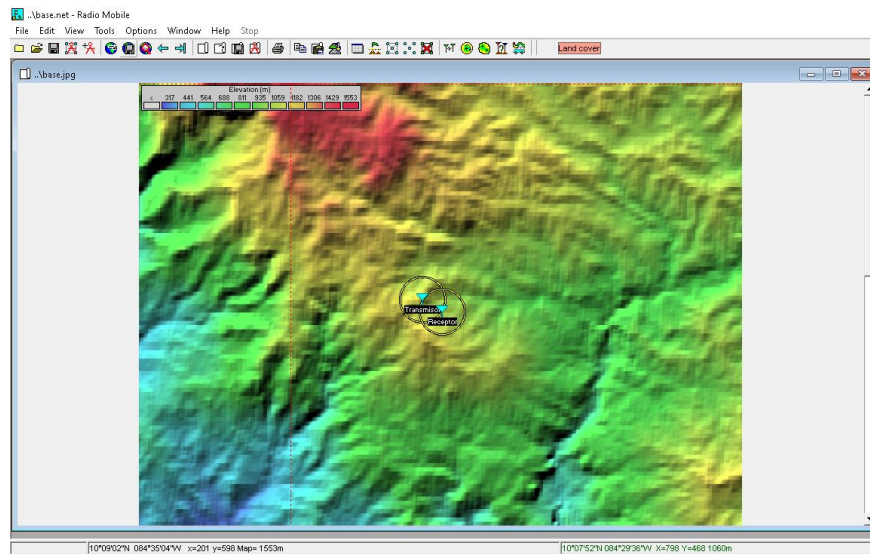


Nota: Adaptado de *Google Earth*.

Para la simulación del proyecto se utilizó el programa *Radio Mobile*, el cual resulta muy útil por la versatilidad que tiene y buena precisión, además que muestra los puntos

en el mapa en donde estarán colocadas las antenas del transmisor y el receptor, tal como se muestra en la figura 47.

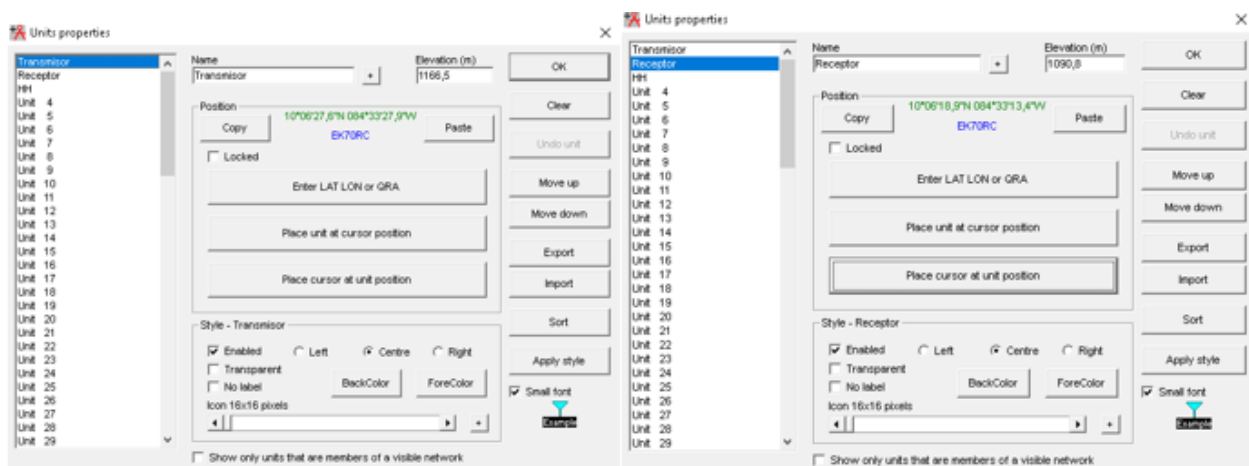
Figura 47. Simulación con Radio Mobile.



Nota: Adaptado de *Radio Mobile*.

Altitud sobre el nivel del mar del transmisor es de 1.166,5 metros, mientras que la del receptor es de 1.090,8 metros, según se observa en la figura 48.

Figura 48. Altitud sobre el nivel del mar.



Para calcular el presupuesto de enlace, se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Enlace} = (\text{Potencia Tx}) + (-\text{Pérdidas Tx}) + (\text{Ganancia}) + (-\text{FSL}) + (\text{Ganancia Rx}) + (-\text{Pérdida Rx}) = \text{dB}$$

En donde:

Potencia Tx= Potencia del transmisor.

-Pérdidas Tx= Pérdidas de cables y conectores en el transmisor.

Ganancia= Ganancia de la antena.

-FSL= Pérdidas en el espacio libre.

Ganancia Rx= Ganancia del receptor.

-Pérdida Rx= Pérdidas en cables y conectores en el receptor.

En relación con la información de la hoja de datos de los Xbee Tx y Rx, tomando en cuenta también las antenas utilizadas en el proyecto, estas últimas son antenas omnidireccionales dipolo, en la tabla 24 se detalla la información.

Tabla 24. Especificaciones técnicas del cálculo del radioenlace.

		Antena Transmisor	Antena Receptor
Tipo		Omnidireccional dipolo	Omnidireccional dipolo
Frecuencia		2,4 GHz	2,4 GHz
Ganancia antena		3 dBi	3 dBi
Potencia de transmisor		5 dBm	5 dBm
Sensibilidad receptora		-100 dBm	-100 dBm
Pérdidas	Cable	0,195 dB	0,195 dB
	conectores	0,06 dB	0,06 dB
Total, pérdidas		0,255 dB	0,255 dB
FSL		-96,95	-96,95 dB

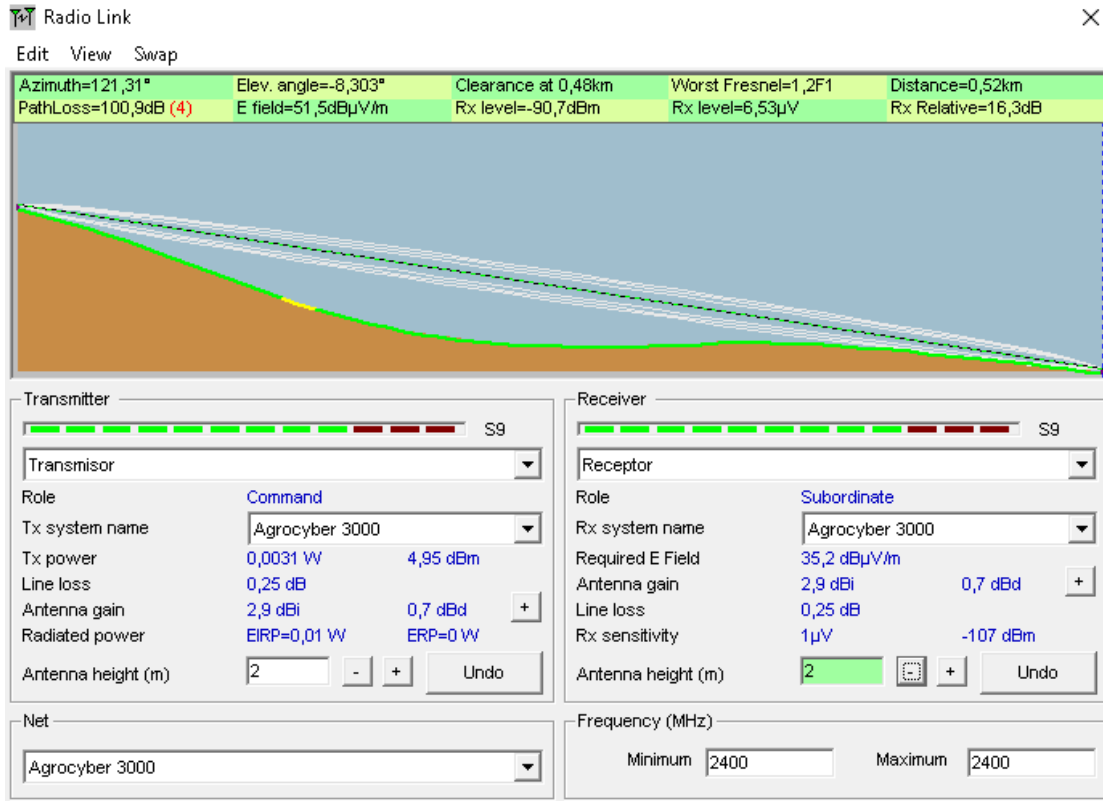
Sustituyendo en la fórmula:

$$\text{Enlace} = (5) + (-0,255) + (3) + (-96,95) + (3) + (-0,255) = -86,46 \text{ dB.}$$

El enlace da como resultado -86,46 dB, lo cual es bueno para la transmisión de datos a la distancia de 700 metros.

Utilizando el programa de simulación *Radio Mobile*, el radioenlace da -90,7 dBm, tal como se aprecia en la figura 49. Este dato es similar al obtenido en la validación matemática, en la validación del dispositivo se obtendrá los resultados de la potencia del transmisor.

Figura 49. Resultado de la simulación con *Radio Mobile*.



Otra fórmula que se debe calcular es el margen, que corresponde al límite entre la señal y el ruido.

$$\text{Margen} = \text{Enlace} - (-\text{Sensibilidad}) = \text{dB}$$

Sustituyendo en la fórmula:

$$\text{Margen} = (-86,46) - (-100) = 13,54 \text{ dB}$$

El margen da como resultado 13,54 dB.

Otra fórmula importante es la del PIRE, lo cual es la máxima potencia irradiada, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{PIRE} = (\text{Potencia Tx}) + (-\text{Pérdida Tx}) + (\text{Ganancia Tx}) = \text{dB}$$

$$\text{PIRE} = (5) + (-0,255) + (3) = 7,745 \text{ dB} \sim 0,01\text{W}$$

La potencia máxima irradiada es de 7,74 dB, lo cual es bueno ya que está por debajo del máximo permitido para la frecuencia de 2,4 GHz, según el Adendum VII del PNAF de la Utilización de Frecuencias de Uso libre.

Rangos del Espectro Radioeléctrico en Costa Rica

En Costa Rica, las instituciones encargadas de regular el espectro radioeléctrico son:

- La Asamblea Legislativa, quien analiza y dicta las leyes para el uso y desarrollo;.
- La Superintendencia de Telecomunicaciones (Sutel) aplica el ordenamiento jurídico, administra el Fondo Nacional de Telecomunicaciones, promueve la diversidad de servicios y protege los derechos de los usuarios de las telecomunicaciones.
- El Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones (Micit), se encarga de dictar políticas para el uso, dictar el plan nacional de telecomunicaciones, aprueba o rechaza el criterio de la Sutel y representa al país en organizaciones internacionales.

Según el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF), para este proyecto se analizaron los alcances jurídicos para el uso de frecuencias, en donde se estudió lo manifestado en el Capítulo I, Artículo 9 llamado *Dominio Público del Espectro Radioeléctrico*.

En el presente proyecto se debe hacer uso de este espectro de uso libre para propagar la información de los sensores por medio de ondas electromagnéticas de un punto a otro.

La frecuencia que utilizan los transmisores y receptores Xbee es de 2,4 GHz o 2400 MHz, considerando la recomendación de la UIT-R para la región Las Américas y con apoyo en el artículo 19 del PNAF, Notas Nacionales CR 073, lo cual dice lo siguiente: "El rango de 2400-2483,5 MHz se atribuye como espectro de uso libre para la operación

de redes públicas o privadas sujetas a las condiciones establecidas en el Adendum VII del presente PNAF”.

En el Adendum VII de la Utilización de Frecuencias de Uso libre, considera las bandas de 2400 a 2483, de 5150 a 5250, de 5470 a 5725 y de 5725 a 5825 todas en MHz, que utilicen modulación por multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM), Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK), Espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS) y Espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS).

Para una frecuencia de 2400 a 2483,5 MHz se permite una potencia máxima de salida de los equipos de 30 dBm y una potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) de 36 dBm. (Sutel, 2016)

De acuerdo con los cálculos realizados anteriormente, en donde la PIRE fue de 7,74 dB, muy por debajo del máximo estipulado en la PNAF y la potencia de salida del transmisor según la hoja de datos del módulo Xbee es de 5 dBm, lo cual da como resultado un buen margen para implementar el proyecto sin tener afectaciones legales en cuanto al uso del espectro radioeléctrico.

Validación del Dispositivo

En el desarrollo del proyecto surgieron algunos inconvenientes con el prototipo que se diseñó, ya que la información que se puede obtener del proveedor de los sensores es escasa. Se contactó con el vendedor del sensor NPK y envió un manual de usuario en donde proporciona la dirección de registro para poder programar la placa, esa información se validó con el programa Modbus Poll, de acuerdo con investigaciones realizadas previamente. Para lo anterior se necesitó el convertidor de RS485 a USB el cual se conecta al sensor y a la vez es necesario tener este programa antes mencionado para que reconozca el dispositivo de comunicación COM.

Primero, se conecta el dispositivo como si fuese una llave maya al PC, esta le asigna un puerto COM, este mismo es el que se selecciona en el programa para que lea el sensor. Después de asignarle el puerto COM y el programa indica que hay conexión, luego en el menú de la parte superior se habilita la definición de lectura y escritura, seguidamente se selecciona la dirección del esclavo en este caso es el 1 (0x01) en

hexadecimal, para obtener los datos del *Holding Register* (registros de retención), el cual es la dirección 0x03 en hex.

En la dirección de los datos se selecciona el 0x1E, el cual lee el registro de datos para Nitrógeno, según se aprecia en la figura 50. Este programa envía por medio del serial una solicitud al sensor en hexadecimal (0x01, 0x03, 0x00, 0x1E, 0x00, 0x01, 0xE4, 0x0C) y el sensor responde con los datos de Nitrógeno.

Al variar la dirección a 0x1F, el sensor responde con los datos de Fósforo y al variar por 0x20 el de Potasio.

Figura 50. Visualización del sensor NPK con Modbus Poll.

The screenshot shows the Modbus Poll interface. The main window displays a table with the following data:

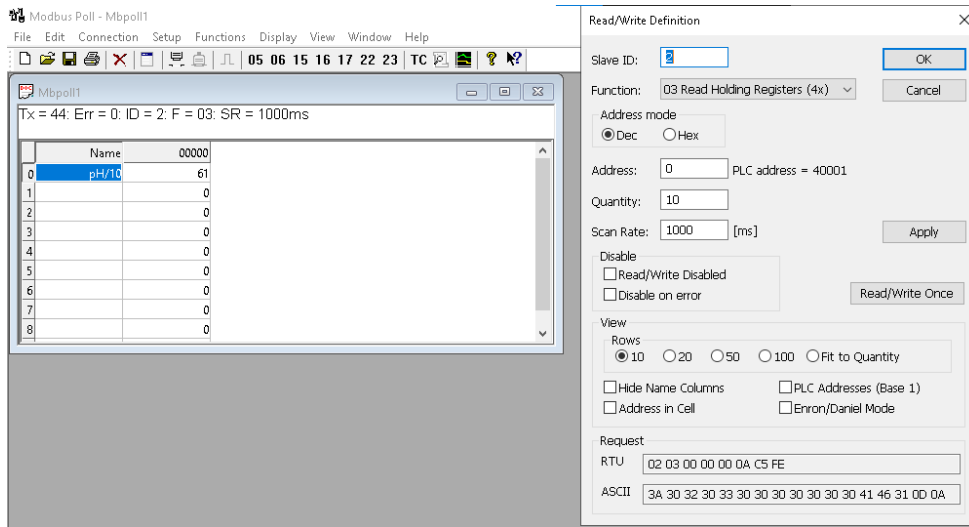
	Name	001E
1E	Nitrogeno	77
1F	Fosforo	105
20	Potasio	261

The status bar shows: Tx = 143; Err = 0; ID = 1; F = 03; SR = 1000ms.

The Read/Write Definition dialog box is open, showing the following configuration:

- Slave ID: 1
- Function: 03 Read Holding Registers (4x)
- Address mode: Hex
- Address: 1E (PLC address = 40031)
- Quantity: 3
- Scan Rate: 1000 [ms]
- Disable: Read/Write Disabled, Disable on error
- View: Rows Fit to Quantity
- Request: RTU: 01 03 00 1E 00 03 65 CD, ASCII: 3A 30 31 30 33 30 30 31 45 30 30 33 44 42 0D 0A

Figura 51. Visualización del sensor pH con Modbus Poll.



Estas imágenes son la base de unas pruebas realizadas para determinar el funcionamiento de los sensores de pH y NPK.

La figura 52 corresponde a capturas del programa que verifica los datos obtenidos por los sensores, esto es requerido para la verificación de las variables emitidas por cada aparato, solo así de logra obtener datos iniciales.

Figura 52. Programa visualizador sensor NPK.



CAPÍTULO V. PROPUESTAS

El presente proyecto, según se ha mencionado en los capítulos anteriores, está dirigido a la agricultura, precisamente a la medición y adquisición de datos de las variables agrícolas y transmitir las por radiofrecuencia para su uso por medio de la tecnología inalámbrica, de acuerdo con la necesidad del sector.

Se diseñó un prototipo experimental del sistema con la utilización de las tarjetas de desarrollo Arduino Mega y Galileo de Intel Gen 1, la cual se programó con el código necesario para recopilar la información de los sensores de humedad de suelo, pH, cantidad de minerales NPK y que se puedan transmitir con el módulo Xbee hacia el receptor y almacenar los datos.

Consta de dos módulos con sus respectivos circuitos, transmisor RF, con la respectiva redundancia por *WIFI* y el receptor RF, se utiliza el Internet para respaldar los datos de los sensores en la página Web creada, la cual es de uso gratuito.

Propuesta Técnica

Se realizan una serie de pruebas para verificar la transmisión de tramas y su recepción mediante el *software* y monitor seriales de las computadoras en donde los circuitos están conectados. En la figura 53 se puede observar el prototipo terminado.

Figura 53. Prototipo experimental ensamblado.



Figura 54. Captura tramas y datos recibidos.

XCTU Working Modes Tools Help

Radio Modules

- Name: COOR...ADOR
Function: ZIGBEE TH Reg
Port: COM6 ...N - AT
MAC: 0013A...B4734
- 1 remote modules
- Name: ROUTER
Function: Coul...vice
MAC: 0013...476C

COORDINADOR - 0013A20041CB4734

Tx Bytes: 3691
Rx Bytes: 19562

Console log

```
numeaa0 Suelo: 30% 43 01 0E 74 07 04 01 04 20 04 03 20 30  
6F 74 61 73 69 6F 3A 20 36 37 20 6D 67  
Cantidad de Nitrogeno: 20 mg/kg 2F 6B 67 0D 0A  
Cantidad de Fosforo: 27 mg/kg 4E 69 76 65 6C 20 70 48 3A 20 33 2E 30  
Cantidad de Potasio: 67 mg/kg 30 0D 0A  
Nivel pH: 3.00 48 75 6D 65 64 61 64 20 53 75 65 6C 6F  
Humedad Suelo: 30% 3A 20 33 30 25 0D 0A  
0D 0A
```

Send packets

Name	Data
------	------

Send a single packet

Send selected packet

Send sequence

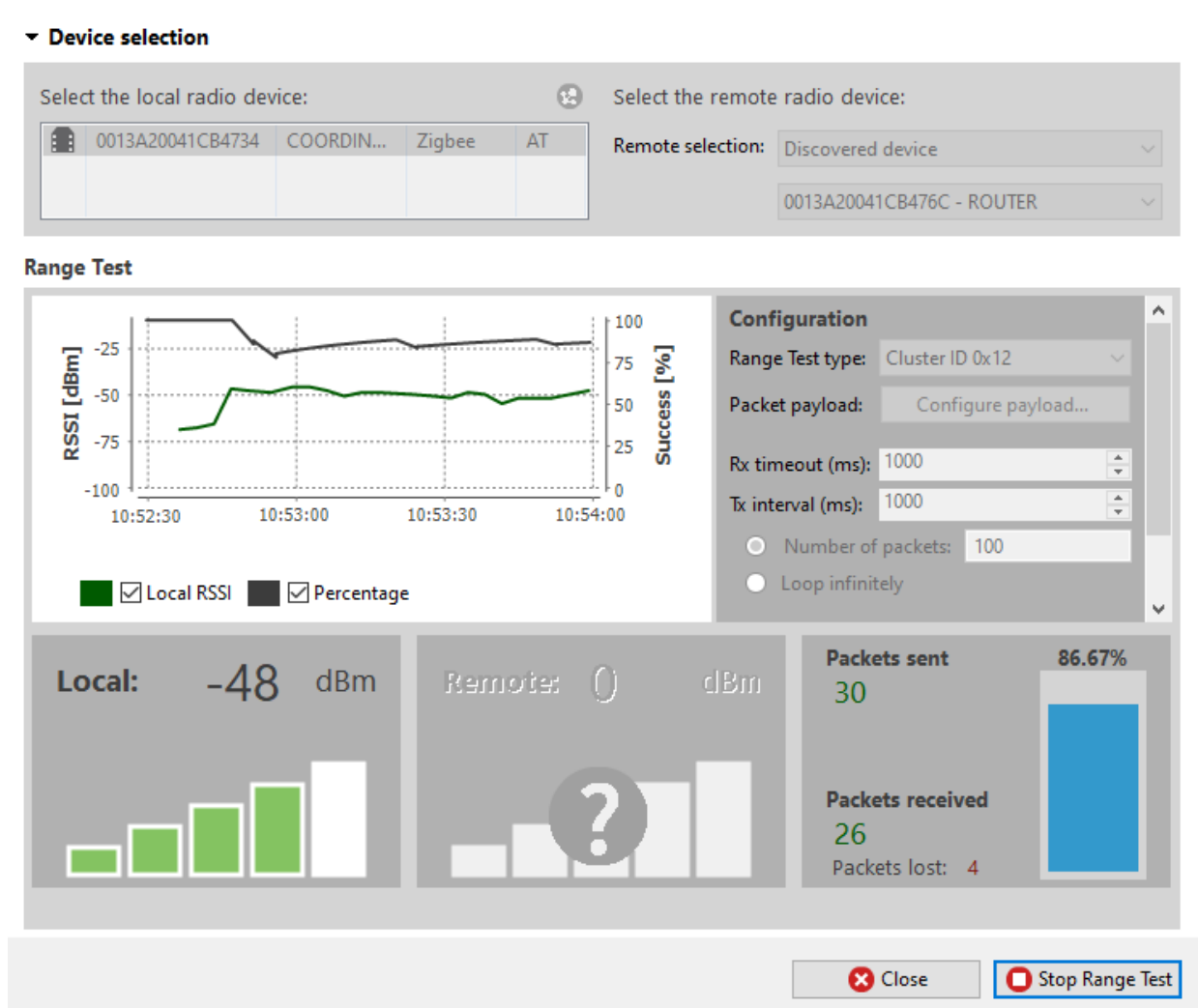
Transmit interval (ms): 500

Repeat times 1

Loop infinitely

En la figura 54 se muestra los datos de una serie de variables. Estos son datos que se pueden observar cuando se realiza una transmisión en los módulos Xbee mediante el software XCTU. Para este sistema se coloca en el segundo equipo y se puede observar la comunicación de las tramas en sistema hexadecimal o también de una manera que la lectura pueda entenderse. La validación de lo que se está transmitiendo y lo recibido es igual; por lo tanto, el sistema funciona perfectamente. La pantalla de visualización de las tramas se puede limpiar cada medio segundo para un dato más exacto y un monitoreo constante.

Figura 55. Gráfico de paquetes de la trama recibidos.

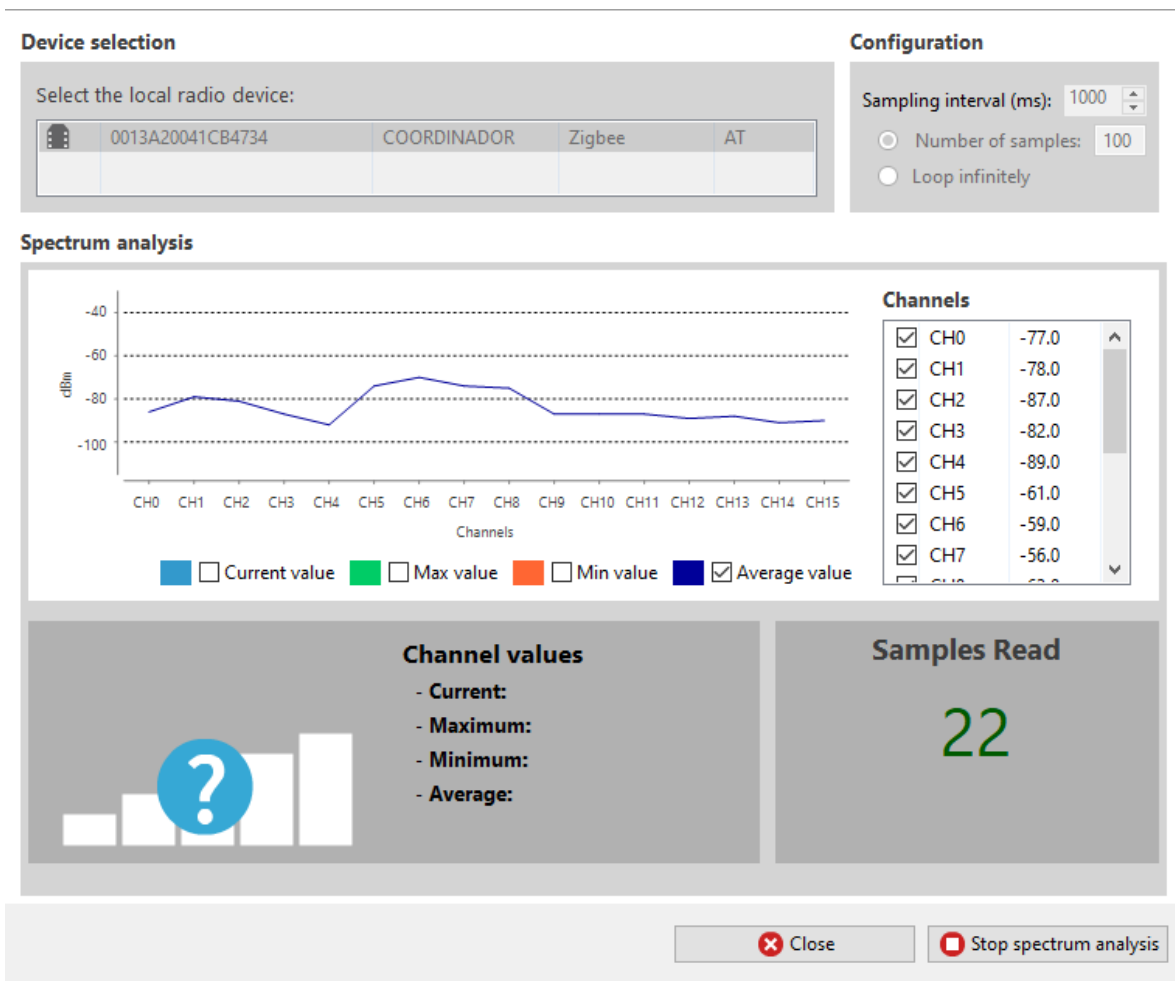


Esta herramienta es muy versátil y le permite probar el rango real de la radiofrecuencia y la calidad de enlace entre dos módulos de radio en la misma red, como

se puede observar en la figura 54, y antes de iniciar la sesión de prueba de alcance se debe seleccionar un dispositivo local y uno remoto, además de especificar la dirección del destino. En el caso de Agrocyber, está recibiendo el 86.,67% de las tramas enviadas desde el circuito transmisor.

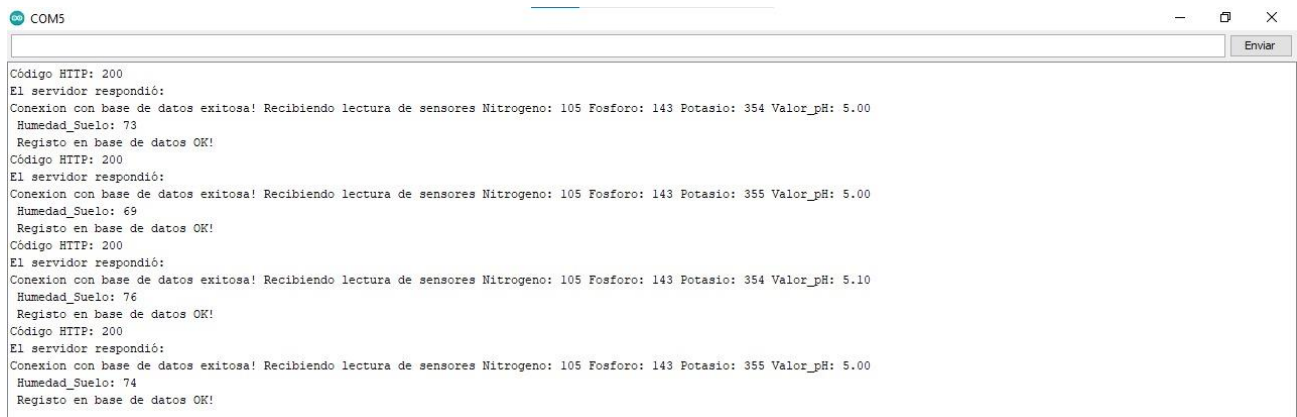
En la siguiente figura 56 se muestra como el *software* XCTU proyecta el análisis que le permite probar y medir el espectro de la banda de radio seleccionada. Este análisis informa el nivel de ruido de cada canal, indicando cuál es el mejor para el sistema, prueba veintidós lecturas de canal.

Figura 56. Gráfico del analizador de espectro.



En la figura 57 se muestra, por medio del puerto COM 5, la forma exitosa de la comunicación en la base de datos del servidor donde estarán guardándose los datos obtenidos.

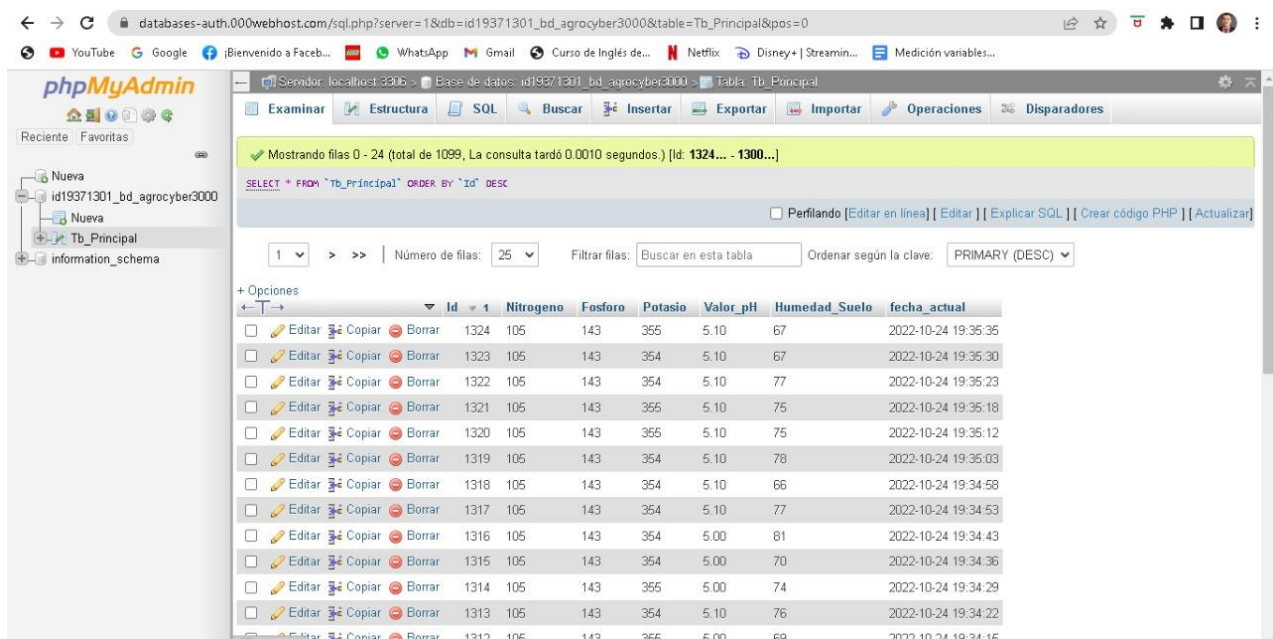
Figura 57. Comunicación con la base de datos.



```
COM5
Enviar
Código HTTP: 200
El servidor respondió:
Conexión con base de datos exitosa! Recibiendo lectura de sensores Nitrogeno: 105 Fosforo: 143 Potasio: 354 Valor_pH: 5.00
Humedad_Suelo: 73
Registro en base de datos OK!
Código HTTP: 200
El servidor respondió:
Conexión con base de datos exitosa! Recibiendo lectura de sensores Nitrogeno: 105 Fosforo: 143 Potasio: 355 Valor_pH: 5.00
Humedad_Suelo: 69
Registro en base de datos OK!
Código HTTP: 200
El servidor respondió:
Conexión con base de datos exitosa! Recibiendo lectura de sensores Nitrogeno: 105 Fosforo: 143 Potasio: 354 Valor_pH: 5.10
Humedad_Suelo: 76
Registro en base de datos OK!
Código HTTP: 200
El servidor respondió:
Conexión con base de datos exitosa! Recibiendo lectura de sensores Nitrogeno: 105 Fosforo: 143 Potasio: 355 Valor_pH: 5.00
Humedad_Suelo: 74
Registro en base de datos OK!
```

La figura 58 muestra la base de datos que registra los valores obtenidos desde el circuito que recibe directamente en la Web y hace un registro mediante un lapso, para este caso son cada siete segundos, mostrándose con fecha y hora exacta en que se toma la muestra.

Figura 58. Base de datos.



	Id	Nitrogeno	Fosforo	Potasio	Valor_pH	Humedad_Suelo	fecha_actual
<input type="checkbox"/>	1324	105	143	355	5.10	67	2022-10-24 19:35:35
<input type="checkbox"/>	1323	105	143	354	5.10	67	2022-10-24 19:35:30
<input type="checkbox"/>	1322	105	143	354	5.10	77	2022-10-24 19:35:23
<input type="checkbox"/>	1321	105	143	355	5.10	75	2022-10-24 19:35:18
<input type="checkbox"/>	1320	105	143	355	5.10	75	2022-10-24 19:35:12
<input type="checkbox"/>	1319	105	143	354	5.10	78	2022-10-24 19:35:03
<input type="checkbox"/>	1318	105	143	354	5.10	66	2022-10-24 19:34:58
<input type="checkbox"/>	1317	105	143	354	5.10	77	2022-10-24 19:34:53
<input type="checkbox"/>	1316	105	143	354	5.00	81	2022-10-24 19:34:43
<input type="checkbox"/>	1315	105	143	354	5.00	70	2022-10-24 19:34:36
<input type="checkbox"/>	1314	105	143	355	5.00	74	2022-10-24 19:34:29
<input type="checkbox"/>	1313	105	143	354	5.10	76	2022-10-24 19:34:22
<input type="checkbox"/>	1312	105	143	355	5.00	69	2022-10-24 19:34:15

También por medio del monitor serial se puede observar la trama y valores obtenidos de circuito y registrado por el protocolo RS485 mediante el puerto com3, tal como se puede observar en la figura 59.

Figura 59. Trama recibida por el Protocolo RS485.

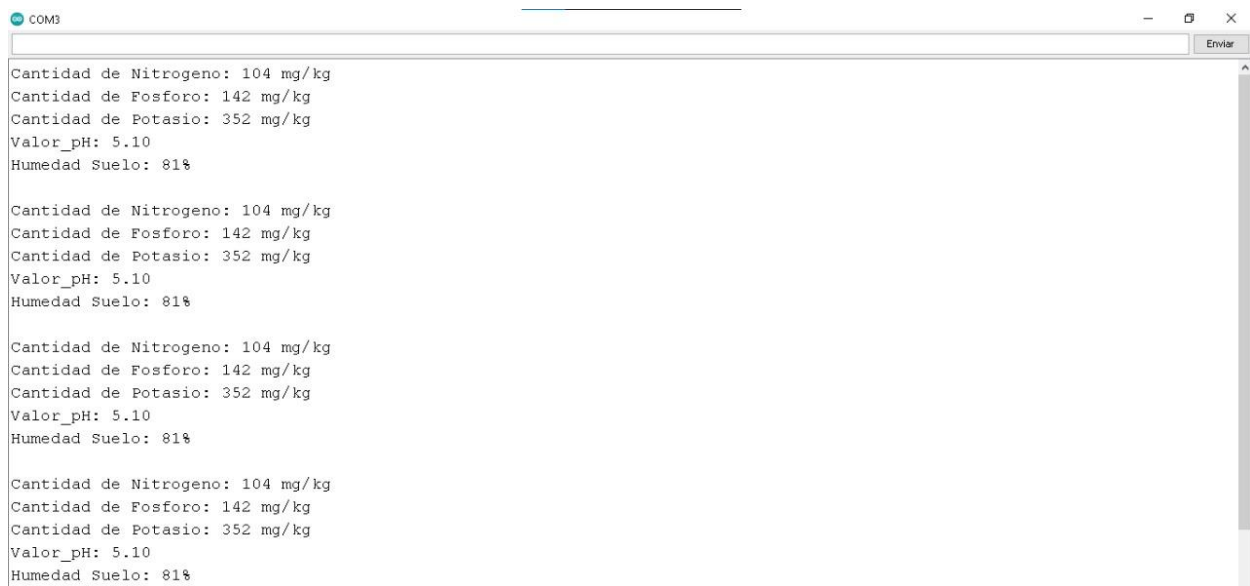


```
COM3
Humedad Suelo: 69%

RS485 Receiver/Slave Tx Enabled
RS485 Driver/Master Tx Enabled
RS485 Receiver/Slave Tx Enabled
Raw Request >>> {0x01, 0x03, 0x00, 0x1E, 0x00, 0x01, 0xE4, 0x0C}
Raw Response (7 bytes) <<< {0x01, 0x03, 0x02, 0x00, 0x6C, 0xB8, 0x69}
RS485 Driver/Master Tx Enabled
RS485 Receiver/Slave Tx Enabled
Raw Request >>> {0x01, 0x03, 0x00, 0x1F, 0x00, 0x01, 0xB5, 0xCC}
Raw Response (7 bytes) <<< {0x01, 0x03, 0x02, 0x00, 0x93, 0xF8, 0x29}
RS485 Driver/Master Tx Enabled
RS485 Receiver/Slave Tx Enabled
Raw Request >>> {0x01, 0x03, 0x00, 0x20, 0x00, 0x01, 0x85, 0xC0}
Raw Response (7 bytes) <<< {0x01, 0x03, 0x02, 0x01, 0x6D, 0x78, 0x39}
Cantidad de Nitrogeno: 108 mg/kg
Cantidad de Fosforo: 147 mg/kg
Cantidad de Potasio: 365 mg/kg
RS485 Receiver/Slave Tx Enabled
RS485 Driver/Master Tx Enabled
RS485 Receiver/Slave Tx Enabled
Raw Request >>> {0x02, 0x03, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0x84, 0x39}
Raw Response (7 bytes) <<< {0x02, 0x03, 0x02, 0x00, 0x34, 0xFD, 0x93}
Valor_pH: 5.20
Humedad Suelo: 69%
```

En la figura 60 se observan los datos requeridos en este proyecto mediante el monitor serial para el circuito transmisor, en donde muestran los valores de Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Valor de pH y la humedad de suelo.

Figura 60. Monitor serial del transmisor.



```
COM3
Cantidad de Nitrogeno: 104 mg/kg
Cantidad de Fosforo: 142 mg/kg
Cantidad de Potasio: 352 mg/kg
Valor_pH: 5.10
Humedad Suelo: 81%

Cantidad de Nitrogeno: 104 mg/kg
Cantidad de Fosforo: 142 mg/kg
Cantidad de Potasio: 352 mg/kg
Valor_pH: 5.10
Humedad Suelo: 81%

Cantidad de Nitrogeno: 104 mg/kg
Cantidad de Fosforo: 142 mg/kg
Cantidad de Potasio: 352 mg/kg
Valor_pH: 5.10
Humedad Suelo: 81%

Cantidad de Nitrogeno: 104 mg/kg
Cantidad de Fosforo: 142 mg/kg
Cantidad de Potasio: 352 mg/kg
Valor_pH: 5.10
Humedad Suelo: 81%
```

En esta figura 61 se puede observar lo transmitido por el circuito mediante el monitor serial para la redundancia y muestra cómo la base de datos recibe la información correctamente.

Figura 61. Monitor serial redundancia.



```
COM5
Código HTTP: 200
El servidor respondió:
Conexion con base de datos exitosa! Recibiendo lectura de sensores Nitrogeno: 104 Fosforo: 142 Potasio: 352 Valor_pH: 5.10
Humedad_Suelo: 77
Registro en base de datos OK!
Código HTTP: 200
El servidor respondió:
Conexion con base de datos exitosa! Recibiendo lectura de sensores Nitrogeno: 104 Fosforo: 142 Potasio: 352 Valor_pH: 5.10
Humedad_Suelo: 74
Registro en base de datos OK!
Código HTTP: 200
El servidor respondió:
Conexion con base de datos exitosa! Recibiendo lectura de sensores Nitrogeno: 104 Fosforo: 142 Potasio: 352 Valor_pH: 5.10
Humedad_Suelo: 66
Registro en base de datos OK!
```

En la figura anterior se muestran los datos obtenidos mediante el circuito redundante de otro proveedor de Internet en la base de datos por medio del monitor serial y se logra ver la respuesta de otro servidor.

El sistema Agrocyber permitirá al agricultor leer las variables mediante la interfaz gráfica descrita anteriormente. A la vez, se podrán visualizar los datos por un historial en la base de datos, ya sea por los administradores, dueños de finca o profesional que así lo desee cuando sea necesario.

Propuesta Económica

Para realizar un estudio de suelo en la finca del señor Alvarado se necesita contratar un ingeniero agrónomo, lo cual tiene un costo de ₡25.500 por hora (La Gaceta, 2019), más viáticos; dependiendo de la lejanía, estos gastos podrían aumentar. Además, las muestras de tierra se deben llevar al laboratorio de la UCR para que dicha muestra sea analizada, lo cual tiene un costo de ₡63.700 por compuesto y por análisis, de acuerdo con el Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica, tal como se enunció en la justificación de este proyecto.

Estos estudios se realizan cada cierto tiempo, en el caso de la finca del señor Alvarado se efectúan cada seis meses dependiendo del cultivo, ya que hay siembras que ameritan realizar los análisis con más frecuencia. El análisis total ronda los ₡90.000, dependiendo del área. En la tabla 25 es posible observar las comparaciones,

considerando que adquirir el sistema sería rentable para cualquier agricultor que realiza análisis en su finca.

Tabla 25. Comparación Laboratorio - Agrocyber 3000.

	Estudio Laboratorio	Agrocyber 3000
Terreno medido	1.000 m ²	1.000m ²
Cantidad de muestras por estudio	4	Indefinido
Resultados	5 días	Cada 7 segundos
Valor de un estudio	₪90.000 aprox.	₪437.393,79
Cantidad de estudios en finca 7000 m ²	7	Indefinido
Duración de la muestra	10 a 15 días	Inmediato
Valor total	₪630.000	₪437.393,79

La tabla 25 muestra la comparación entre lo que debe hacer un agricultor en su finca cada seis meses con un sistema al cual puede acceder cuando él lo desee.

Para analizar la tabla más a fondo, se debe empezar con un estudio de laboratorio, donde un ingeniero agrónomo, por un estudio en un rango de 1.000 metros cuadrados, toma cuatro muestras por un valor de ₪90.000. Los resultados los obtiene cinco días después como mínimo. Si lo anterior se magnifica a finca de 7.000 metros cuadrados, tendría que invertir un poco más de ₪600.000.

Ahora, si un agricultor adquiere el sistema Agrocyber 3000, que tiene un valor de ₪437.393,79, puede realizar las pruebas que considere necesarias en el mismo perímetro descrito anteriormente.

También se toma en cuenta que puede ampliar las muestras tanto como lo necesite en terreno por un largo periodo y si lo deseará, lo podría adquirir conjuntamente con otros agricultores y su precio bajaría.

Si se compara matemáticamente se podría decir que cada seis meses, un estudio en laboratorio tiene un costo de ₪90 aproximadamente el metro cuadrado y su tendencia podría subir durante el año, mientras con la misma cantidad de muestras, el Agrocyber tiene un valor de ₪62,48 en el mismo periodo, pero por cada muestra tomada su valor

bajaría exponencialmente hasta llegar a casi cero colones por metro cuadrado desde su valor inicial.

Además, el sistema Agrocyber 3000 ofrece al agricultor un monitoreo constante las 24 horas del día, almacenando la información en una base de datos para ser analizada en tiempo real, o consultarla posteriormente desde cualquier lugar del mundo, ya que es por medio de la página Web, con la opción de mover el circuito transmisor hasta un máximo de 1.200 metros de distancia del receptor. También, con la utilización de baterías en el circuito receptor se puede abarcar más distancia, lo que proporciona al usuario abarcar más terreno en comparación con un análisis de suelo que se hace en un área específica.

El sistema estará instalado permanentemente y tiene una vida útil de cuatro años, tanto en los circuitos transmisores y receptor como en los sensores, los cuales se pueden reemplazar por otros cuando se dañen y el sistema sigue funcionando. Aparte, se ofrece una garantía de un año por defectos de fábrica en todo el sistema.

Para el presente proyecto se realizó un estudio para conocer la rentabilidad del proyecto, en donde se toma en cuenta el requerimiento de los componentes utilizados para ensamblar el sistema, según se puede apreciar en la tabla 26.

Tabla 26. *Requerimiento de componentes.*

Componentes	Precio Unitario	Unidades Requeridas	Total
Placas	¢41.540,00	2	¢83.080,00
Xbee X2C	¢33.616,34	2	¢67.232,68
Xbee Xplorer USB	¢4.757,10	2	¢9.514,20
Xbee Shield	¢22.19,98	2	¢4.439,96
Antenas <i>WIFI</i>	¢1.902,84	2	¢3.805,68
Sensor humedad de suelo	¢4.439,96	1	¢4.439,96
Sensor de minerales NPK	¢42.496,76	1	¢42.496,76
Sensor pH de suelo	¢24.102,64	1	¢24.102,64
Modulo max 485	¢2.315,12	1	¢2.315,12
NodeMCU esp 8266	¢1.750,00	1	¢1.750

Componentes	Precio Unitario	Unidades Requeridas	Total
Adaptador RS485 a USB	₡6.342,80	2	₡12.685,60
Placa PCB	₡12.685,60	1	₡12.685,60
Soldadura	₡40.270,00	1	₡4.070,00
Caja waterproof	₡15.857,00	1	₡15.857,00
Total			₡
Total Anual			₡278.062,40

También se contempla el requerimiento de personal para llevar a cabo las labores técnicas. Se considera un ingeniero electrónico, cuyo salario según el Ministerio de Trabajo, rigiendo desde julio del 2022 como bachiller universitario, es de ₡587.908,98; lo anterior equiparado a horas mensuales es de ₡3.062,03 la hora. Él estará encargado de realizar el ensamblaje de los dispositivos electrónicos del proyecto y la programación de la interfaz gráfica, la remuneración se puede apreciar en la tabla 27.

Tabla 27. Requerimiento de personal.

Requerimientos de personal			
Puesto	Horas	Salario	Total
Ingeniero electrónico	10	₡3.062,03	₡30.620,3
Técnico TI	10	₡1.531,015	
Total			₡30.602,3
Total Anual			₡
Total Costo Salarial			₡45.933,15

Tabla 28. Niveles de ingresos.

Venta sistema			
Precio	Cantidad	Ingreso/ Mensual	Ingreso/ Anual
€437.393,79	10	€437.393,79	€4.373.937,90
Participación			
	Ingreso Anual	Ingreso Porcentual	
Venta sistema	€4.373.937,90	100,00%	
Total	€4.373.937,90	100,00%	

En la tabla 29 se aprecia el flujo de caja proyectado a cinco años, en donde se puede apreciar un TIR y un VAN alto.

Tabla 29. Flujo de caja proyectado.

Agrociber 3000						
Flujo de Caja Proyectado						
Para un Periodo de 5 años						
Cuenta	Inicio	1	2	3	4	5
Capital de Trabajo			€112.485,74	€126.892,59	€142.765,22	€160.216,36
Ingresos:						
Venta de Productos:						
Venta sistema		€437.393,79	€481.133,17	€529.246,49	€582.171,13	€640.388,25
Alquiler del sistema		€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00
Preventa sin adquisición		€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00
Total Ingresos Líquidos		€437.393,79	€481.133,17	€529.246,49	€582.171,13	€640.388,25
Capital Líquido		€437.393,79	€593.618,91	€656.139,08	€724.936,35	€800.604,61
Egresos:						

Operativos:						
Requerimientos Materiales		€278 062,40	€299 973,72	€323 611,65	€349 112,24	€376 622,29
Servicios Básicos		€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00
Ingresos		€912,50	€984,41	€1 061,98	€1 145,66	€1 235,94
Total Egresos operativos		€278 974,90	€300 958,12	€324 673,62	€350 257,90	€377 858,23
Administrativos:						
Salarios		€45 933,15	€53 282,45	€61 807,65	€71 696,87	€83 168,37
Total Egresos Administrativos		€45 933,15	€53 282,45	€61 807,65	€71 696,87	€83 168,37
Financieros						
Impuestos Municipales		€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00
Total Egresos Financieros		€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00
Total Egresos		€324 908,05	€354 240,58	€386 481,27	€421 954,77	€461 026,60
Flujo de Caja Neto	-€323 995,55	€112 485,74	€126 892,59	€142 765,22	€160 216,36	€179 361,65
Valor Actual Neto	€568 051,29					
Tasa Interna de Retorno	31%					

Tabla 30. Estimadores.

Estimadores	
Inflación	7.88% lineal
Aumento Ingresos	20% lineal
Aumento Salarial	16% lineal
IPC	27% lineal
IPC	15,77% interanual

Tabla 31. Relación costo-beneficio.

Costos					
Detalle	1	2	3	4	5
Insumos	¢278 974,90	¢300 958,12	¢324 673,62	¢350 257,90	¢377 858,23
Salarios	¢45 933,15	¢53 282,45	¢61 807,65	¢71 696,87	¢83 168,37
Servicios Básicos	¢0,00	¢0,00	¢0,00	¢0,00	¢0,00
Depreciación	¢0,00	¢0,00	¢0,00	¢0,00	¢0,00
Total costos	¢324 908,05	¢354 240,58	¢386 481,27	¢421 954,77	¢461 026,60
Ingresos					
Detalle	1	2	3	4	5
Venta sistema	¢437 393,79	¢481 133,17	¢529 246,49	¢582 171,13	¢640 388,25
Alquiler del sistema	¢0,00	¢0,00	¢0,00	¢0,00	¢0,00
Preventa sin adquisición	¢0,00	¢0,00	¢0,00	¢0,00	¢0,00
Total Beneficio	¢437 393,79	¢481 133,17	¢529 246,49	¢582 171,13	¢640 388,25
RELACIÓN COSTO-BENEFICIO	34,62%	35,82%	36,94%	37,97%	38,90%

Dichos análisis se hacen tomando en cuenta que por cada año se fabrican diez dispositivos, aumentando por cada año el 20% manufacturado.

En los gráficos 62, 63, 64, 65, se aprecia la comparación entre los niveles de costo y los beneficios, en donde representan una buena utilidad.

Figura 62. Gráfico nivel de costo.

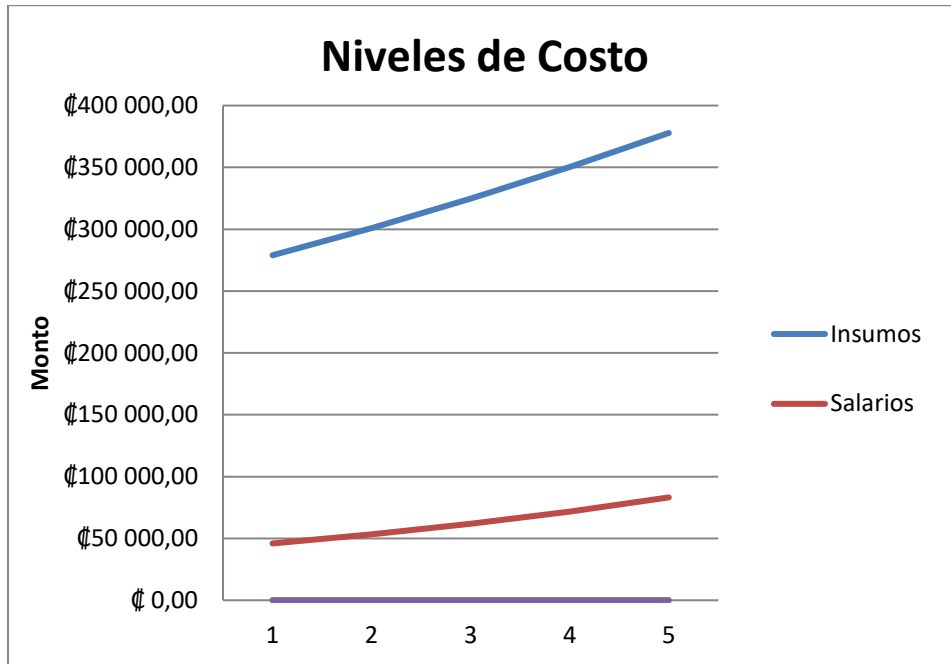


Figura 63. Gráfico niveles de beneficio.

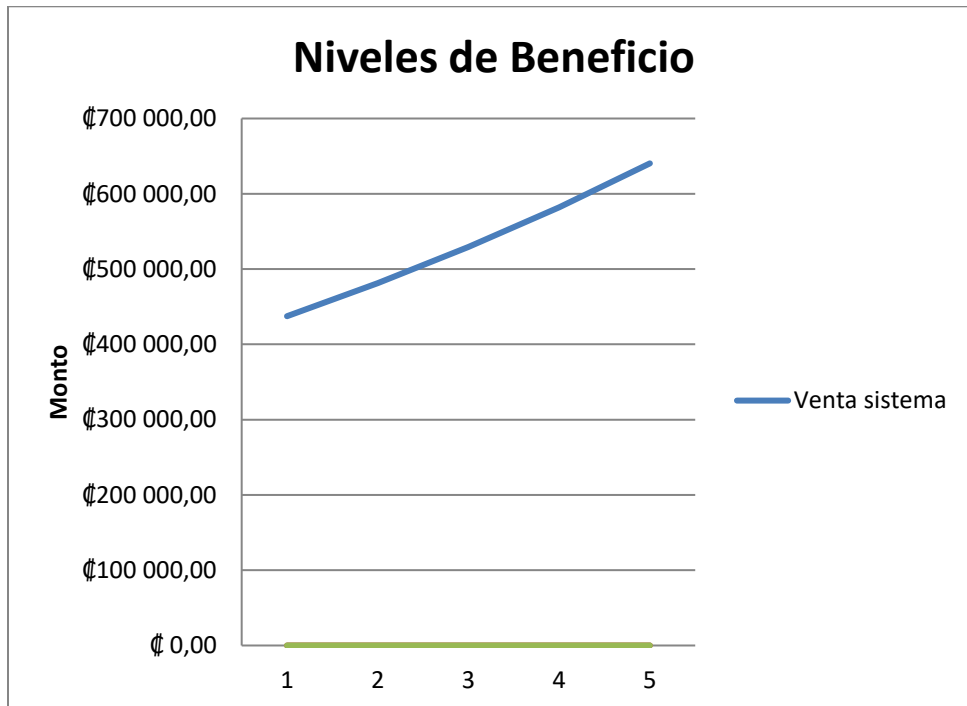


Figura 64. Gráfico comparación costos y beneficios.

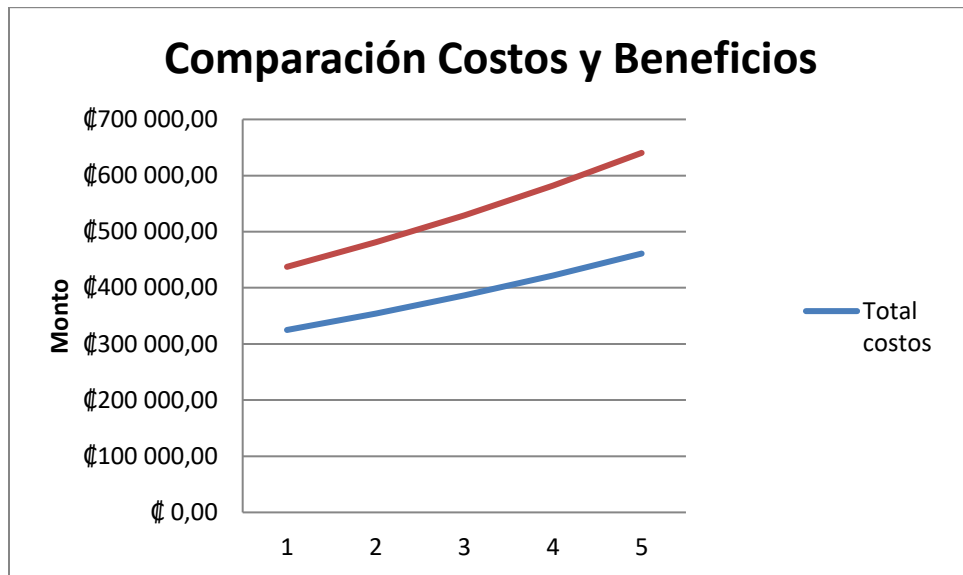
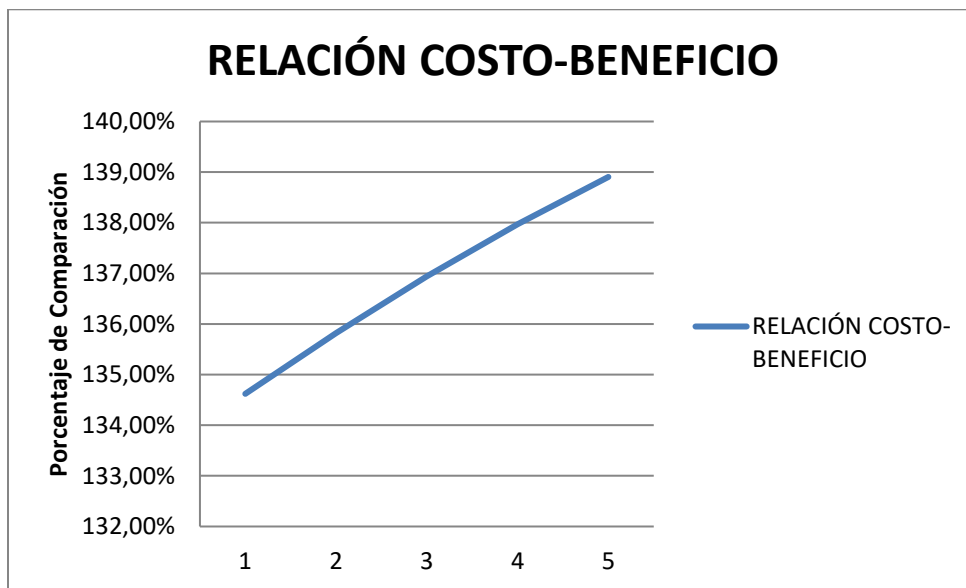


Figura 65. Gráfico relación costo-beneficio



Propuesta de Implementación

El establecer un negocio en los últimos años ha sido complicado no solo por burocracia con respecto al papeleo y permisos, sino también porque cada vez hay más competencia, pero con profesionalismo y las técnicas adecuadas se puede superar estas adversidades.

Para el proyecto llamado Agrocyber 3000 se empezó con un estudio de mercado que es el pilar en una organización de negocio; a su vez, tiene tres pilares esenciales como es la oferta, la demanda y su ambiente que lo rodea. Una parte del estudio se da al inicio de este trabajo en la delimitación del problema en donde se describe que el proyecto va destinado a medianos y pequeños agricultores, pero en un futuro no se delimitará a ese mercado y se proyectará a grandes agricultores, además de empresas para su posible comercialización.

Cuando se realizan los cuestionarios a diferentes agricultores de la zona de Occidente es donde se comienza el estudio y, como se comentó en la tabla número 8, gran parte de la población agrícola desconoce el uso de las tecnologías para agricultura, recordando que, aunque saben que existen mecanismos, no disponen del recurso. Planteada dicha conclusión se puede incursionar en un mercado que, para un país como Costa Rica, es un gran avance debido a que los recursos son limitados en pequeños y medianos agricultores.

Cuando se realiza un estudio de mercado se tiene que hacer primeramente un análisis FODA. Según David Sánchez Huerta (2020), el análisis FODA, también conocido como SWOT por sus siglas en inglés, fue inventado por Albert S. Humphrey en la Universidad de Stanford de los Estados Unidos en la década de 1960. El significado de sus siglas en español es: F de fortalezas, O de oportunidades, D de debilidades y A de amenazas.

Durante el proyecto se pudo analizar toda esta metodología. Una de las fortalezas es la razón económica, ya que su viabilidad se concentra en que es muy accesible por su valor comparado con algo similar en el extranjero y descrito en la parte inicial del documento.

Las oportunidades de introducirlo en el mercado se dieron gracias al señor Warner Alvarado, quien deseaba dar un paso adelante en nuevas tecnologías y probarlo en su finca. Su debilidad, como tal, es que aún está en desarrollo y carece de algunos ajustes. La amenaza es la introducción al mercado nacional de alguna tecnología similar, pero aun así sería difícil de competir para cualquier empresa, ya que el proyecto está realizado para un bajo costo y accesibilidad.

Una vez vistas estas características y probado en la finca de don Warner Alvarado, conjuntamente con el ingeniero que ve el terreno, se podría probar en otras fincas aledañas para iniciar una buena práctica de cosecha.

En Costa Rica, los agricultores que podrían manejar diseños similares lo pueden aplicar en viveros automatizados de grandes costos, de acuerdo con el costo de sensores y cableado utilizado, pero no para cultivos externos que, de acuerdo con esta investigación al inicio del año 2022, no se encontraban productos parecidos a esta propuesta en el mercado nacional.

En la siguiente tabla 32 se muestran las diferentes etapas del proyecto para su ejecución.

Tabla 32. *Agenda de venta del equipo.*

Actividades	ene-23				feb-23				mar-23			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
1. Se realiza la orden de pedido.												
2. Primera visita al campo, futura implementación.												
3. Compra de componentes												
4. Llegada de componentes, verificación												
5. Armado de chasis e implementación de componentes.												
6. Programación y verificación del sistema.												
7. Pruebas segunda visita												
8. Tercera visita, implementación definitiva.												

Para desarrollar las diferentes etapas del proyecto se toma en cuenta las experiencias obtenidas en antiguos trabajos de telecomunicaciones. Además, se explica las fases de implementación del sistema.

1. La etapa de orden de pedido es cuando se solicita el proyecto por parte de los clientes para una futura implementación del sistema.

2. También, casi simultáneamente, se debe realizar una visita al campo donde se requiere colocar el sistema para desarrollar el proyecto por parte del agricultor y ver las variables solicitadas e impedimentos que pudieran suceder.
3. Asimismo, ya fuera del campo se procede a la firma de contratos y diferentes papeleos para la compra de componentes necesarios.
4. Una vez pasado el tiempo prudente de tres semanas en llegar los componentes, se procede a verificar que los componentes estén en buen estado, si alguno estuviera descompuesto o con alguna imperfección, se tiene un *stock* mínimo en bodega para casos fortuitos y proseguir con su desarrollo, pero siempre garantizando el estado nuevo al cliente.
5. Continuamente se procede al armado del proyecto, el cual consta también de tres semanas y logra un funcionamiento óptimo del sistema.
6. Posteriormente se realiza la implementación del *software* y pruebas finales de laboratorio.
7. Se realiza una segunda visita para realizar algunas pruebas de comunicación en el campo y lugar final de la colocación del *hardware* en la finca.
8. En esta última fase es la colocación y entrega del proyecto al cliente.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se conoce las necesidades agrícolas de pequeños y medianos productores con los requerimientos de calidad en el uso de suelo. Claramente se demuestran valores en ph y en humedad, esto representa -sino se trabaja- un riesgo para el productor, porque estas prácticas de chequeo previo a la siembra son pocas veces ejecutadas y hay gran riesgo en la inversión si el terreno no cuenta con las condiciones necesarias.
- Las variables de la finca de Warner Alvarado permitieron darle el enfoque al AgroCyber3000 debido a que los cultivos presentan deficiencias en la cantidad de Nitrógeno, Fósforo y Potasio; además de un clima que varía constantemente por su ubicación geográfica, ya que se encuentra cerca del pacífico; de ahí la necesidad de conocer la humedad de suelo constantemente.
- Se determinó que el microcontrolador Arduino Mega era el más idóneo por las características de fiabilidad, rapidez, robustecida, ya que los demás tenían problemas en la cantidad de salidas de los puertos seriales. Por ende, no se podía conectar un circuito redundante y si falla un proveedor de Internet, el sistema quedaba sin comunicación.
- La tarjeta Galileo Intel es el dispositivo que se ajusta a la recepción de información por parte de la sección que transmite, esto es gracias a su capacidad de procesamiento de información y lectura gráfica.
- Se desarrolla en un lenguaje basado en C++ compatible con la placa Galileo y una tecnología Arduino capaz de leer varios sensores y transmitirlos mediante radiofrecuencia.
- Se desarrolla la validación del circuito desde la simulación en interfaz gráfica gracias al *software Radio Mobile*, puestas en marcha en sitio, revisando la velocidad de transmisión de datos a 9600 baudio/segundo para que su funcionalidad sea óptima y asociando así las funciones de recibir, transmitir y

circuito de redundancia, obteniendo gracias al diseño ingenieril propuesto excelentes resultados que responden al objetivo central del presente estudio.

- La cantidad de puertos seriales en el circuito transmisor debe ser mínimo de tres para lograr recibir, transmitir y colocar el circuito de redundancia con una base de datos.
- Se realiza un análisis económico de la propuesta, tomando en cuenta los costos de fabricación y operatividad, con base en los costos actuales, arrojando una diferencia de costo beneficio del 56,64% a los cinco años, lo que provoca un valor de tasa interna de retorno de hasta 41%, lo cual lo convierte en un proyecto factible según establece el parámetro del Mideplan (Ministerio de Planificación), que es del 8%.
- Se realiza una propuesta de mercadeo de vender por año un lote diez unidades, con un aumento del 20% anual sobre lo manufacturado, lo cual representa todo un estudio organizacional que genera escalabilidad y una trazabilidad para apoyar al agricultor.

Recomendaciones

- Se recomienda usar placas con alto rendimiento de procesamiento debido a las posibles dificultades ambientales siempre referente al prototipo.
- Se deben cambiar los sensores cada tres años debido a la pérdida de sensibilidad.
- El dispositivo es amigable con las personas con rezago tecnológico, pero se debe mejorar la interfaz en el tamaño de letra.
- Se deben usar módulos expandibles para aumentar la cantidad de valores a censar, como Boro y otros componentes inertes.
- La base de datos hay que refrescarla cada cierto tiempo debido que podría saturarse y no estar guardando los datos.

- Se recomienda hacer mediciones -dependiendo del área del terreno- cada cierto radio, conforme a las variables cambiantes presentadas en cada sección de la finca.
- Ser vigilante de la autonomía eléctrica del dispositivo, de modo que a ciertas cantidades de prueba requiera recarga energética.

REFERENCIAS

- Agricultural and Biological Engineering, Servicio de Extensión Cooperativa de la Florida, Instituto de Alimentos y Ciencias Agrícolas. *AE496*. Universidad de la Florida. <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/AE/AE49600.pdf>
- Aguilar. (14 de octubre de 2020). *La Humedad del Suelo en la Agricultura*. Proain Tecnología Agrícola. <https://proain.com>
- Anónimo. (2012). Antena Yagui Uda. <http://antenasulat2012.blogspot.com>
- Anonimo. (2012). *Notas del producto de 4RF Ventajas de la transmisión menos de 3 GHz*. Aprisa XE Technical Paper. <https://www.4rf.com>
- Anónimo. (2018). *Acidez del Suelo - CIMMYT Agricultura de Conservación*. International Plant Nutrition Institute. [Archivo PDF]. https://nanopdf.com/download/acidez-del-suelo-cimmyt-agricultura-de-conservacion_pdf
- Anónimo. (2018). *Metodología de construcción de los ss*. [Archivo PDF]. https://nanopdf.com/download/metodologia-de-construccion-de-los-ss_pdf
- Anthura (2018). *La influencia del pH en el cultivo*. <https://www.anthura.nl> B. Stroustrup. (2001). *El Lenguaje de Programación C++*. Editor Pearson Educación.
- Banco Central de Costa Rica. *Tipo de cambio peso mexicano*. <http://www.bccr>.
- Bolaños, O. *Ministerio de Agricultura y Ganadería*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-1329.pdf>.
- Ceballos, F. J. (1999). *Visual Basic Curso de Programación*. (2ª ed). Editorial ra-ma.
- Ceballos, F. J. (2006). *Java 2 Lenguajes y Aplicaciones*. Editorial ra-ma.
- Decreto n.º 37736-MAG. Fijación del monto mínimo de la hora profesional de los miembros del Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica y su metodología de actualización. 30 de mayo del 2013. Publicada en *La Gaceta Oficial No.138*, del 18 de julio del 2013. Costa Rica.

Elpais.cr (15 mayo de 2020). *Gobierno de Costa Rica impulsa programa de alta tecnología para sector agroproductivo*. Elpais.cr. <https://www.elpais.cr/2020/05/15/gobierno-de-costa-rica-impulsa-programa-de-alta-tecnologia-para-sector-agroproductivo/>.

G. Quesada (2019). *Legislación y espectro radioeléctrico en Costa Rica*. <https://medium.com/espectro-radioel%C3%A9ctrico-y-legislaci%C3%B3n-en-costa/legislaci%C3%B3n-y-espectro-radioel%C3%A9ctrico-en-costa-rica-131a9d767a43>

Gavande S. (1973). *Física de suelos: Principios y aplicaciones*. México D. F., México: Limusa–Wiley, S. A.

Gómez, M. (2006) *Introducción a la Metodología de la Investigación Científica*. (1a ed.). Córdoba, Rep. Argentina: Editorial Brujas.

Hambley, A. R. (2001). *Electrónica*. (2a ed). Prentice Hall.

<https://es.aliexpress.com/item/1005001524845572.html>

<https://www.broadcasetec.com/product/vhf-corner-reflector-antenna-380-530mhz/>

<https://consumer.huawei.com/ae-en/routers/e5785/>

<https://consumer.huawei.com/nz/support/routers/b315s-608/>

<https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/AE/AE49600.pdf>

[https://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=135&_fotometro_para_el_analisis_de_nutrientes_en_suelo_hi_83325_\(230v\)_tienda_on_line](https://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=135&_fotometro_para_el_analisis_de_nutrientes_en_suelo_hi_83325_(230v)_tienda_on_line)

<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet.pdf/view/1148030/ESPRESSIF/ESP8266EX.html>

https://sutel.go.cr/sites/default/files/normativas/pnaf_con_reformacr033_25-02-2016_ft.pdf

https://www.amazon.com/-/es/Sensor-resistente-corrosi%C3%B3n-anal%C3%B3gica-autom%C3%A1tico/dp/B076DDWDJK/ref=sr_1_22?__mk_es_US=%C3%85M%

C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=heavy+duty+soil+mois-
ture+sensor%2C+ice+station+humidity+detector&qid=1634352898&sr=8-22

<http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Curso%20Fertilizaci%C3%B3n%20Foliar.pdf>.

<https://www.intel.la/content/www/xl/es/support/articles/000005912/boards-and-kits/intel-galileo-boards.html>

<https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560>

<https://www.yaesta.com/b0799bxmvj-gaohou-ph0-14-sensor-de-deteccion-de-valor-sonda-de-electrodo-ph-bnc-para-arduino/p>

https://www.digi.com/resources/documentation/Digidocs/90000991/reference/r_antennas_xb_fcc.htm

[https://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=135&_fotometro_para_el_analisis_de_nutrientes_en_suelo_hi_83325_\(230v\)_tienda_on_line](https://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=135&_fotometro_para_el_analisis_de_nutrientes_en_suelo_hi_83325_(230v)_tienda_on_line)

<http://www.mag.go.cr/regiones/centraloccidental/Analisis%20del%20contexto%20regional.pdf>

<https://www.meteolobios.es/lluvia.htm>

<http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/libros/Acidez%20y%20encalado%20de%20suelos,%20libro%20por%20J%20Espinosa%20y%20E%20Molina.pdf>

<http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Suelos/SUELOS-AMINOGROWanalisisinterpretacion.pdf>

<https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-acidos/es/>

<https://xbee.cl/xbee-zb-s2c-th/>

J. Huidobro. (2013). Acta. Antenas de Telecomunicaciones. *Revista digital de ACTA*.
https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/020001.pdf.

- J. Lozada. (2014). Dialnet: Investigación Aplicada Definición, propiedad intelectual e industrial. *Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamericana*. 1(3), 47-50.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>
- Kass, D. 1996. *Fertilidad de Suelos*. San José, Costa Rica: Editorial EUNED.
- M. Kluepfel y B. Lippert. (2012). Home and Garden Information Center (HGIC). *Cambiando el PH del Suelo*. <https://hgic.clemson.edu/factsheet/cambiando-el-ph-del-suelo>
- Metergroup (2021). *Registradores de datos heredados*. <https://www.metergroup.com>.
- Molina, E. y Meléndez, G. (2002). *Tabla de interpretación de análisis de suelos*. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica: Mimeo.
- Mora, S. (2021). *Indicadores Macroeconómicos*. <https://www.sepsa.go.cr>.
- Muñoz Carpena, R., Y. Li y T. Olczyk. 2002. *Alternativas para dispositivos de bajo costo para monitorear la humedad del suelo para la producción de vegetales en el área agrícola del sur del condado de Miami-Dade. Hoja Informativa ABE 333*, Ampliación UF/IFAS, 6 p.
- N. Covarrubias (2022). *Syscom*. <https://soporte.syscom.mx/es/articulos/1455193-que-es-la-zona-de-fresnel>
- N. Osorio. (2012). *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*. Volumen n.º 1. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
<https://www.bioedafologia.com>.
- Netec. (2 de julio de 2019). *¿Cuáles son las ventajas de Java y sus usos?*
<https://www.netec.com/>
- Nutricontrol (2020). *La humedad relativa en invernaderos*. <https://nutricontrol.com>.

Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. (20 de septiembre de 2021). *La FAO y el CIRAD se unen para promover la producción sostenible de frutas y verduras*. <http://www.fao.org/news/story/es/item/1440068/icode/>.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Los Fertilizantes y su Uso*. [Archivo PDF]. <https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>.

Porta, J., López, M. y Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa, 928-929.

Proain Tecnología Agrícola (2021). <https://proain.com>.

Rodríguez, T. E, Hernández, R. y Matoses, M. (marzo de 2016). *Propuesta de Antena de Reflector Esquinado para la Recepción de Televisión Digital*. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/312039696>

Ruíz, J. I. (2012). *Metodología de la Investigación Cualitativa*. Universidad de Deusto.

Sánchez, D. (2020). *Análisis FODA o DAFO*. Bubok publishing S.L. <https://play.google.com>

Spectrum Technologies, Inc. (2021). *Medidores portátiles*. <https://www.specmeters.com>.

Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. (4a ed). Prentice Hall.

Torran, E. (2007). *Impacto de las plantaciones de Eucalyptus grandis sobre el contenido de humedad del suelo*. Tesis de maestría, Universidad Tecnológica Nacional, Concepción del Uruguay, 112-113.

Universidad de Costa Rica. Centro de Investigaciones Agronómicas. Laboratorio de Suelos y Foliare. *Precios de Ensayos*. [Archivo PDF] Recuperado el 4 de octubre 2021. <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/tarifas/TARIFAS%20-%20LSF%20-%20c.pdf>.

Universidad de Costa Rica. Centro de Investigaciones Agronómicas. Laboratorio de Suelos y Foliare. *Fertilización Foliar Principios y Aplicaciones*. [Archivo PDF] Recuperado 13 de oct. de 2021.

Varela, D. (9 de mayo de 2021) Llevemos el agro al futuro. *La Nación*. <https://www.nacion.com/opinion/foros/llevemos-el-agro-al-futuro/J37JEWCX35HNLN75FJG2RMABDA/story/>.

Xukyo. (10 de octubre de 2020). *Crear una pagina web con NodeMCU ESP 8266*. Aranacorp. <https://www.aranacorp.com>

Zotarelli, L., Duques, M, D., y Morgan, K, T. (febrero de 2013). *Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar la capacidad de campo y evitar el riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad*. <https://www.researchgate.net>

ANEXOS

Anexo 1. Cuestionario

Cuestionario sobre implementación tecnológica en agricultura en pequeños y medianos productores.

Marcar con una X la opción que considere necesaria.

1. ¿Tiene un ingeniero agrónomo que lo asesore? Si marca NO, pase a la pregunta tres.
 Sí No

2. ¿Con qué frecuencia lo visitan para las asesorías de cosechas?
 Cada 15 días Cada mes Cada 6 meses Cada año

3. ¿Qué tipo de agricultura realiza?
 Hidropónica Vivero Tierra

4. ¿Cuáles son los productos que regularmente siembra?
 Tomate Pepino Chile Todas los anteriores

5. ¿Ha hecho algún análisis de suelo en su plantación? Si marca NO, pase a la pregunta número 8
 Sí No

6. ¿Con qué frecuencia realiza análisis de suelo en su plantación?
 Cada mes Cada 6 meses Cada Año Nunca

7. ¿Cuáles son los factores que más influyen en la agricultura previa a la plantación?
 Humedad pH Minerales Todas las anteriores.

8. ¿Se ha acercado alguien a realizar una encuesta sobre tecnología en la agricultura?

Sí No

9. ¿Conoce alguna tecnología que pueda aplicar a la agricultura?

Sí No

10. ¿Sabía que hay equipos que pueden controlar las variables descritas en la respuesta de la pregunta 7?

Sí No

11. ¿Le gustaría conocer algún instrumento de medición tecnológica que le ayude a su cosecha?

Sí No

12. ¿Le interesaría implementar alguna tecnología en su plantación?

Sí No

Anexo 2. Estudio de Suelo

PRODUCTOR: Waner Alvarado Roríguez
DIRECCION: Alajuela - San Ramon - Piedades Sur
CULTIVO: Chile dulce
FECHA: Abril -2021

LOTE Chile dulce lote 1
Código Rastreo:

Resultados de Laboratorio

Elemento	mg/L			-----cmol(+)/L-----			*-----mg/l-----*					
	M.O	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
N.C.	5	10	0,2	4	1	12	0,2	1	10	5	3	
RESULTADOS		10	0,81	6,40	2,20				161	35,4	1,4	
		MEDIO	ALTO	MEDIO	MEDIO	BAJO		BAJO	ALTO	MEDIO	BAJO	

	Óptimo	
Acidez Extraible	1,21	0,5
% de Sat Al deseable	2	20 a 30
pH	5,25	5,5

Materia orgánica	
Carbono total	
Total MO	0,00

Cálculo de Relación de bases

Componentes	pH	cm(+)/L			%	RELACIONES DE BASES			
		ACID	BAS	CICE		SA	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K
N.C	5,5	0,5	5	5	20	*2-5	*2,5-15	*10-40	*5-25
RESULTADOS	5,25	1,21	9,41	11	11,39	2,91	2,72	11	7,90

Requerimiento de encalado debido a la acidez	T/Ha CaCO3	2,00
--	------------	------

Carencia de elementos según relación de bases	
Ca/Mg	BALANCE-NUTRICIONAL
Mg/K	BALANCE-NUTRICIONAL
Ca+Mg/K	BALANCE-NUTRICIONAL
Ca/K	BALANCE-NUTRICIONAL

Contenido en el Suelo

	Kg/Ha				
	N	P2O5	K2O	MgO	CaO
NIVEL CRITICO	ND	45,8	187,2	398,4	2240,0
EL SUELO TIENE	ND	45,8	758,2	876,5	3584,0


 Ingeniero
 Randall Alvarado Ledezma
 Cod. 9436

Anexo3. Validación del dispositivo en la finca

Dispositivo en la finca plantacion de vainicas



Puerto COM5 del monitor serial del receptor

```
COM5
|
Nitrogeno: 20 mg/Kg
Fosforo: 27 mg/Kg
Potasio: 67 mg/Kg
pH: 4.40
Humedad suelo: 37

IP: 192.168. 20.138
Nitrogeno: 20 mg/Kg
Fosforo: 27 mg/Kg
Potasio: 67 mg/Kg
pH: 4.40
Humedad suelo: 37

IP: 192.168. 20.138
Nitrogeno: 20 mg/Kg
Fosforo: 27 mg/Kg
Potasio: 67 mg/Kg
pH: 4.50
Humedad suelo: 38

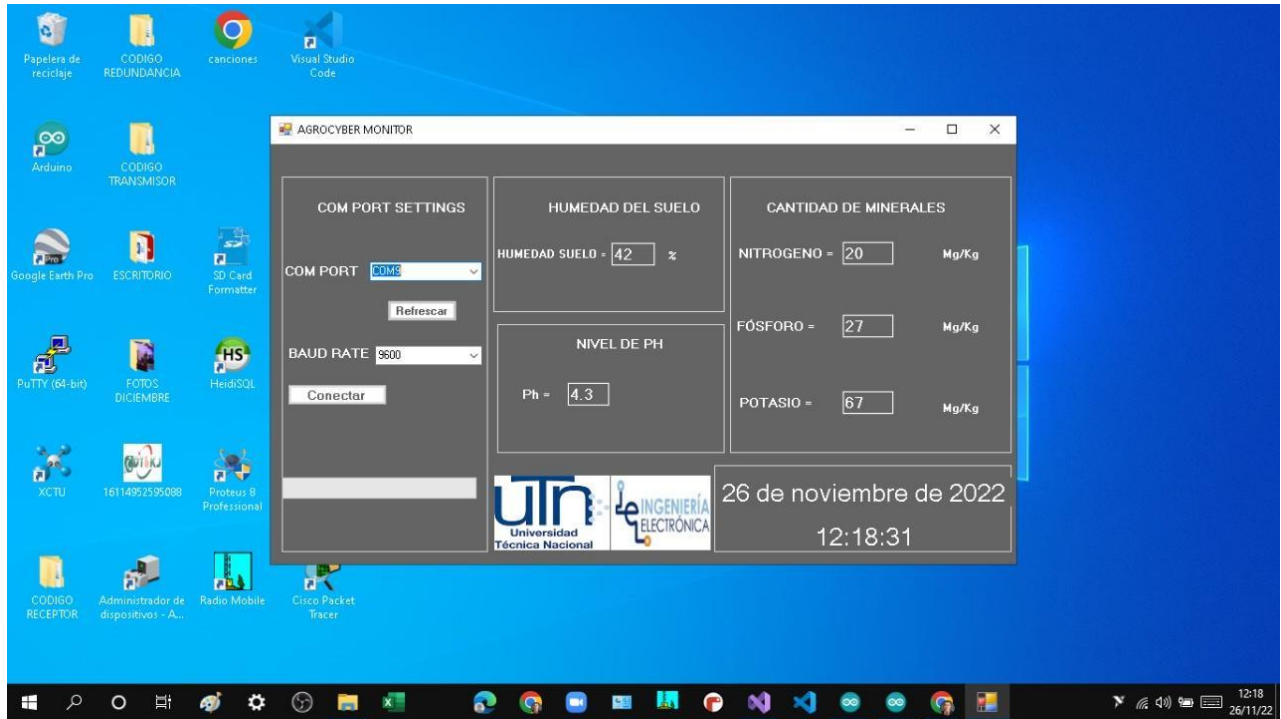
IP: 192.168. 20.138
Nitrogeno: 20 mg/Kg
Fosforo: 27 mg/Kg
Potasio: 67 mg/Kg
pH: 4.40
Humedad suelo: 43

IP: 192.168. 20.138
Nitrogeno: 20 mg/Kg
Fosforo: 27 mg/Kg
Potasio: 67 mg/Kg
pH: 4.40
Humedad suelo: 37

IP: 192.168. 20.138
```

Windows taskbar: 23°C, 11:50, 26/11/2022

Interfaz Gráfica



Base de datos en el celular

12:03 73 %

Servidor: localhost:3306 » Base de datos: id19371301_bd_agrocyber3000 » Tabla: Tb_Principal

Examinar Estructura SQL Buscar Insertar Exportar

+ Opciones

		Id	Nitrogeno	Fosforo	Potasio	Valor_pH	Humedad_Suelo	fecha_actual	
opiar		Borrar	1776	20	27	67	4.40	43	2022-11-26 12:01:02
opiar		Borrar	1777	20	27	67	4.40	43	2022-11-26 12:01:10
opiar		Borrar	1778	20	27	67	4.40	37	2022-11-26 12:01:18
opiar		Borrar	1779	20	27	67	4.40	43	2022-11-26 12:01:26
opiar		Borrar	1780	20	27	67	4.40	43	2022-11-26 12:01:34
opiar		Borrar	1781	20	27	67	4.40	39	2022-11-26 12:01:42
opiar		Borrar	1782	20	27	67	4.40	43	2022-11-26 12:01:50

Consola

Base de datos en la computadora

The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a MySQL database. The left sidebar displays the database structure, including a table named 'tbl_producto'. The main window shows a table with the following columns: id, Nbrayena, Faslano, Pesele, Valor_pfl, Barmetal_Suelo, and fecha_actual. The table contains 15 rows of data, each with a checkbox, a copy icon, a delete icon, and a refresh icon. The data is as follows:

	id	Nbrayena	Faslano	Pesele	Valor_pfl	Barmetal_Suelo	fecha_actual
<input type="checkbox"/>	1794	20	27	67	4.30	42	2022-11-26 12:01:30
<input type="checkbox"/>	1793	20	27	67	4.30	41	2022-11-26 12:01:32
<input type="checkbox"/>	1792	20	27	67	4.30	40	2022-11-26 12:01:34
<input type="checkbox"/>	1791	20	27	67	4.30	40	2022-11-26 12:01:36
<input type="checkbox"/>	1790	20	27	67	4.30	39	2022-11-26 12:01:38
<input type="checkbox"/>	1789	20	27	67	4.30	40	2022-11-26 12:01:40
<input type="checkbox"/>	1788	20	27	67	4.30	40	2022-11-26 12:01:42
<input type="checkbox"/>	1787	20	27	67	4.30	39	2022-11-26 12:01:44
<input type="checkbox"/>	1786	20	27	67	4.40	40	2022-11-26 12:01:46
<input type="checkbox"/>	1785	20	27	67	4.40	39	2022-11-26 12:01:48
<input type="checkbox"/>	1784	20	27	67	4.40	37	2022-11-26 12:01:50
<input type="checkbox"/>	1783	20	27	67	4.40	37	2022-11-26 12:01:52
<input type="checkbox"/>	1782	20	27	67	4.40	40	2022-11-26 12:01:54
<input type="checkbox"/>	1781	20	27	67	4.40	40	2022-11-26 12:01:56
<input type="checkbox"/>	1780	20	27	67	4.40	40	2022-11-26 12:01:58