



Desarrollo de una Red de Sensores para el Monitoreo en Ambiente Web de Parámetros Físico-Químicos en Invernaderos de Plantas Ornamentales

TESIS

PARA OBTENER GRADO DE
MAESTRO EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

PRESENTA:

ING. RODRIGO DELGADILLO GAYTAN

DIRECTOR DE TESIS

D. EN C. NOEL GARCÍA DÍAZ

CO-DIRECTOR DE TESIS

D. EN C. SANTIAGO ARCEO DÍAZ

VILLA DE ÁLVAREZ, COLIMA, AGOSTO 2019





EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Colima

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Villa de Álvarez, Colima, **14/Agosto/2019**

OFICIO No. DEPI-218/2019

RODRIGO DELGADILLO GAYTÁN
PASANTE DE LA MAESTRÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES
PRESENTE

La División de Estudios de Posgrado e Investigación de acuerdo al procedimiento para la obtención del Título de Maestría de los Institutos Tecnológicos y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la comisión revisora hizo a su trabajo profesional denominado "Desarrollo de una Red de Sensores para el Monitoreo en Ambiente Web de Parámetros Físico-Químicos en Invernaderos de Plantas Ornamentales", por la opción de tesis, que para obtener el grado de Maestro en Sistemas Computacionales será presentado por Usted, tiene a bien concederle la **AUTORIZACIÓN** de impresión de la tesis citada.

Sin otro particular por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial y afectuoso saludo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica



RAMONA EVELIA CHÁVEZ VALDEZ
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN

Secretaría de Educación Pública
INSTITUTO TECNOLÓGICO
De Colima
División de Estudios de Posgrado e Investigación

RECV/cas

C.p. Archivo.

"2019, 30 Años de la convención sobre los derechos del niño"

Av. Tecnológico No. 1, Villa de Álvarez, Col., C.P. 28976

Tel. 01 (312) 314 0933, 314 0683, 312 6393, 312 9920

www.tecnm.mx | www.itcolima.edu.mx



Agradecimientos

Al Instituto Tecnológico de Colima, por permitirme realizar mis estudios y usar a puertas abiertas sus instalaciones para poder concluirlos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico durante toda la carrera, ya que sin ello hubiera sido difícil continuar los estudios.

A los maestros y revisores por su tiempo y dedicación. En especial, al Dr. Noel García Díaz, por impulsar mi interés por la investigación y guíame a lo largo del proyecto; a través del cual logre desarrollar una multitud de habilidades y técnicas, y por lo cual estoy muy agradecido. Su apoyo y dedicación como docente ayudo en gran medida a la conclusión de esta tesis.

A mis padres, hermanas y a los demás miembros de mi familia por todo su apoyo.

A los compañeros, que, con su alegría y amistad, hicieron de esta etapa de mis estudios una muy agradable.

Resumen

Los sistemas para la automatización en procesos de monitoreo y control son algo que se lleva viendo en el mundo por algunos años, más sin embargo en México, especialmente en la agricultura se tiene un poco de rezago en la aplicación de estos sistemas, pese a que la agricultura es una de las actividades de más importancia en el país, siendo esta misma una razón para el impulso de estos sistemas. Actualmente para el monitoreo y control de variables en un invernadero se emplean sistemas de sensores inalámbricos conectados a un sistema web, donde el diseño depende de la distribución y tipo de invernadero. Esta tesis tiene como propósito el desarrollo de una red de sensores para el monitoreo en un ambiente web de los parámetros en el invernadero, con la finalidad de aumentar la productividad de los procesos relacionados; los parámetros que se tomarán en cuenta en esta tesis son: humedad, temperatura, intensidad luminosa, pH y conductividad eléctrica, los cuales en la actualidad son monitoreados de forma manual lo que ocasiona que el proceso para su manejo no sea completamente eficiente traduciendo esto en pérdidas económicas. En la tesis se abarca el diseño del hardware y software tanto para la red de sensores así como para la comunicación a la base de datos. El sistema funciona por módulos, el módulo de nodos de sensores encargados de las mediciones de los diferentes parámetros y de su envío por medio de la tecnología wifi y Xbee, el módulo de la Estación de monitoreo es encargado de recibir, procesar y mostrar toda la información recibida de nodos de sensores, además de enviar dicha información a la base de datos.

Abstract

The systems for automation on monitoring and control processes are something that exist in the world for a few years, but nevertheless in México, particularly in the agriculture it has a lag of this systems although the agriculture is one of the most important activities on the country, this is the reason for invest in this kind of systems. At present for monitoring and control the variables on the greenhouse are used systems of sensors connected via web, where the desing depends on the type of greenhouse. This thesis has the purpose the develop of a sensors network for the monitoring on web environment of the parameters in the greenhouse, with the purpose of increase the productivity of the processes related; the parameters considered are humidity, temperatura, luminous intensity, pH and electric conductivity, which are at the present manually monitored causing economic losses. The thesis covers the hardware and software desing for the sensors network and the database. The system works with modules, the module of sensors nodes measure the parameters and send them through wifi and Xbee, the module of the monitoring station receives, process and show all the information collected for the sensors nodes, also send it to the database.

Tabla de contenido

| | |
|--|----|
| Introducción | 10 |
| 1.1 Naturaleza del problema | 10 |
| 1.2 Contexto del problema | 10 |
| 1.3 Revisión de la literatura..... | 11 |
| 1.4 Planteamiento del problema a investigar | 12 |
| 1.5 Justificación | 13 |
| 1.6 Objetivos | 14 |
| 1.6.1 Objetivo general | 14 |
| 1.6.2 Objetivo específico | 14 |
| 1.7 Hipótesis | 15 |
| 1.7.1 Variable dependiente..... | 15 |
| 1.7.2 Variable independiente..... | 15 |
| 1.8 Métodos y herramientas..... | 15 |
| 1.9 Organización de la tesis | 16 |
| Estado del campo del conocimiento | 17 |
| 2.1 Marco Histórico | 17 |
| 2.1.1 Antecedentes de la horticultura ornamental | 17 |
| 2.1.2 La agricultura de precisión..... | 18 |
| 2.2 Marco Contextual | 19 |
| 2.2.1 Horticultura | 19 |
| 2.2.2 Redes de sensores..... | 19 |
| 2.3 Marco Teórico | 20 |
| 2.3.1 Agricultura protegida | 20 |
| 2.3.2 Invernaderos..... | 20 |
| 2.3.3 Horticultura ornamental | 20 |
| 2.3.4 Agricultura de precisión | 21 |
| 2.3.5 Sensores | 21 |
| 2.3.6 Nodo de sensores | 21 |
| 2.3.7 Red de sensores | 21 |
| 2.3.8 Internet de las cosas | 21 |

| | |
|---|----|
| 2.3.9 Wifi | 22 |
| 2.3.10 Zigbee | 22 |
| 2.3.11 Raspberry pi 3 | 22 |
| 2.3.12 Wemos D1 mini | 23 |
| 2.3.13 XCTU..... | 23 |
| 2.3.14 Software libre..... | 23 |
| Métodos Empleados..... | 24 |
| 3.1. Metodología | 24 |
| Desarrollo | 27 |
| 4.1. Análisis..... | 27 |
| 4.1.1 Modelo Conceptual..... | 28 |
| 4.1.2 Diagrama de actividades | 29 |
| 4.1.3 Diagrama de casos de uso..... | 34 |
| 4.1.4 Tabla de requerimientos de diseño | 35 |
| 4.2 Diseño..... | 41 |
| 4.2.1 Modelo de datos..... | 41 |
| 4.2.2 Diccionario de datos | 42 |
| 4.2.3 Diagrama de navegación..... | 45 |
| 4.2.4 Modelo de interfaces | 47 |
| 4.2.5 Código PHP..... | 48 |
| 4.2.6 Código implementado en Arduino | 51 |
| 4.2.7 Código en Python..... | 53 |
| 4.2.8 Código generado en Appinventor | 54 |
| 4.2.9 Selección de componentes..... | 55 |
| 4.2.10 Diagrama electrónico..... | 60 |
| 4.2.11 Diseño de Placa de Circuito Impreso | 62 |
| 4.2.12 Planos de diseño 3D | 64 |
| 4.3 Implementación..... | 66 |
| 4.3.1 Conexión para configuración de módulos Xbee | 66 |
| 4.3.2 Configuración de módulos Xbee..... | 67 |
| 4.3.3 Creación de interfaz gráfica..... | 69 |
| 4.3.4 Creación de base de datos..... | 71 |
| 4.3.5 Conexión de Estación de monitoreo..... | 72 |
| 4.4 Verificación y Validación | 73 |

| | |
|---|----|
| 4.4.1 Pruebas de rendimiento energético | 73 |
| 4.4.2 Pruebas de tiempo de ejecución | 75 |
| 4.4.4 Pruebas rango de comunicación | 77 |
| Resultados..... | 81 |
| Conclusiones y trabajo a futuro | 87 |
| Bibliografía..... | 88 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Red de sensores para el monitoreo de parámetros físico- químicos en invernaderos ornamentales..... | 12 |
| Figura 2. Metodología evolutiva de prototipos (Pressman, 1998)..... | 24 |
| Figura 3. Diagrama de actividades general. | 30 |
| Figura 4. Diagrama de actividades del modo Offline. | 31 |
| Figura 5. Diagrama de actividades de modo Online..... | 32 |
| Figura 6. Diagrama de actividades para red de nodos fijos..... | 33 |
| Figura 7. Diagrama de casos de uso..... | 34 |
| Figura 8. Diagrama entidad-relación de base de datos para red de sensores. | 41 |
| Figura 9. Diagrama de actividades de aplicación móvil. | 45 |
| Figura 10. Diagrama de navegación para interfaz Estación base. | 46 |
| Figura 11. Interfaz de aplicación para Nodo móvil..... | 47 |
| Figura 12. Interfaz para Estación de monitoreo..... | 47 |
| Figura 13. Código para inserciones del Nodo móvil en la Base de datos..... | 48 |
| Figura 14. Código para inserciones de la Estación base en la Base de datos. | 49 |
| Figura 15. Código para consulta en tabla de plantas. | 50 |
| Figura 16. Código de funcionamiento de Nodo móvil. | 51 |
| Figura 17. Código para recepción de datos para Estación base. | 52 |
| Figura 18. Código en Python para la Estación de monitoreo..... | 53 |
| Figura 19. Código por bloques generado en Appinventor. | 54 |
| Figura 20. Wemos D1 mini. | 55 |
| Figura 21. Sensor de pH AtlasScientific. | 55 |
| Figura 22. Sensor de humedad de suelo..... | 56 |
| Figura 23. Batería NCR18650GA. | 56 |
| Figura 24. Módulo regulador de baterías..... | 57 |
| Figura 25. Módulo regulador..... | 57 |
| Figura 26. Módulo Xbee S3B PRO..... | 58 |
| Figura 27. Regulador LF33CV..... | 58 |
| Figura 28. Xbee Shield. | 59 |
| Figura 29. Diagrama de diseño electrónico de Nodo móvil. | 60 |
| Figura 30. Diagrama de diseño electrónico de Nodo fijo. | 61 |
| Figura 31. Diseño de PCB para Nodo móvil..... | 62 |
| Figura 32. Diseño de PCB para Nodo fijo..... | 63 |
| Figura 33. Diseño 3D de tapadera superior..... | 64 |
| Figura 34. Diseño 3D de cuerpo de nodo..... | 64 |
| Figura 35. Diseño 3D de cuerpo de Nodo fijo..... | 65 |
| Figura 36. Diseño 3D de tapa de Nodo fijo..... | 65 |
| Figura 37. Conexión para configuración de Xbee..... | 66 |
| Figura 38. Posición de interruptores para configuración de Xbee. | 66 |
| Figura 39. Ventana de configuración de módulos Xbee en XCTU. | 67 |
| Figura 40. Herramienta QtDesigner..... | 69 |
| Figura 41. Interfaz del QtDesigner..... | 69 |

| | |
|---|----|
| Figura 42. Código para transformar .ui a .py desde consola | 70 |
| Figura 43. Código SQL para la generación de la Base de datos. | 71 |
| Figura 44. Módulo de recepción | 72 |
| Figura 45. Raspberry Pi 3 y pantalla táctil | 72 |
| Figura 46. Proceso simplificado de mediciones durante modo online. | 75 |
| Figura 47. Zonas en invernaderos. | 77 |
| Figura 48. XCTU para verificación de llegada de datos. | 78 |
| Figura 49. Zona crítica de invernadero. | 78 |
| Figura 50. Registro de mediciones parte 1. | 79 |
| Figura 51. Registro de mediciones parte 2. | 80 |
| Figura 52. Pantalla de nodo con mediciones. | 81 |
| Figura 53. Nodo móvil y aplicación Android. | 82 |
| Figura 54. Nodo fijo. | 84 |
| Figura 55. Vista principal de Estación Base | 85 |
| Figura 56. Estación Base sin conectores. | 86 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Requisitos de diseño para Nodo móvil (uso). | 35 |
| Tabla 2. Requisitos de diseño para Nodo Móvil (función y estructurales). | 36 |
| Tabla 3. Requisitos de diseño para nodo fijo (uso). | 37 |
| Tabla 4. Requisitos de diseño para nodo fijo (función y estructurales). | 38 |
| Tabla 5. Requisitos de diseño para Estación Base (uso). | 39 |
| Tabla 6. Requisitos de diseño para Estación Base (función y estructurales). | 40 |
| Tabla 7. Tabla de nodo móvil. | 42 |
| Tabla 8. Tabla de nodo fijo. | 43 |
| Tabla 9. Tabla de zonas. | 43 |
| Tabla 10. Tabla de plantas. | 44 |
| Tabla 11. Tabla de configuración de Nodos fijos. | 44 |
| Tabla 12. Configuración para nodo coordinador. | 68 |
| Tabla 13. Configuración para nodos finales. | 68 |
| Tabla 14. Tabla con tiempos de ejecución para mediciones online. | 75 |
| Tabla 15. Tiempos de ejecución de mediciones en modo offline. | 76 |
| Tabla 16. Desglose de precios de Nodo móvil obtenidos en agosto 2019. | 83 |
| Tabla 17. Desglose de precios para Nodo fijo obtenidos en agosto 2019. | 84 |
| Tabla 18. Desglose de precios de Estación Base obtenidos en agosto 2019. | 85 |

Capítulo 1

Introducción

“No te conformes con el qué, logra saber el porqué y el cómo.” – Baden-Powell

Este capítulo describe el contexto, la problemática actual y justifica la investigación, además establece los objetivos, la hipótesis y ofrece una visión general explicando la solución para el problema de investigación. En el apartado final explica brevemente el contenido de los diferentes capítulos de la tesis

1.1 Naturaleza del problema

El estado de Colima cuenta con condiciones ideales para la agricultura, razón por la cual la agricultura es una de las actividades económicas más importantes del estado, además de tener relevancia nacional e internacional en la producción de limón, coco, maíz, caña entre otros, más sin embargo el estado se encuentra rezagado en cuanto aplicaciones de tecnología para el monitoreo de invernaderos; actualmente la mayoría de las actividades en un invernadero se realizan de forma manual lo cual significa un mayor tiempo para finalizar una actividad, errores humanos, baja competitividad frente a empresas extranjeras que si cuentan con estos sistemas y perdidas en la producción.

En caso de aplicarse un sistema autónomo en los invernaderos se resolvería el rezago tecnológico otorgando competitividad a las empresas del estado frente a las extranjeras.

1.2 Contexto del problema

En la actualidad a nivel internacional la agricultura está sufriendo grandes cambios, la mayoría de ellos debido a la gran cantidad de tecnologías que se pueden aplicar y como se hacen más baratas y eficientes conforme pasa el tiempo, en (Li et. al., 2010) se menciona que contra el contexto de informatización y digitalización global, la agricultura tradicional esta gradualmente transformandose en agricultura digital.

De acuerdo con (Hwang et. al., 2010), varios estudios han explorado el uso de tecnología inalámbrica de redes de sensores en la agricultura protegida tal como en los invernaderos, establos y granjas de precisión; y naciones avanzadas incluyendo a la Unión Europea y E.U.A ya han establecido sistemas de monitoreo en areas tales como la administración de producción y distribución en entornos de cultivo para mejorar la producción de la agricultura, los productos generados y facilitar la transparencia de las rutas de distribución.

Los países líderes en el ramo de producción y venta de plantas ornamentales como Colombia, Ecuador y Holanda por mencionar algunos, han desarrollado la automatización de dichos procesos desde hace varios años, incluso en México ya se utilizan tecnologías innovadoras por lo que los productores del estado de Colima se están quedando rezagados en este ámbito (Flores, 2017).

En ámbito nacional INEGI (INEGI, 1998) reporto un retraso en este subsector de producción, mostrando el gran potencial que los cultivos ornamentales pueden alcanzar. Debido a que este subsector es de los menos representativos en la producción de cultivos, sería muy factible obtener más acceso a avances científicos y tecnológicos a través de la organización de productores para dar apoyo e impulsar la productividad de este sector.

1.3 Revisión de la literatura

Li (Li et al., 2010) describió en su artículo un sistema de monitoreo para invernaderos de vegetales en China que funciona por medio web, el cual consiste en 3 módulos, un módulo de nodos, un módulo estación base y un módulo web.

El módulo de nodos es colocado dentro de los invernaderos, el modulo estación base es colocado en las áreas externas a los invernaderos y cuenta con una pantalla LCD donde se pueden observar los valores de temperatura, humedad de ambiente y humedad de suelo; el nodo web está instalado en el centro de datos de Beijing pero puede ser instalado en cualquier computadora. El sistema usa dos métodos de comunicación, uno inalámbrico entre los nodos de sensores y la estación base usando el protocolo 802.15.2 y una red GPRS entre la estación base y el módulo web.

En su investigación Keshtgari (Keshtgari et al., 2012) reporta el desarrollo de un sistema de red de sensores para el uso en agricultura de precisión , obteniendo datos en tiempo real de climatología y otro propiedades del entorno, y tomando decisiones de control en base a los cambios en el entorno; basando su red en el estándar 802.15; asegurando el potencial de la tecnología zigbee para su usar en sistemas de agricultura para el monitoreo del campo, sistemas de control automatizados y operación remota de maquinaria en el campo.

Hwang (Hwang et al.,2010) reporta un estudio del uso de un sistema de red de sensores y de cámaras CCTV propuesto para recolectar información relacionada al crecimiento en el ambiente de cultivo fuera y dentro de los invernaderos de paprika, así como para su control en actividades automáticas y manuales remotas que incremento la productividad, la comodidad de los usuarios y la facilidad de los mismo para controlar el entorno de crecimiento.

Akkas (Alper et al., 2017) expresa en su investigación como una red de sensores compuesta por cientos de nodos la cual tiene la habilidad de medir, actuar y comunicar, tiene grandes ventajas en términos de precisión, tolerancia en fallos, flexibilidad, costos, autonomía y robustez comparado a los sistemas cableados y presenta un prototipo consistente de nodos MicaZ usados para la medición de temperatura, luz, presión y humedad.

1.4 Planteamiento del problema a investigar

Actualmente dentro de los invernaderos de Ornacol, el monitoreo de las múltiples variables de entorno se realiza manualmente y a través del uso de instrumentación cuya única característica es medir y presentar la medición realizada en ese instante, sin embargo no se cuenta con una sistema que sea capaz de mantener un registro de mediciones.

Con el propósito de cambiar el paradigma de medición en la empresa se propone el diseño de una red de sensores que emplee Xbee y wifi como tecnologías de comunicación, para monitorear la humedad, temperatura e intensidad luminosa en el entorno de los invernaderos y pH y conductividad eléctrica por planta, desde una interfaz web la cual pueda ser accesible desde un móvil o una computadora.

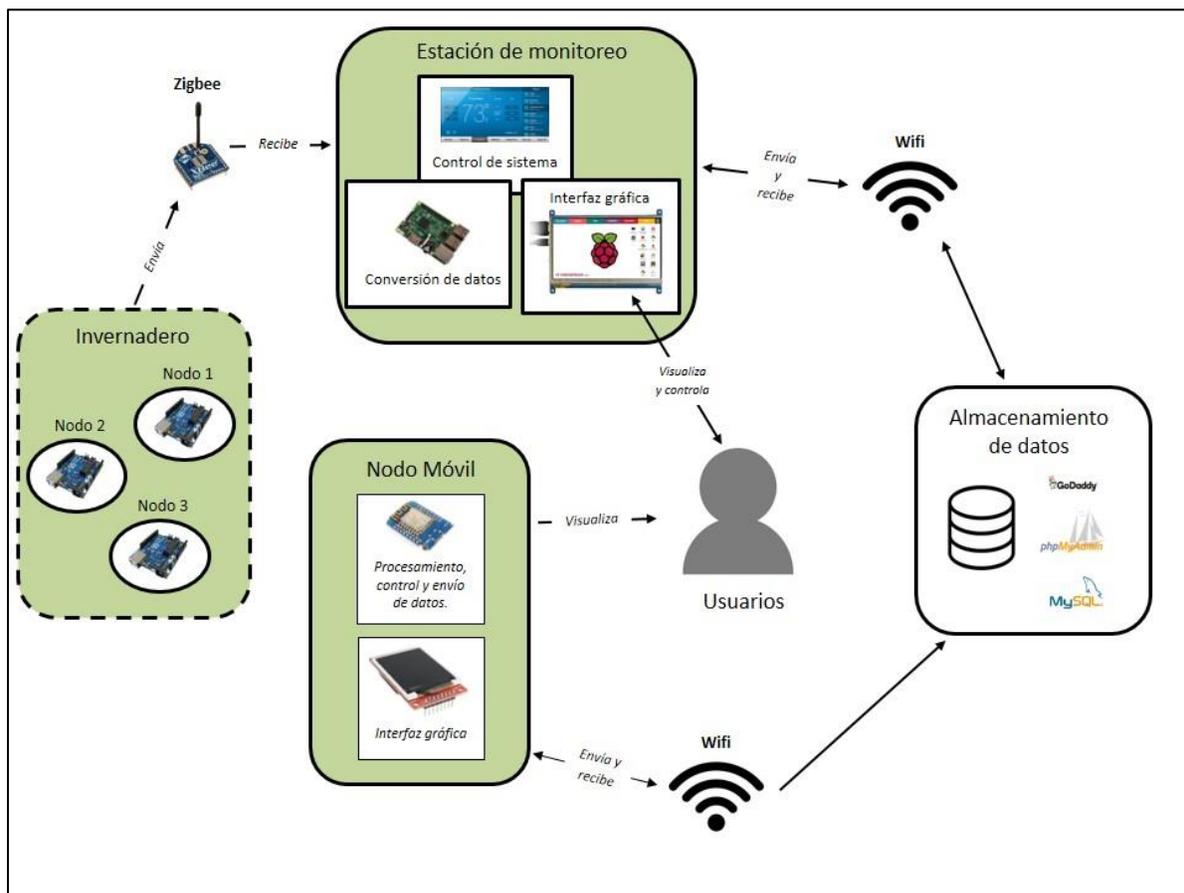


Figura 1. Red de sensores para el monitoreo de parámetros físico- químicos en invernaderos ornamentales.

1.5 Justificación

El uso de sensores para monitorear y controlar el ambiente dentro de un invernadero no es algo nuevo, más sin embargo de acuerdo a (Lugo Espinosa Ozziel, 2013) el monitoreo ambiental en invernaderos, en particular en México, representa un alto costo de inversión para su adopción, por lo que en ocasiones, el productor opta por omitir esta infraestructura tecnológica. Esta condición suprime las ventajas del monitoreo y control climático del invernadero, lo cual repercute en la cantidad y calidad de la producción.

Los altos costos en inversión para la adopción de sistemas que monitoreen y controlen un invernadero se deben a "la compra de tecnología extranjera cuyo costo es elevado para el promedio de los productores del país" (Lugo Espinosa Ozziel, 2013) y que además "en algunos casos es necesario la utilización de un software especializado para interpretar y almacenar las señales del sensor, cabe destacar que el costo de las licencias de software para operar los programas también es elevado" (Lugo Espinosa Ozziel, 2013), siendo esta la necesidad e importancia del desarrollo de sistemas de monitoreo y control por medio de WSN (Wireless Sensor Networks) nacionalmente para impulsar el desarrollo de los invernaderos mexicanos; "si bien es cierto que la gran mayoría de los invernaderos mexicanos carecen de sistemas de control automático, también es cierto que la tendencia es a incrementar su uso, por los beneficios que estos representan en el sistema de producción" (Lugo Espinosa Ozziel, 2013).

En México la agricultura es uno de los pilares de la economía y pese a esto el avance e implementación de tecnologías de automatización en México es poco, siendo la mayoría de procesos en la agricultura aun realizados de forma manual, lo que se traduce en un aumento en los tiempos y una reducción en producción y ganancias, de acuerdo a (Hwang et al., 2010) la agricultura en particular, es de labor intensiva en comparación a otras industrias, y cuando la tecnología de redes inalámbricas de sensores es aplicada al área del agricultura, la cual generalmente se encuentra en rezago de aplicación de tecnologías, añade valor y la productividad de la agricultura puede ser incrementada. Recientemente varios estudios exploran el uso de tecnologías RIS en ambientes de agricultura protegidos tales como invernaderos, establos y cultivos de precisión, y naciones avanzadas incluyendo la Unión Europea y los E.U.A tienen actualmente establecidos sistemas de monitoreo en áreas como el monitoreo del entorno de cultivos y su administración de producción, y sus distribución para mejorar la producción agrícola y el manejo de los stock de productos y así facilitar la transparencia de las rutas de distribución. Adicionalmente, experimentos de vanguardia en cultivos han sido realizados en varias áreas de la industria de la horticultura en naciones avanzadas como Países Bajos y Japón.

La tecnología referida como WSN ha tenido un fuerte impulso en los últimos años lo que ha causado una rápida evolución y adaptación para sus diferentes aplicaciones; actualmente la tecnología de redes de sensores inalámbricos ha sido aplicada en su mayoría al monitoreo de ambientes. (Li et al., 2010).

Según la investigación de Tabatabaeifar et. al, (2014), la tecnología de redes inalámbricas de sensores puede formar una parte útil de sistemas de automatización en invernaderos modernos que dan cabida a un gran número de mediciones con bajo costo e implementación sencilla. Además, estos módulos inalámbricos están equipados con microprocesadores con la finalidad de desarrollar diferentes algoritmos para la adquisición de datos.

Con lo expuesto se puede llegar a la conclusión de que la implementación de un sistema de automatización para el monitoreo y control de un invernadero con diseños y mano de obra nacionales beneficiarían directamente en la producción y calidad de cultivos, mejorando así las ganancias obtenidas.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

- Desarrollar una red de nodos de sensores para el monitoreo de humedad, temperatura, pH, conductividad eléctrica e intensidad luminosa en un invernadero de plantas ornamentales.

1.6.2 Objetivo específico

- Diseñar y construir un Nodo móvil de sensores para la medición de conductividad eléctrica y pH en suelo.
- Configurar los parámetros de medición para el Nodo móvil a través de una aplicación de celular.
- Enviar desde el nodo móvil los datos recopilados a una base de datos a través de wifi.
- Diseñar y construir un conjunto de nodos fijos de sensores encargados de la medición de humedad, temperatura e intensidad luminosa del entorno por zonas.
- Enviar la información recolectada por los nodos fijos a una estación usando tecnología de Xbee.
- Diseñar y construir una estación base para recopilar la información recolectada por los nodos fijos de sensores.

- Mostrar la información recolectada por la estación a través de un interfaz en una pantalla LCD.
- Enviar la información recopilada por la estación a la base de datos.

1.7 Hipótesis

La implementación de un sistema de nodos de sensores para monitorear los parámetros de humedad, temperatura, intensidad luminosa, pH y conductividad eléctrica en los invernaderos de ORNACOL, reducirá los tiempos para los procesos de medición y monitoreo, promoviendo un aumento en la producción.

1.7.1 Variable dependiente

Aumento de producción.

1.7.2 Variable independiente

Medición y monitoreo de los parámetros de pH, humedad, temperatura, intensidad luminosa y conductividad eléctrica.

1.8 Métodos y herramientas

El desarrollo del sistema se lleva a cabo por medio de 3 módulos diferentes, el módulo de nodos fijos, el módulo de nodo móvil y el módulo de base de datos. Todos los módulos se analizan, diseñan, construyen, prueban e implementan de manera simultánea siempre dando prioridad al orden de funcionamiento del sistema

El sistema cuenta con dos formas de medición, una por zonas y otra por planta. La medición por zonas se realiza a través del módulo de nodos fijos. La estructura de este módulo está compuesta por un grupo de nodos fijos encargados de la obtención de temperatura, humedad e intensidad lumínica en el entorno, una estación de monitoreo encargada de la recolección de datos obtenidos y del envío de información a la base de datos. Para la construcción de este nodo y sus diferentes partes se planean usar los siguientes componentes:

- **Nodos de sensores:** Cada nodo de sensores se compone principalmente del grupo de sensores seleccionados y un módulo de red Xbee.
- **Estación base:** La estación base tiene por componentes un módulo Xbee encargado de la comunicación con el grupo de nodos, un ordenador Raspberry Pi 3 el cual procesa toda la información recolectada y es encargado de la comunicación con el Modulo de la base de datos y una pantalla LCD táctil conectada directamente a al ordenador Raspberry Pi 3 para la presentación datos y manejo del sistema directamente en el invernadero.

El módulo de Nodo móvil se encarga de las mediciones por planta, las cuales se realizan directamente en el suelo de cada maceta. Este módulo incluye un Nodo móvil el cual se encarga de medir y enviar las mediciones por medio de wifi al módulo de la base de datos; y también cuenta con un aplicación que es usada para configurar las mediciones que realiza el Nodo móvil. Los componentes que forman parte del módulo de Nodo móvil son los siguientes.

- **Nodo móvil:** Está integrado por un microcontrolador Wemos D1 mini, un sensor de pH AltasScientific, un sensor de humedad HL-69, una batería tipo 18650 y una pantalla LCD .
- **Aplicación Android:** Diseñada a través de AppInventor.

El módulo de la base de datos se encarga de la recolección, almacenamiento y administración de información enviada desde la Estación de monitoreo y del módulo de Nodo móvil después de haber sido interpretada; el diseño de la base de datos esta realizado en MySQL y permite la consulta del historial de los diferentes registros realizados.

1.9 Organización de la tesis

La presente tesis está estructurada de la forma comentada a continuación. En el presente capítulo se hace mención del problema en torno al tema de tesis que se plantea resolver, y las bases sobre las cuales se construye el proyecto. En el capítulo 2 se describe todo lo relacionado al estado del campo de conocimiento; aquí se contienen todos los antecedentes en torno al tema de investigación así como también la situación actual y trabajos relacionados. En el capítulo 3 llamado “Métodos empleados” se describe el proceso y plan de trabajo seguido para realizar el trabajo de investigación y la metodología empleada para el desarrollo del proyecto. En el capítulo 4 se describe de forma precisa todo lo realizado durante el proceso, es decir, la implementación del proyecto hasta finalizarlo. El capítulo 5 muestra todos los resultados obtenidos del proyecto una vez finalizado, siendo este capítulo donde se expresa por medio de evidencias el éxito del proyecto. Finalmente en el capítulo 6 se describe la conclusión, donde se plantea el trabajo futuro y las referencias de la tesis.

Estado del campo del conocimiento

"Un hombre que nunca cometió errores, nunca hizo nada." – Baden-Powell

2.1 Marco Histórico

2.1.1 Antecedentes de la horticultura ornamental

La horticultura Ornamental es una actividad milenaria que los grupos humanos han practicado ligada a su vida espiritual y emotiva, por lo que en algunas sociedades se ha convertido en una importante rama de la economía agrícola y aun agroindustrial (INEGI, 1998). Uno de los primeros escritos antiguos relacionados con la horticultura es la descripción de las propiedades curativas de las plantas, que se encuentra en una tableta datada alrededor de 700 a. C. en Babilonia bajo el título "El jardín del rey Mardukapla-iddina" (Sixto, 2018).

En México la Horticultura Ornamental como actividad económica se puede considerar relativamente reciente, comenzando alrededor de la década de los 80, donde entre 1982 y 1989 la superficie sembrada para con cultivos ornamentales en México se incrementó en 77% (INEGI, 1998). Para el 2002 México ocupaba el lugar 14 como exportador siendo Estados Unidos y Canadá el principal destino con un 99.7% del total de las exportaciones (Flores, 2017).

El subsector hortícola de México aportó el 16% del valor de la producción agrícola con sólo el 2.7% de la superficie agrícola y 2.1% de la producción total para el 2010 Presentando tasas de crecimiento promedio anuales positivas confirmado con el incremento en la superficie; en promedio se cosechaban 287,800 ha en el periodo 1980/1982 y la superficie se incrementó hasta 541,858.70 ha en el periodo 2008/2010 (Ayala G. A., 2012).

La Horticultura Ornamental es una industria que se encuentra en crecimiento. Actualmente, la producción y distribución de este tipo de plantas genera decenas de empleos directos y ocupa cerca de 20,000 hectáreas distribuidas a lo largo de estados como Morelos, Puebla, Veracruz y Michoacán (Infoagro, 2017).

2.1.2 La agricultura de precisión

A partir de la década de los setentas, se comenzó a delinear una nueva forma de hacer agricultura con los estudios sobre automatización de máquinas agrícolas. Posteriormente, a finales de la década de los ochentas y comienzos de los noventas, con la liberación del sistema de posicionamiento global por satélite para uso civil, fue posible desarrollar equipos inteligentes que permitieron el manejo localizado de las prácticas agrícolas, con una mayor eficiencia de aplicación de insumos. Esto redujo el impacto ambiental y, como consecuencia, disminuyeron los costos de la producción de alimentos.

Todo esto permitió ir configurando el concepto de agricultura de precisión como el conjunto de técnicas orientado a optimizar el uso de los insumos agrícolas (semillas, agroquímicos y correctivos) en función de la cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de la producción agrícola (Chartuni, de Carvalho, Marcal, & Ruiz, 2017).

En 1978 el Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés), era empleado únicamente para fines militares de posicionamiento de equipo y construcciones militares, no fue hasta 1983 que se permitió su uso público. Fue al comienzo de los 80's que la agricultura de precisión requirió el empleo del GPS para la medición de parámetros que necesitaban ser geo referenciados y fue Estados Unidos Americanos el primero en implementar el uso del GPS en la agricultura de precisión (Comparetti, 2011).

El término agricultura de precisión se ha utilizado desde los años 80 para identificar el uso de tecnologías digitales en los países agrícolas más vanguardistas del mundo. En México, estados como Guanajuato, Sinaloa, Jalisco ya emplean estas tecnologías con la finalidad de evaluar con mayor precisión la densidad óptima de siembra, estimar la cantidad adecuada de fertilizante e insumos necesarios y predecir con mayor exactitud el rendimiento y la producción de los cultivos (Arroniz, 2017).

2.2 Marco Contextual

2.2.1 Horticultura

El consumo anual de flores fue estimado en el rango de 40 a 60 billones de dólares americanos en 2011. En lo alto de la demanda, los países de mayor consumo de flores en el mundo están concentrados en el oeste de Europa, Alemania, Estados Unidos Americanos, Reino Unido, Francia, Países Bajos y Suecia. Juntos consumen alrededor del 80% de total de producción de flores.

La globalización, el libre intercambio y transformación en la demanda del consumidor han generado nuevas oportunidades de mercado para productores y trabajadores de la industria de la horticultura industrial. Por ende se ha incrementado el rango de prospectos económicos para la industria, especialmente en las zonas trópicas y sub-trópicas.

Muchos países a los largo del mundo han tomado medidas para asegurar el soporte a la industria de la horticultura dado que ha contribuido significativamente en la economía doméstica. Por ejemplo, la economía de los países bajos es grandemente influenciada por esta industria, quienes se encuentran en la cima del gráfico de exportaciones de flores (Newswire, 2014).

En el mundo, la producción y comercialización de plantas ornamentales es una importante actividad agrícola, con un valor de 44,000 millones de dólares por año, en donde Holanda, Colombia, Alemania, Francia, Italia y Reino Unido son los principales países productores (Flores, 2017). Mientras en México el subsector hortícola es el más dinámico en términos de crecimiento en su producción y en la generación de divisas (Ayala & Carrera, 2012).

2.2.2 Redes de sensores

En la actualidad existe un interés creciente, por medir y monitorear numerosas variables del entorno. Con el fin de proveer un mayor flujo de información, se hace necesaria la interacción de sensores de última generación con diversos principios de funcionamiento, para ofrecer mayores niveles de precisión, mayor eficiencia en el consumo de energía y menores costos y la integración de sus mediciones (Ochoa et al., 2018).

En (Aparicio, 2013), se emplea el uso de redes de sensores inalámbricas para monitorizar múltiples parámetros en cultivos de café en Colombia; Las Redes de Sensores Inalámbricas (WSN, por sus siglas en inglés) son una de las tecnologías más importantes en el siglo 21 y son muy adecuadas para la recolección y monitoreo distribuido en ambientes duros tales

como un invernadero (Alper et al., 2017), razón por la cual su uso se ha extendido rápidamente a lo largo de la última década.

En su investigación (Rekha et al., 2017) emplea una placa Arduino en conjunto con sensores para medir los factores ambientales de temperatura, humedad y humedad de suelo; su modelo consiste de un microcontrolador Arduino Mega 2560 como unidad central de procesamiento para todo el sistema y todos los sensores y dispositivos conectados al microcontrolador, donde el microcontrolador después de extraer y analizar la información obtenida de los sensores es enviada a la nube a través del uso de un módulo wifi ESP8266 conectado al microcontrolador.

En (Nalina & Kaliwal, 2017) se presenta un proyecto que emplea IoT con un sistema de bajo costo para el análisis de parámetros de suelo en la agricultura tales como el estado de suelo, temperatura y humedad. Este sistema emplea un módulo wifi ESP8266, un microcontrolador Arduino UNO, Un GSM usado para la transferencia de datos a través de sms a un usuario de teléfono móvil y sensores que emplean la plataforma de Arduino.

2.3 Marco Teórico

2.3.1 Agricultura protegida

La agricultura protegida es aquella que se realiza bajo cierto tipo de estructuras que protegen de los daños que las malas condiciones climáticas ocasionan en los cultivos. Permite controlar los factores ambientales como luz, temperatura, viento, granizo y plagas para garantizar el exitoso desarrollo de los cultivos (SAGARPA, 2018).

2.3.2 Invernaderos

Es una de las estructuras más utilizadas en la agricultura protegida. Son herméticamente cerradas con materiales transparentes, con suficiente capacidad de altura y ancho para permitir cultivo de especies de altura diversa, incluso árboles frutales (SENASICA, 2016).

2.3.3 Horticultura ornamental

Parte de la agricultura, relacionada con el cultivo de plantas que por su follaje o sus flores sea utilizada con fines ornamentales (INEGI, 1998).

2.3.4 Agricultura de precisión

Aquella caracterizada por el manejo (análisis y control) de la variabilidad espacio-temporal del terreno y del cultivo. Suministra distintas cantidades de insumos y toma en cuenta la variación en los componentes del suelo (como textura, acidez, humedad, topografía o relieve), en el desarrollo vegetal y en las condiciones entre temporadas de siembra (INCyTU, 2018).

2.3.5 Sensores

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar la medida de una magnitud, llamada variable de instrumentación, y convertirla en una señal eléctrica que puede ser procesada, almacenada o transmitida de acuerdo a la finalidad definida por el usuario (Ochoa et. al., 2018).

Un sensor es considerado un dispositivo capaz de transformar un fenómeno físico o químico en magnitudes eléctricas, está siempre en contacto con la variable a medir (Vera et. al., 2014).

2.3.6 Nodo de sensores

Los nodos de sensores son el componente central de una red de sensores y generalmente se componen de: un módulo encargado de gestionar la energía para su funcionamiento, un sensor, un microcontrolador y un transmisor inalámbrico (Ochoa et al., 2018)

2.3.7 Red de sensores

Refiere a un conjunto de sensores espacialmente distribuidos, propuestos para supervisar, registrar y organizar los datos recogidos enviados a una ubicación central de forma autónoma (Vera et al., 2014).

2.3.8 Internet de las cosas

Internet de las cosas (IoT) se puede definir como una infraestructura de objetos, personas, sistemas y recursos de información que se interconectan mediante servicios inteligentes, lo cual les permite procesar datos de los mundos físico y virtual, con el fin de reaccionar de acuerdo a la información obtenida (Ochoa et. al. , 2018).

Es la conexión de varios dispositivos con la habilidad de compartir información a través de múltiples plataformas por medio de un framework unificado tal como el cómputo en la nube (Metha, 2015).

2.3.9 Wifi

Wifi es una tecnología de redes inalámbrica que permite a computadoras y otros dispositivos comunicarse por medio de una señal inalámbrica. Describe componente de redes que están basados en el estándar 802.11 desarrollado por IEEE y adoptado por la Wifi Alliance. Algunos ejemplos de estándares de wifi, en orden cronológico son los siguientes:

- 802.11a
- 802.11b
- 802.11g
- 802.11n
- 802.11ac

2.3.10 Zigbee

ZigBee es un protocolo de comunicaciones inalámbricas es establecido por la Zigbee Alliance que es compatible con más de 70 empresas asociadas. Añade red, seguridad y software de aplicación a la norma IEEE 802.15.4, debido a su bajo consumo de energía y la configuración de red simple, Zigbee es considerado el protocolo más prometedor para los sensores inalámbricos (Vera et al., 2014).

2.3.11 Raspberry pi 3

Raspberry Pi es una placa computadora de bajo coste, se podría decir que es un ordenador de tamaño reducido, del orden de una tarjeta de crédito, desarrollado en el Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi (Universidad de Cambridge) en 2011, con el objetivo de estimular la enseñanza de la informática en las escuelas, aunque no empezó su comercialización hasta el año 2012.

El concepto es el de un ordenador desnudo de todos los accesorios que se pueden eliminar sin que afecte al funcionamiento básico. Está formada por una placa que soporta varios componentes necesarios en un ordenador común y es capaz de comportarse como tal (Universidad Politécnica de Valencia, 2013).

2.3.12 Wemos D1 mini

El Wemos D1 mini ESP8266 es una tarjeta de desarrollo similar a Arduino, especialmente orientada al Internet de las cosas. Está basado en el SoC (System on Chip) ESP8266, un chip altamente integrado, diseñado para las necesidades de un mundo conectado. Integra un potente procesador con Arquitectura de 32 bits (más potente que el Arduino Due) y conectividad wifi.

Wemos D1 mini está diseñado especialmente para trabajar en protoboard o soldado sobre una placa. Posee un regulador de voltaje en placa que le permite alimentarse directamente del puerto USB. Los pines de entradas/salidas trabajan a 3.3V. El chip CH340G se encarga de la comunicación USB-Serial (NaylampMechatronics, Sin fecha).

2.3.13 XCTU

Es una aplicación multiplataforma gratuita diseñada para permitir a los desarrolladores interactuar con módulo Digi RF a través de una interfaz gráfica simple de manejar. Incluye herramientas para facilitar la configuración y prueba de módulo Xbee RF (DIGI, 2019)

2.3.14 Software libre

Software libre es el software que respeta la libertad de los usuarios y la comunidad. A grandes rasgos, significa que los usuarios tienen la libertad de ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, modificar y mejorar el software (Free Software Foundation, Inc., 2018).

Un programa es software libre de acuerdo con (Free Software Foundation, Inc., 2018) si los usuarios tienen las cuatro libertades esenciales:

- La libertad de ejecutar el programa como se desee, con cualquier propósito
- La libertad de estudiar cómo funciona el programa, y cambiarlo para que haga lo que usted quiera .El acceso al código fuente es una condición necesaria para ello.
- La libertad de redistribuir copias para ayudar a otros.
- La libertad de distribuir copias de sus versiones modificadas a terceros. Esto le permite ofrecer a toda la comunidad la oportunidad de beneficiarse de las modificaciones. El acceso al código fuente es una condición necesaria para ello.

Métodos Empleados

“Es importante ser bueno, pero más importante es hacer el bien.” – Baden-Powell

A lo largo del capítulo se menciona la selección y desarrollo de la metodología, así como teoría relacionada, que definen el camino que seguirá la tesis para la obtención de resultados.

3.1. Metodología

Para la realización de esta tesis se utilizó la metodología de modelo evolutivo de prototipos, que de acuerdo con (Pressman, 1998) un modelo evolutivo se caracteriza por la manera en la que permite desarrollar versiones cada vez más complejas del proyecto; dentro de los modelos evolutivos se encuentra el modelo por prototipos, que está representado en la figura 2.

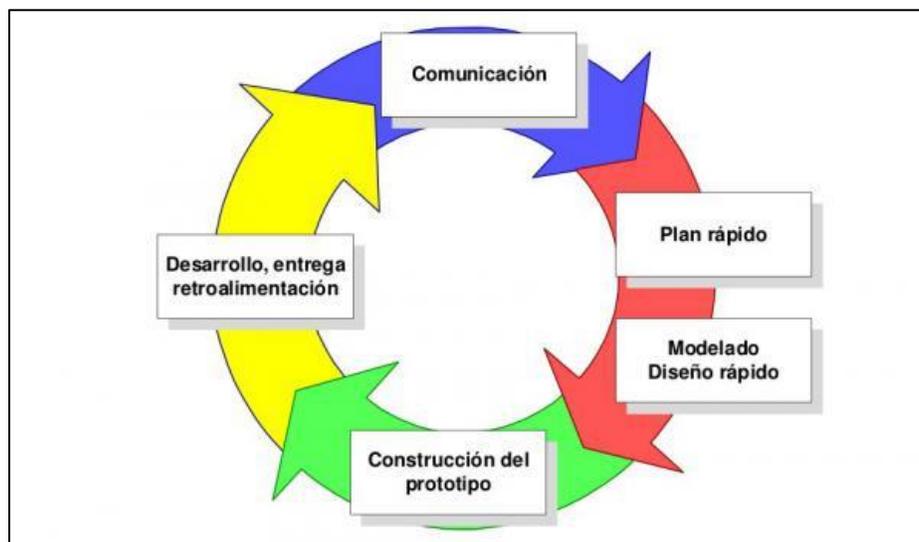


Figura 2. Metodología evolutiva de prototipos (Pressman, 1998).

Como se menciona en (Pressman, 1998) el ciclo del modelo evolutivo de prototipos consta de 6 etapas:

- Comunicación
- Plan Rápido
- Modelado /Diseño rápido
- Construcción del prototipo
- Desarrollo, entrega y retroalimentación

La comunicación se inicia con la reunión de los participantes del proyecto para la definición de los requerimientos generales así como la tarea por parte del diseñador de detectar aquellos requerimientos que necesiten de una mayor definición; obtenidos los requerimientos se procede a la planeación rápida de una iteración necesaria para la elaboración de un modelado que se centrará en mostrar las características que serán visibles para el usuario final, dicho diseño rápido debe llevar a la construcción de un prototipo el cual se entregará a los participantes del proyecto quienes lo evaluarán entregando una retroalimentación que servirá para la mejora de los requerimientos; iniciando así de nuevo el ciclo de la metodología.

Las iteraciones ocurrirán a medida que el prototipo es afinado para satisfacer la necesidad de distintos participantes, y al mismo tiempo le permite entender lo que se necesita hacer.

Según (Pressman, 1998) el empleo de esta metodología gusta tanto a los participantes como a los ingenieros debido a que se adquiere una sensación del sistema real, y los desarrolladores logran construir algo de inmediato. No obstante, hacer prototipos tiene ciertas problemáticas debido a las siguientes razones:

- El cliente suele no percibir la realización de prototipos que solo tienen el fin de mostrar la funcionalidad del sistema y que dichos prototipos no toman en cuenta la calidad final por lo que la idea de rehacer el producto con tal de obtener índices de calidad óptimos no suele estar dentro del calendario del cliente.
- La selección de herramientas y software no óptimos o ideales para el sistema con la finalidad de demostrar la funcionalidad y capacidad del prototipo al momento de la evaluación y que al final del proyecto pasan a formar parte permanente del mismo por olvido del diseñador.

La clave para el uso de la metodología evolutiva de prototipos es la definición de las reglas desde el principio; todos los participantes deben estar de acuerdo en que el prototipo sirva como mecanismo para definir los requerimientos. Después al finalizar se descartará lo necesario y se hará ingeniería real con mirada puesta en la calidad.

Conforme a lo estipulado durante la primera etapa del proyecto se acordó una reunión con todos los participantes del proyecto, donde se estipularon una serie de requerimientos generales que seguiría el sistema y de los cuales fueron seleccionados aquellos de mayor impacto para darles una definición más precisa, de igual forma se estableció una reunión mensual para las revisiones con el cliente. El sistema se diseñaría desde cero y con enfoques prioritarios en el ahorro de energía, facilidad de mantenimiento, simplicidad de uso y portabilidad.

Durante las reuniones se evaluó por medió de la entrega de prototipos físicos o virtuales el avance logrado, a partir de los cuales se dio retroalimentación para la mejora del proyecto así como solución de dudas y detalles que ocurrían durante el diseño y construcción de los prototipos, asegurando así que la calidad y el funcionamiento fueran los deseados por el cliente.

El proyecto utiliza la combinación de tecnología Xbee y wifi para la realización del envío de información dentro del sistema y fuera respectivamente. En el uso de wifi es empleado para el modulo móvil del sistema donde se requiere la interacción del nodo con una aplicación Android y a su vez con la base de datos para el configuración de las mediciones y el envío de datos respectivamente. La tecnología Xbee es empleada para el envío de las mediciones tomadas entre los nodos fijos hacia la estación base, donde la arquitectura empleada es tipo estrella.

Capítulo 4

Desarrollo

“Una sonrisa es la llave secreta que abre muchos corazones.” – Baden Powell

4.1. Análisis

De acuerdo con la investigación de (Koutsos & Menexes, 2017), en la actualidad el uso de sistemas automatizados para el monitoreo de variables de entorno se ha expandido de forma notable, reflejándose en la disminución del costo de los diferentes componentes empleados en la automatización y en la aparición de una gran variedad de sistemas.

En este proyecto se realizó un sistema capaz de monitorear y almacenar información de un invernadero a través de dos subsistemas; el primero de ellos, el subsistema fijo, capaz de monitorear humedad, intensidad luminosa y temperatura del entorno, a través de una red de sensores constituida por nodos fijos, los cuales están intercomunicados y colocados de forma estratégica dentro del invernadero para la medición óptima de distintas áreas, además de una Estación de monitoreo capaz de recopilar la información obtenida por el grupo de nodos a través de módulos Xbee, para después enviarla a una base de datos y que pueda ser mostrada a través de un interfaz gráfico. El segundo subsistema, el subsistema autónomo, es un elemento extra al sistema tradicional de las redes de sensores en los invernaderos, cuya finalidad es aumentar el grado de versatilidad del sistema y de permitir a los viveristas reducir los tiempos en los procesos de muestreo individual de plantas; para subsistema se diseñó y construyó un Nodo móvil autónomo al sistema principal, que funciona por medio de wifi para el envío de datos a la base de datos, misma que maneja el subsistema fijo.

Tomando en cuenta que el sistema está formado por dos subsistemas importantes, la red de Nodos fijos y la red del Nodo móvil autónomo, el desarrollo de este capítulo se llevó a cabo tomando en cuenta este punto y se especifica por separado las diferentes etapas realizadas para cada subsistema.

4.1.1 Modelo Conceptual

En este apartado, se explica detalladamente el modelo conceptual de la red de nodos para la medición de parámetros físico-químicos en invernaderos de plantas ornamentales mostrado en la figura 1 del primer capítulo.

La red emplea dos tipos distintos de comunicación, ambas inalámbricas, por medio de red wifi y utilizando Xbee; además dentro del sistema de red de nodos hay dos tipos de nodos de sensores bien definidos acorde su finalidad.

El primer tipo de nodo es el móvil, este nodo se encarga de la medición directa en plantas de su pH y conductividad eléctrica. El Nodo fijo se encarga de la medición de temperatura, humedad e intensidad luminosa por áreas del invernadero, existiendo como mínimo 2 nodos por red.

El sistema completo de la red de nodos se subdivide en 4 subsistemas o módulos, la estación base, el nodo móvil, los nodos fijos y el módulo encargado del almacenamiento de datos.

Estación de monitoreo: Este módulo tiene como finalidad la captación de la información generada por los diferentes nodos fijos colocados dentro del invernadero, y su visualización de manera global e individual; se puede dividir en 3 funciones principales:

- **Conversión de datos:** Este elemento tiene la función de interpretar las señales enviadas por los sensores y transformarlas en datos que puedan ser manipulados dentro del sistema para su posterior envío y visualización.
- **Interfaz gráfica:** Esta parte del módulo tiene la función de mostrar los datos obtenidos por los nodos fijos en el presente a través de una vista principal, y además empleando vistas secundarias permitir configurar nodos nuevos.
- **Control del sistema:** Parte encargada de interpretar señales provenientes del hardware implicado con el módulo, para poder realizar configuraciones y verificaciones del sistema, como lo es consultar información del mismo módulo y nodos implicados, ejecutar reinicios, añadir nuevos nodos al sistema, entre otros.

Nodos Fijos: Este subsistema es un conjunto de nodos fijos colocados por áreas dentro del invernadero, cuya finalidad es mantener un monitoreo constante del invernadero de forma general. Los nodos de este subsistema funcionan en cooperación con la estación base y

forma una red con topología estrella, la mayoría del tiempo se mantienen dormidos para maximizar la duración de las baterías y todos miden las mismas variables.

Nodo Móvil: Es el módulo encargado de realizar mediciones puntuales dentro o fuera del invernadero y de forma independiente al módulo estático, empleando una conexión wifi para el envío de las mediciones realizadas a la base de datos para su almacenamiento. Para lograr un funcionamiento versátil este módulo cuenta con la capacidad de trabajar en dos modos distintos, que dependen de la conexión a la red wifi:

- **Modo Offline:** Este modo se empleará cuando la conexión wifi no sea posible, ya sea porque no exista una red en la cercanía o porque no se conozca la contraseña a dicha conexión. Este modo realizará las mediciones puntuales de pH y conductividad eléctrica cada vez que el usuario lo indique para después guardarlas en un archivo de registro dentro de un dispositivo de almacenamiento microSD, donde se mantendrán guardadas hasta el momento en que se tenga conexión.
- **Modo Online:** Este segundo modo se ejecutará siempre y cuando la conexión wifi exista y realizará las mediciones puntuales de pH y conductividad eléctrica cada que el usuario lo indique, e inmediatamente enviará la información a la base de datos, proceso realizado a cada medición tomada.

Almacenamiento de datos: Este módulo tiene la única función de recibir información proveniente de cualquiera de los otros dos módulos y almacenarla, así como también enviar la información guardada en caso de realizar una consulta.

4.1.2 Diagrama de actividades

4.1.2.1 Nodo móvil

El diagrama de actividades mostrado en la figura 3, muestra paso a paso el procedimiento general que sigue el Nodo móvil para realizar las mediciones además de indicar el acceso a sus dos modos de funcionalidad que dependen de la conexión a una red wifi con acceso a internet. Por medio de las figuras 4 y 5 se indica procedimiento seguido para cada uno de los modos de funcionalidad, el modo offline y online respectivamente.

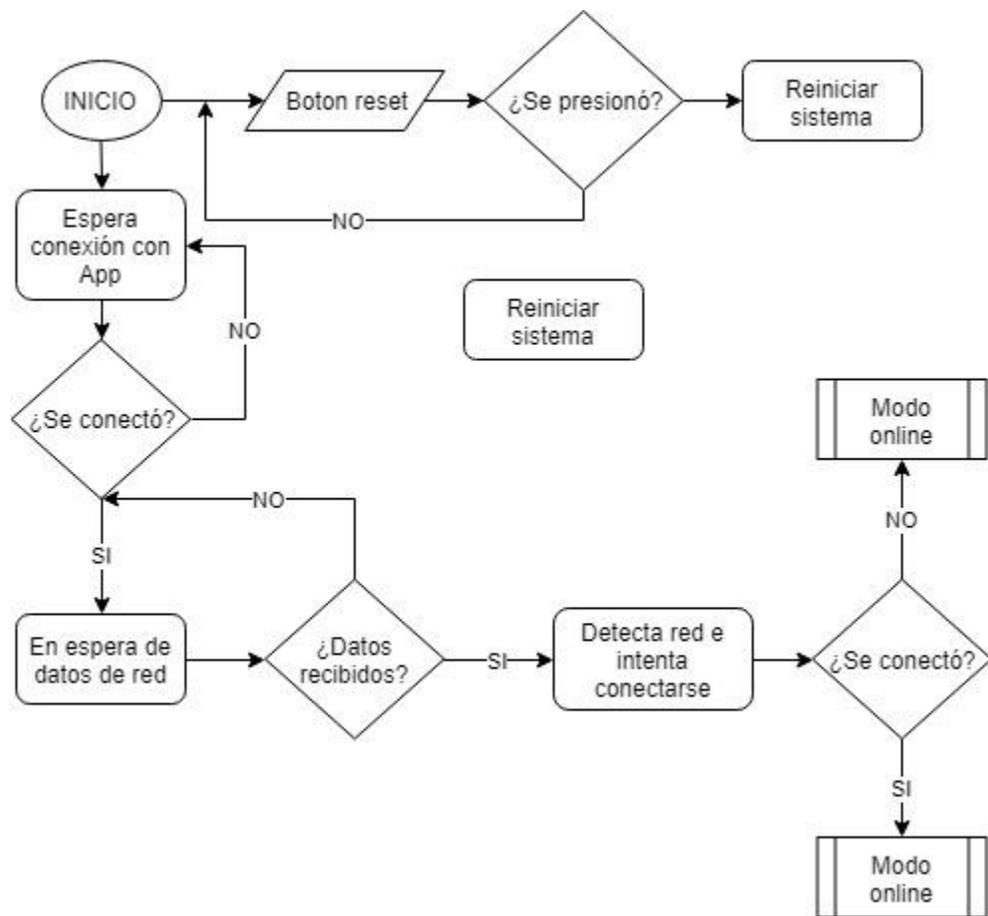


Figura 3. Diagrama de actividades general.

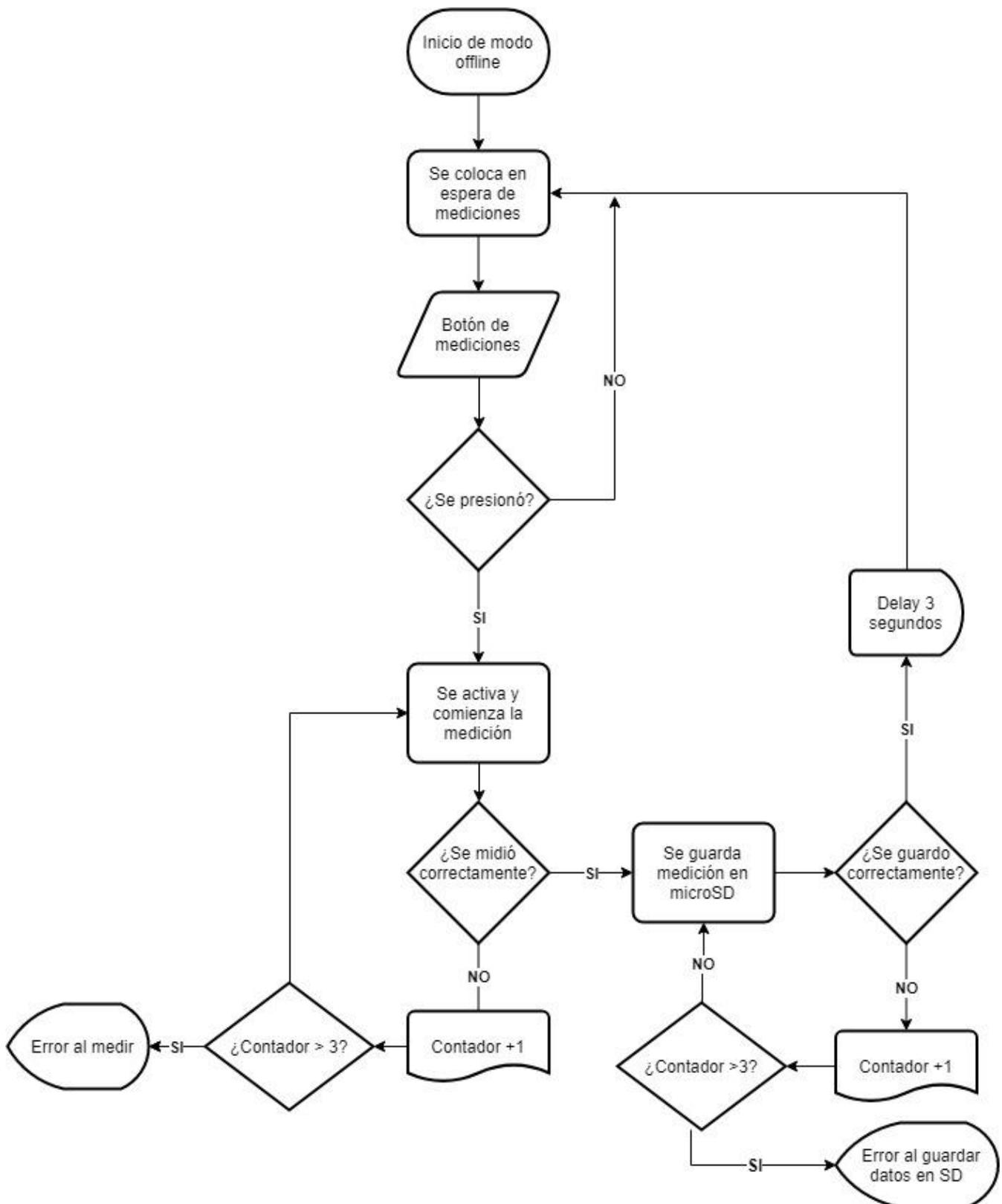


Figura 4. Diagrama de actividades del modo Offline.

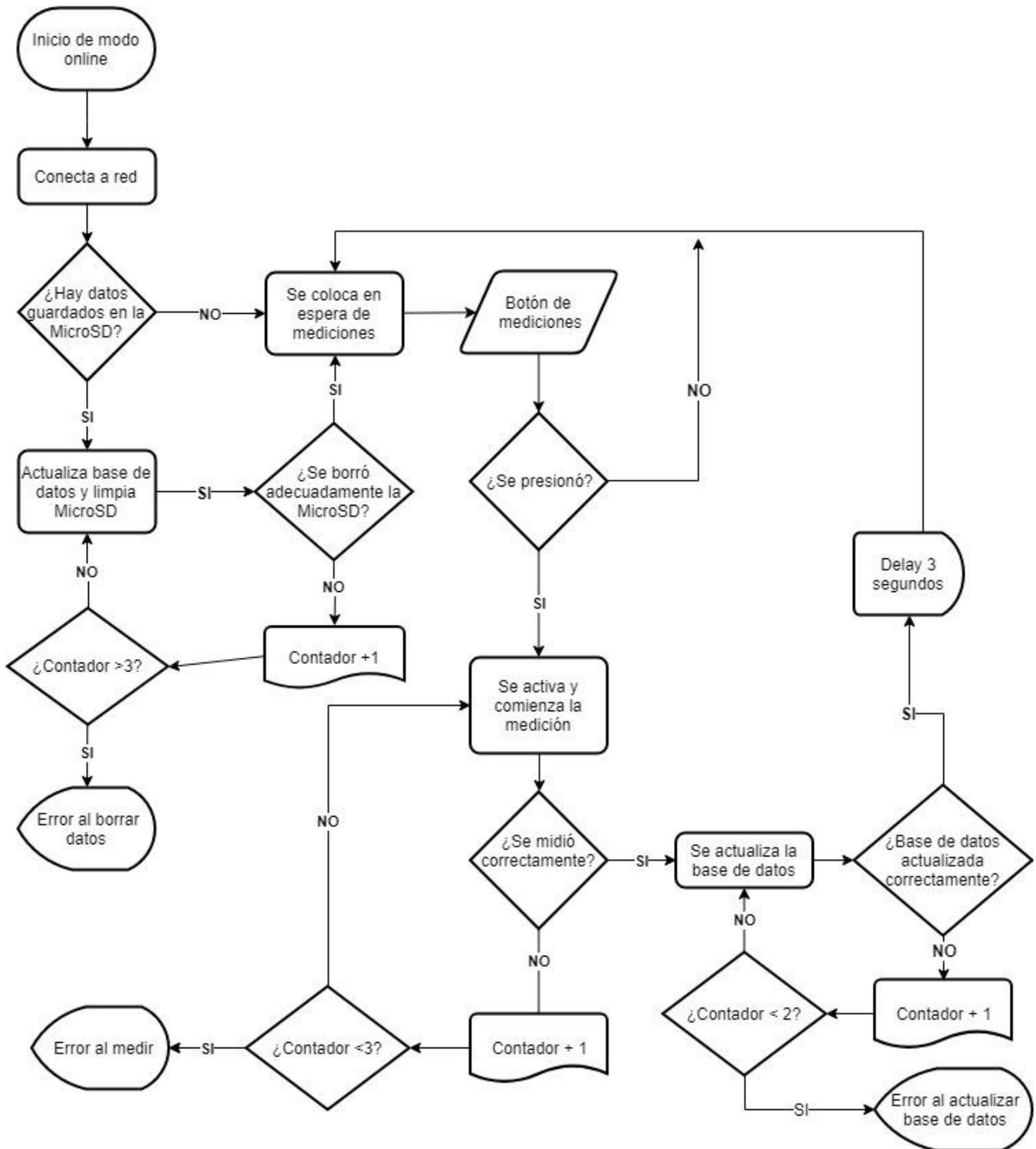


Figura 5. Diagrama de actividades de modo Online.

4.1.2.2 Nodo fijo

El diagrama de la figura 6, muestra el proceso que sigue el Nodo fijo para realizar sus mediciones.

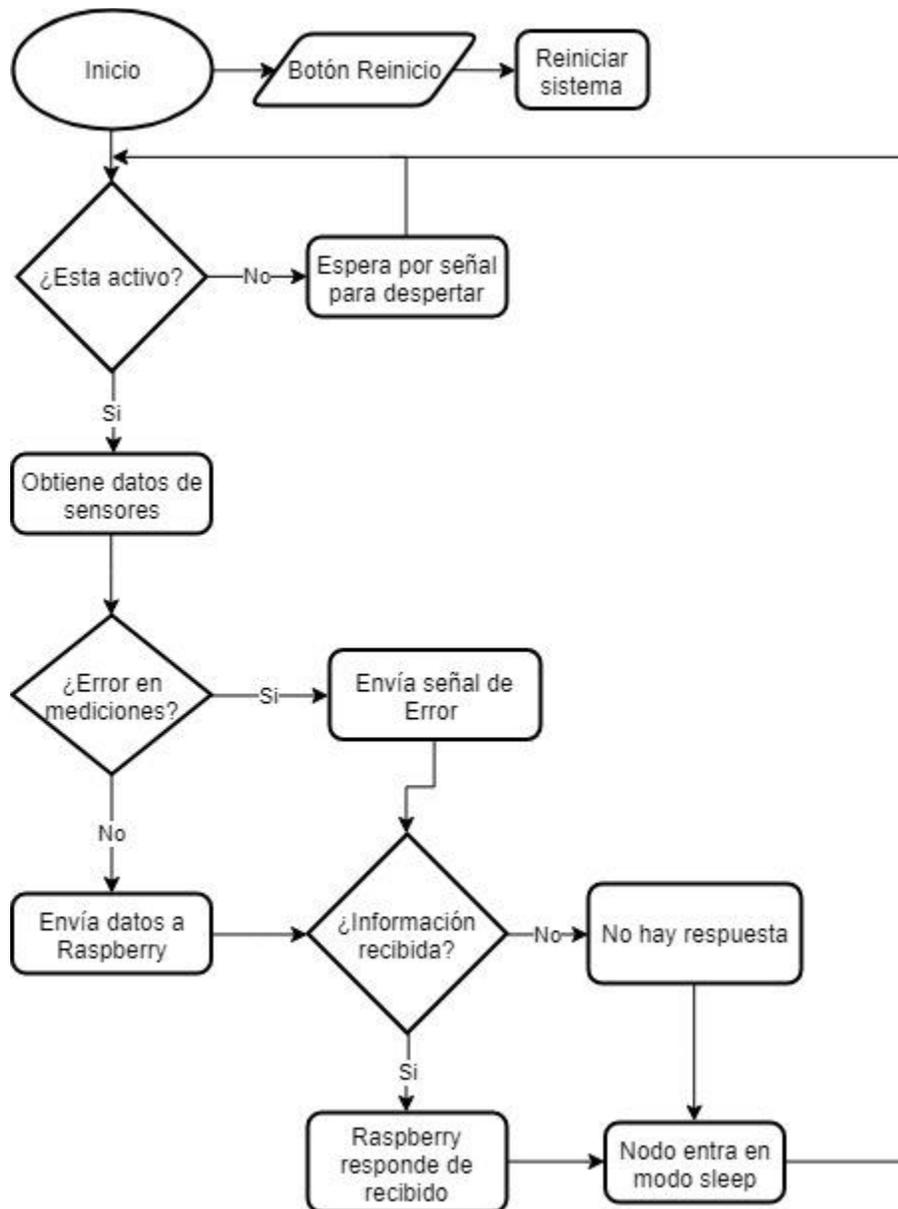


Figura 6. Diagrama de actividades para red de nodos fijos.

4.1.3 Diagrama de casos de uso

En la figura 7 se muestra el diagrama de casos de uso para obtener las mediciones y almacenar dicha información en la base de datos, para posteriormente estar disponible para consultas. Además señala, que para el Nodo móvil el viverista será el encargado de iniciar el proceso de medición, durante el cual se podrá visualizar los datos obtenidos en ese instante; y para la Estación de monitoreo la visualización de datos mostrará la última medición realizada por cada uno de los nodos fijos.

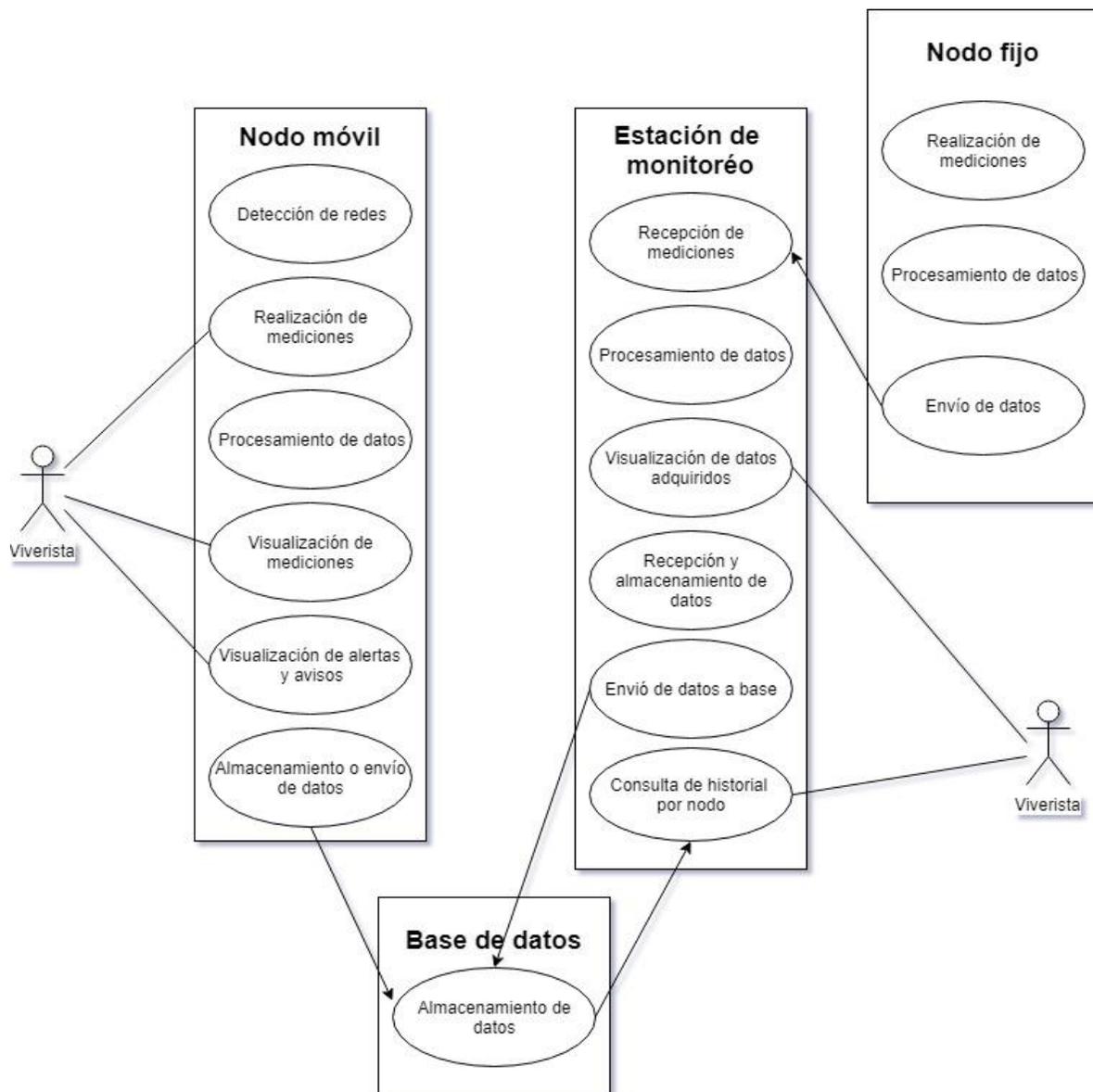


Figura 7. Diagrama de casos de uso.

4.1.4 Tabla de requerimientos de diseño

Esta sección recopila todos los requerimientos establecidos de manera conjunta con el cliente para el diseño de los distintos módulos, mostrados en las tablas 1 - 6, y que fueron cumplidos para lograr un manejo funcional del sistema.

4.1.4.1 Tabla de requerimientos de Nodo móvil

Tabla 1. Requisitos de diseño para Nodo móvil (uso).

| Requerimientos de diseño | | | |
|--|---------------|--|-----------|
| Proyecto: Red de sensores para el monitoreo de parámetros físico-químicos en invernaderos de plantas ornamentales. | | | |
| Requerimiento | Sub-categoría | Descripción | Prioridad |
| USO | Practicidad | Guardado modular | Deseado |
| | | Manejo intuitivo para usuario | Deseado |
| | Conveniencia | Minimizar el consumo energético | Necesario |
| | | Mínimo mantenimiento | Deseado |
| | Seguridad | Minimizar la posibilidad de cortos | Necesario |
| | | Mejor calidad posible en materiales empleados | Deseado |
| | Manipulación | Fácil acceso para cambio de batería | Necesario |
| | Ergonomía | Facilidad de desarme para su guardado | Deseado |
| | | Evitar la generación de múltiples interpretaciones | Necesario |
| | Transporte | Obviar forma de sujeción | Opcional |
| | | El movimiento no debe des calibrar el sistema | Necesario |
| | | Debe de ser de peso y dimensiones ideales para el manejo por una persona | Necesario |
| | Mantenimiento | Fácil limpieza exterior | Deseado |
| | | Facilidad de armado y des armado | Necesario |

Tabla 2.Requisitos de diseño para Nodo Móvil (función y estructurales).

| Requerimiento | Sub-categoría | Descripción | Prioridad |
|---------------|---------------|--|-----------|
| FUNCIÓN | Mecanismos | Función modular de ensamblaje. | Deseable |
| | | Posibilidad de cambiar componentes base en caso de avería. | Opcional |
| | Confiabilidad | Garantía de almacenamiento de datos | Necesario |
| | | Funcionalidad correcta durante la mayor parte del ciclo de la batería. | Necesario |
| | Versatilidad | Uso fuera del invernadero y con redes externas. | Necesario |
| | | Es posible su manejo sin la necesidad de una conexión a red. | Necesario |
| | Resistencia | Debe soportar la fuerza de sujeción del usuario. | Deseable |
| | | Debe resistir impactos leves causados durante la medición de suelos. | Deseable |
| | Acabado | Debe tener acabado sencillo pero agradable a la vista. | Deseable |
| | | El acabado ser debe ser lo más liso posible para evitar acumulación de suciedad. | Opcional |
| ESTRUCTURALES | Componentes | Cada componente debe tener su espacio claramente señalado. | Deseado |
| | | Los componentes contarán cada sus conectores individuales. | Deseado |
| | Carcasa | Emplear materiales para 3D printing. | Necesario |
| | | Debe resistir la temperatura en invernadero. | Necesario |
| | Unión | Debe ser de color oscuro, con preferencia en negro. | Opcional |
| | | Uniones tipo lego, tornillos y similares. | Necesario |

4.1.4.2 Tabla de requerimientos de Nodos fijos

Tabla 3. Requisitos de diseño para nodo fijo (uso).

| Requerimientos de diseño | | | |
|--|---------------|---|-----------|
| Proyecto: Red de sensores para el monitoreo de parámetros físico-químicos en invernaderos de plantas ornamentales. | | | |
| Requerimiento | Sub-categoría | Descripción | Prioridad |
| USO | Practicidad | Montaje rápido y sencillo | Deseado |
| | | Manejo intuitivo para usuario | Deseado |
| | Conveniencia | Minimizar el consumo energético | Necesario |
| | | Mínimo mantenimiento | Deseado |
| | Seguridad | Minimizar la posibilidad de cortos | Necesario |
| | | Mejor calidad posible en materiales empleados | Deseado |
| | Manipulación | Fácil acceso para cambio de batería | Necesario |
| | Ergonomía | Facilidad de guardado | Deseado |
| | | Obviar forma de sujeción | Opcional |
| | Transporte | El movimiento no debe des calibrar el sistema | Necesario |
| | | Peso y dimensiones ideales para el manejo por una persona | Necesario |
| | Mantenimiento | Fácil limpieza exterior | Deseado |
| | | Facilidad de armado y des armado | Necesario |

Tabla 4. Requisitos de diseño para nodo fijo (función y estructurales).

| Requerimiento | Sub-categoría | Descripción | Prioridad |
|---------------|---|--|-----------|
| FUNCIÓN | Mecanismos | Tapa de fácil acceso | Deseable |
| | | Conexión modular de componentes base | Opcional |
| | Confiabilidad | Aseguramiento de envío de datos. | Necesario |
| | | Funcionalidad correcta durante la mayor parte del ciclo de la batería. | Necesario |
| | Versatilidad | Adaptable al cambio de zona de medición | Necesario |
| | | Alto rango de alcance | Necesario |
| | Resistencia | Debe soportar la fuerza de sujeción del usuario. | Deseable |
| | | Debe resistir impactos leves causados por caídas leves | Deseable |
| | Acabado | Debe tener acabado sencillo pero agradable a la vista. | Deseable |
| | | El acabado ser debe ser lo más liso posible para evitar acumulación de suciedad. | Opcional |
| ESTRUCTURALES | Componentes | Cada componente debe tener su espacio claramente señalado. | Deseado |
| | | Los componentes contarán cada sus conectores individuales. | Deseado |
| | Carcasa | Emplear materiales para 3D printing. | Necesario |
| | | Debe resistir la temperatura en invernadero. | Necesario |
| | Unión | Debe ser de color oscuro, con preferencia en negro. | Opcional |
| | Uniones tipo lego, tornillos y similares. | Necesario | |

4.1.4.3 Tabla de requerimientos de Estación de monitoreo.

Tabla 5. Requisitos de diseño para Estación Base (uso).

| Requerimientos de diseño | | | |
|--|---------------|--|-----------|
| Proyecto: Red de sensores para el monitoreo de parámetros físico-químicos en invernaderos de plantas ornamentales. | | | |
| Requerimiento | Sub-categoría | Descripción | Prioridad |
| USO | Practicidad | Agregado de nodos automático | Deseado |
| | | Administración de nodos automática | Deseado |
| | Conveniencia | Minimizar el consumo energético | Necesario |
| | | Mínimo mantenimiento | Deseado |
| | | Apoyo de energía solar | Deseado |
| | Seguridad | Minimizar la posibilidad de cortos | Necesario |
| | | Mejor calidad posible en materiales empleados | Deseado |
| | Manipulación | Carga de batería sin desarme | Necesario |
| | Ergonomía | Facilidad de armado | Deseado |
| | | Armado intuitivo | Necesario |
| | Mantenimiento | Fácil limpieza exterior | Deseado |
| | | Reemplazo de batería sencillo | Deseado |
| | | Evitar generación de espacios difíciles de alcanzar. | Deseado |
| | | Facilidad de armado y des armado | Necesario |

Tabla 6.Requisitos de diseño para Estación Base (función y estructurales).

| Requerimiento | Sub-categoría | Descripción | Prioridad |
|---------------|---------------|--|-----------|
| FUNCIÓN | Mecanismos | Carga por panel solar | Deseable |
| | | Posibilidad de cambiar componentes base en caso de avería. | Opcional |
| | Confiabilidad | Garantía de almacenamiento de datos | Necesario |
| | | Funcionalidad correcta durante la mayor parte del ciclo de la batería. | Necesario |
| | Versatilidad | Uso con o sin celda solar conectada. | Deseable |
| | | Detección de distancias de nodos para optimización | Opcional |
| | Resistencia | Debe soportar la temperatura y humedad dentro de los invernaderos. | Necesario |
| | | Debe resistir la caída de agua y agentes corrosivos. | Necesario |
| | Acabado | Debe tener acabado sencillo pero agradable a la vista. | Deseable |
| | | El acabado ser debe ser lo más liso posible para evitar acumulación de suciedad. | Opcional |
| ESTRUCTURALES | Componentes | Cada componente debe tener su espacio claramente señalado. | Deseable |
| | | Los componentes contarán cada sus conectores individuales. | Deseable |
| | Carcasa | Celda solar modular | Deseable |
| | | Uso de materiales para 3D printing. | Necesario |
| | | Color negro | Opcional |
| | Unión | Se debe tener en cuenta uniones tipo lego, tornillos y similares. | Necesario |
| | | Colocación sobre una estructura metálica. | Necesario |

4.2 Diseño

En esta sección se muestran los diferentes diagramas y procesos para el almacenamiento de información en la base de datos, así como también la programación empleada para los distintos módulos.

4.2.1 Modelo de datos

La figura 8 muestra el diseño de la estructura y las relaciones para la base de datos en MySQL.

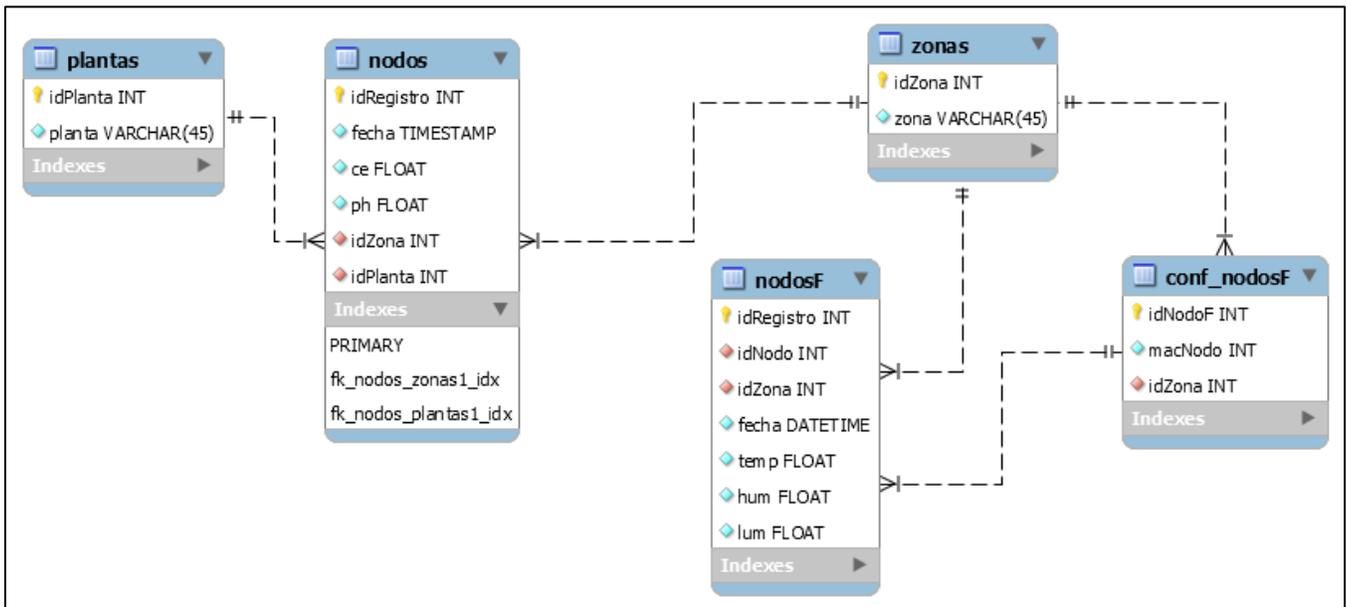


Figura 8. Diagrama entidad-relación de base de datos para red de sensores.

4.2.2 Diccionario de datos

El diccionario de datos con los parámetros establecidos en MySQL para las diferentes tablas que son incluidas dentro de la base de datos del invernadero, es mostrado a través de las tablas 7 - 11.

Tabla 7. Tabla de nodo móvil.

| Tabla nodos | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------------|--------------|---------|-----------------|--------------|---------------|------------|----------------------------|
| Nombre de campo | Descripción | Tipo de dato | Formato | Valor nulo(S/N) | Restricción | Indexar (S/N) | PK,CK o FK | Clave Externa y referencia |
| idRegistro | Numero identificador de registros | Int(11) | | N | idRegistro>0 | S | PK | |
| idZona | Numero identificador de zonas | Int(11) | | N | idZona > 0 | S | FK | zonas (idZona) |
| idPlanta | Numero identificador de plantas | Int(11) | | N | idPlanta >0 | S | FK | plantas (idPlanta) |
| fecha | Fecha de registro | timestamp | | N | | N | | |
| ce | conductividad eléctrica medida | Float | | N | | N | | |
| ph | pH medido | Float | | N | | N | | |

Tabla 8. Tabla de nodo fijo.

| Tabla nodosF | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------------|--------------|---------|-----------------|--------------|---------------|------------|----------------------------|
| Nombre de campo | Descripción | Tipo de dato | Formato | Valor nulo(S/N) | Restricción | Indexar (S/N) | PK,CK o FK | Clave Externa y referencia |
| idRegistro | Numero identificador de registros | Int(11) | | N | idRegistro>0 | S | PK | |
| idZona | Numero identificador de zonas | Int(11) | | N | idZona > 0 | S | FK | zonas (idZona) |
| fecha | Fecha de registro | timestamp | | N | | N | | |
| temp | Temperatura medida | Float | | N | | N | | |
| hum | Humedad medida | Float | | N | | N | | |
| lum | Intensidad luminosa medida | Float | | N | | N | | |

Tabla 9. Tabla de zonas.

| Tabla zonas | | | | | | | | |
|-----------------|-------------------------------|--------------|---------|-----------------|-------------|--------------|------------|----------------------------|
| Nombre de campo | Descripción | Tipo de dato | Formato | Valor nulo(S/N) | Restricción | Indexar(S/N) | PK,CK o FK | Clave Externa y referencia |
| idZona | Numero identificador de zonas | Int(11) | | N | idZona > 0 | S | PK | |
| zona | Nombre de la zona | Varchar(45) | | N | | N | | |

Tabla 10. Tabla de plantas.

| Tabla plantas | | | | | | | | |
|-----------------|--------------------------------|--------------|---------|-----------------|-------------|---------------|------------|----------------------------|
| Nombre de campo | Descripción | Tipo de dato | Formato | Valor nulo(S/N) | Restricción | Indexar (S/N) | PK,CK o FK | Clave Externa y referencia |
| idPlanta | Numero identificador de planta | Int(11) | | N | idPlanta>0 | S | PK | |
| planta | Nombre de la planta | Varchar(45) | | N | | N | | |

Tabla 11. Tabla de configuración de Nodos fijos.

| Tabla conf_nodosF | | | | | | | | |
|-------------------|--------------------------------|--------------|---------|-----------------|-------------|---------------|------------|----------------------------|
| Nombre de campo | Descripción | Tipo de dato | Formato | Valor nulo(S/N) | Restricción | Indexar (S/N) | PK,CK o FK | Clave Externa y referencia |
| idNodoF | Numero identificador de planta | Int(11) | | N | idNodoF>0 | S | PK | |
| macNodo | Dirrección única de Xbee | Int(11) | | N | macNodo>0 | N | | |
| idZona | Numero identificador de zonas | Int(11) | | N | idZona > 0 | S | FK | zonas (idZona) |

4.2.3 Diagrama de navegación

En esta sección se muestra brevemente por medio de las figuras 9 y 10 la secuencia de navegación para la aplicación móvil y dentro de la interfaz de la Estación de monitoreo.

4.2.3.1 Aplicación móvil

La visualización de la aplicación tiene pocas pantallas con la finalidad de mantener simple el uso de la aplicación, la pantalla principal permite actualizar la aplicación con respecto a la base de datos e iniciar, comenzando por elegir el nombre y contraseña del nodo a cual conectarse para después de conectado configurar los parámetros de medición en el nodo.

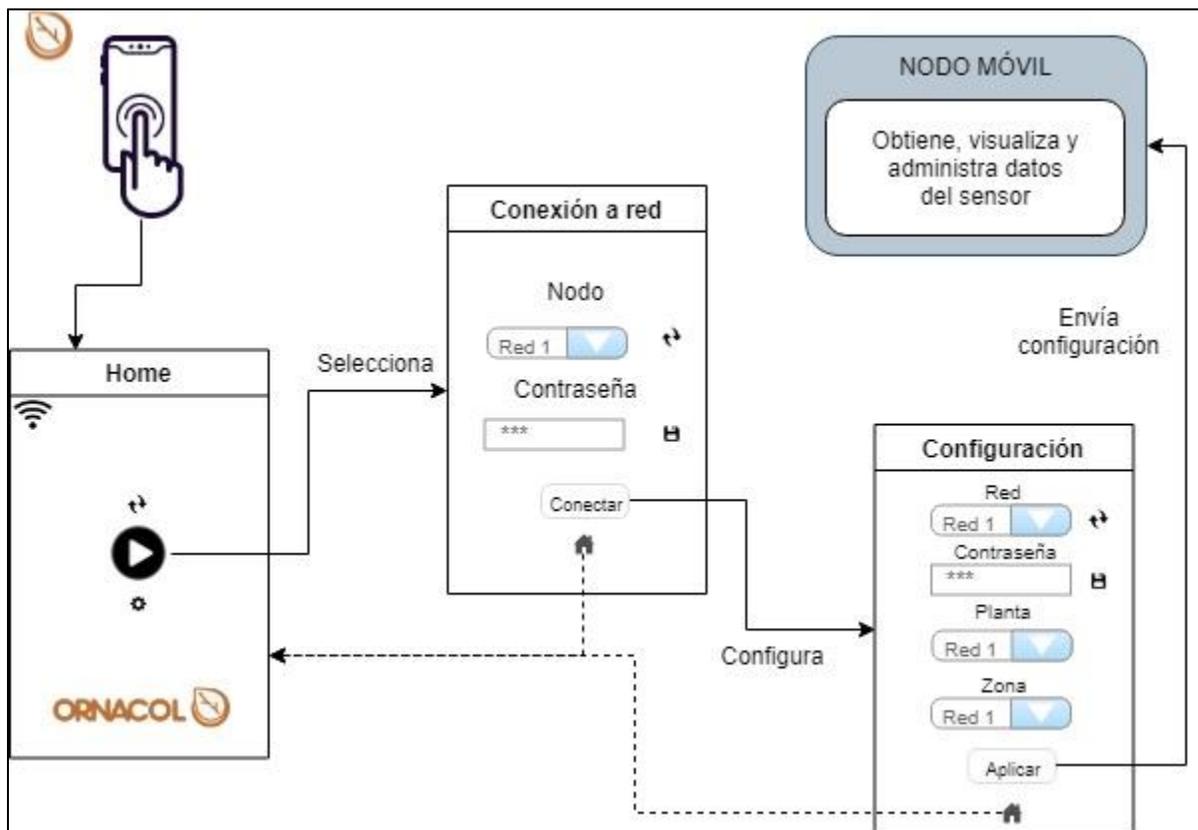


Figura 9. Diagrama de actividades de aplicación móvil.

4.2.3.2 Interfaz de Estación de monitoreo

La interfaz de la Estación de monitoreo solo cuenta con dos ventanas, en la ventana home es posible visualizar la información obtenida de los nodos indicando a cual nodo le pertenece, y presionando el botón Agregar nodo muestra la segunda ventana en la que podemos observar un pequeño formulario para registrar un nuevo nodo.

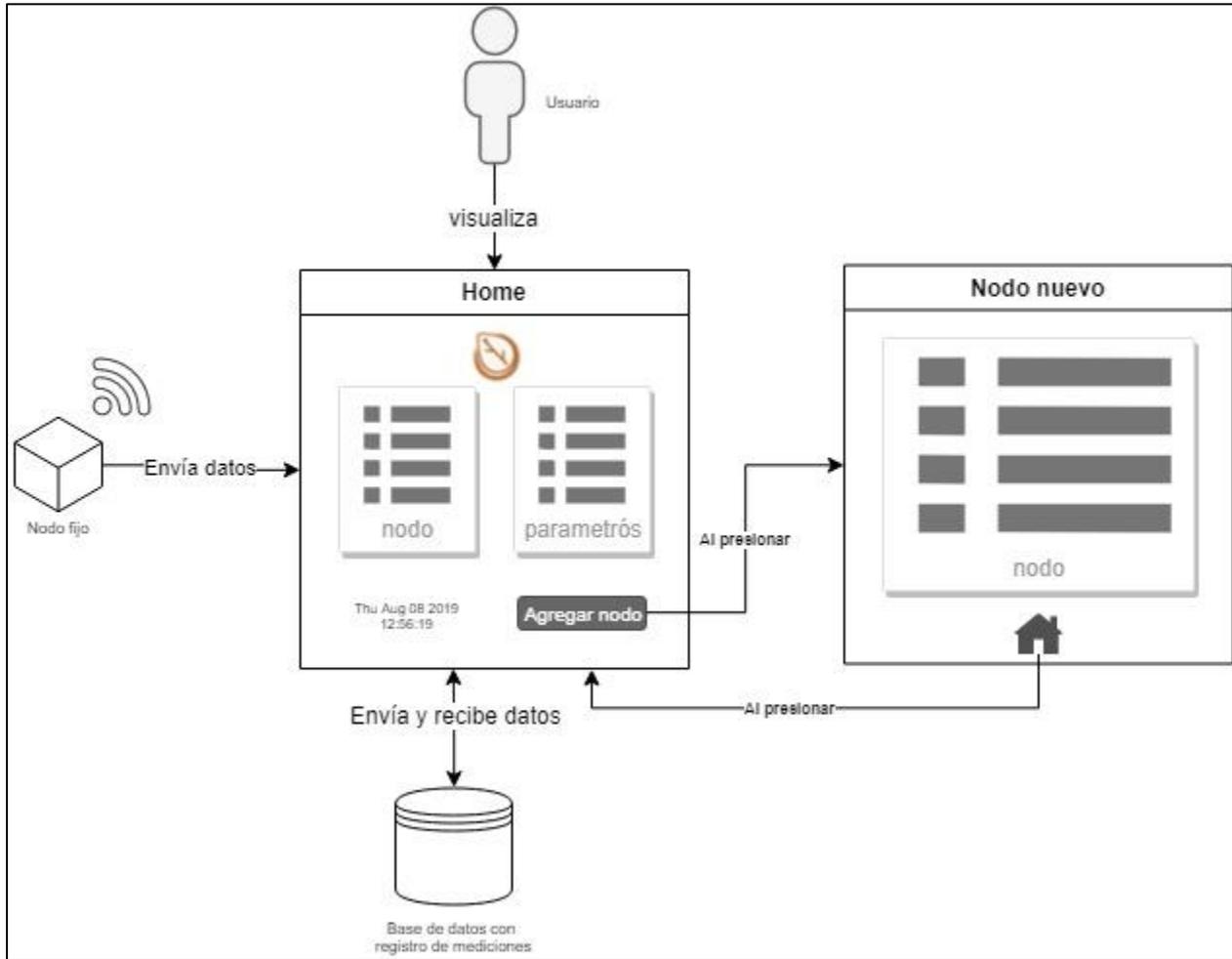


Figura 10. Diagrama de navegación para interfaz Estación base.

4.2.4 Modelo de interfaces

4.2.4.1 Aplicación móvil

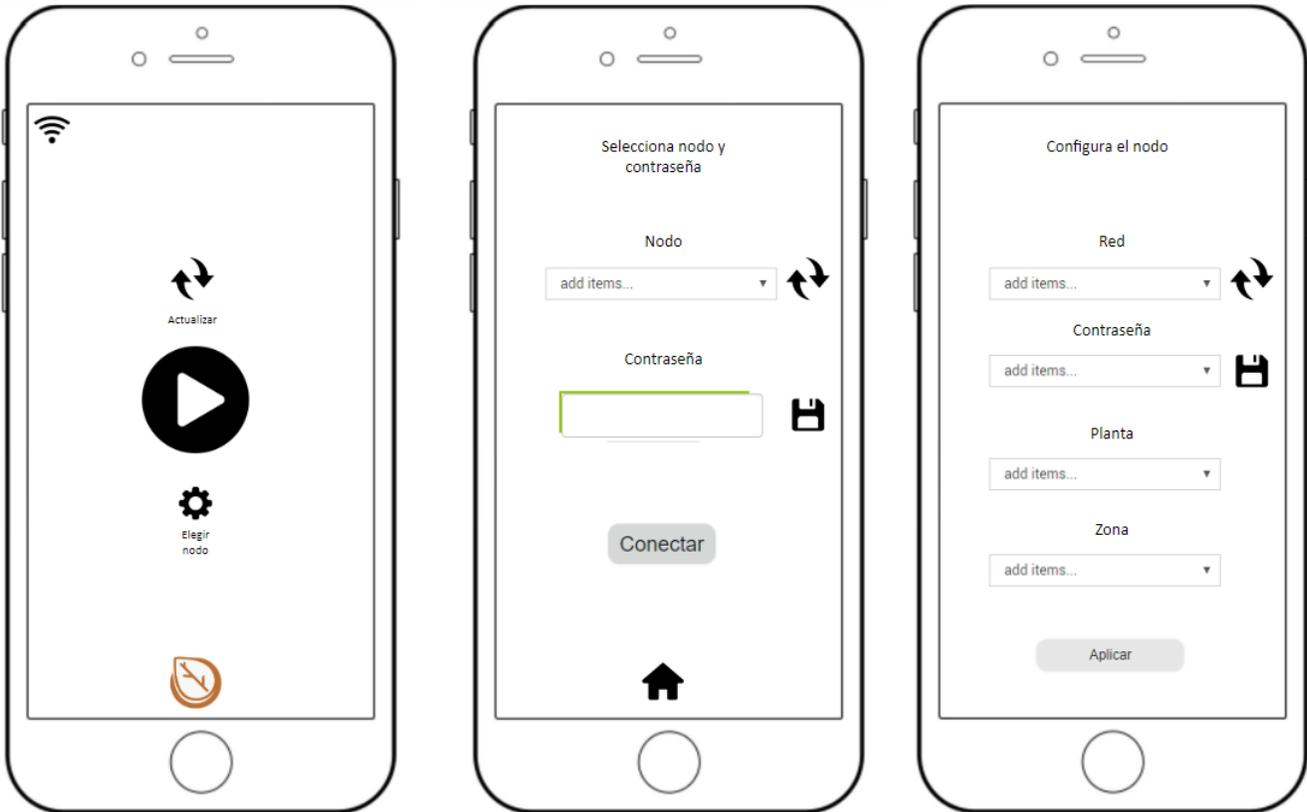


Figura 11. Interfaz de aplicación para Nodo móvil.

4.2.4.2 Estación base

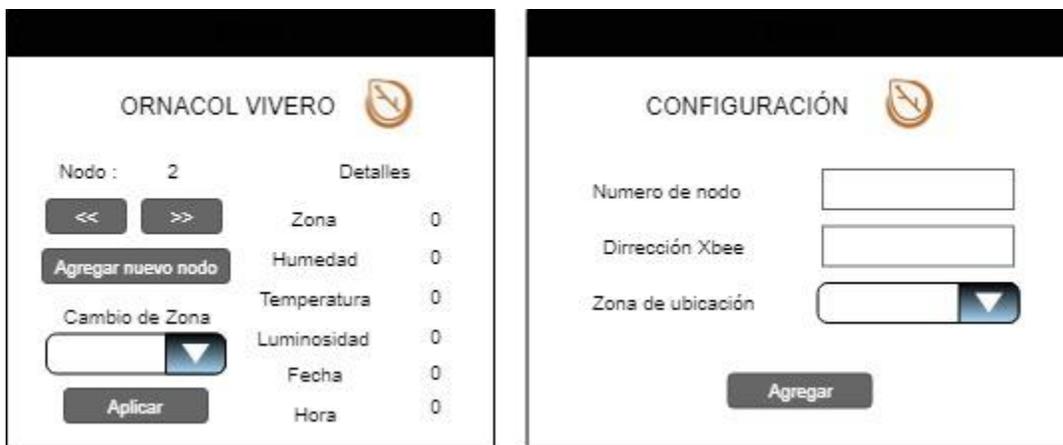


Figura 12. Interfaz para Estación de monitoreo.

4.2.5 Código PHP

El código en las figuras 13, 14 y 15 es el parte del utilizado para realizar consultas e inserciones en la base de datos, hecho en PHP, se encarga de recibir y enviar información tanto del Nodo móvil como de la estación base.

```
<?php
foreach ($_POST as $Key=>$value){
    echo "Recibidos".$Key." ".$value."\n"; |
}

$ce = $_POST["ce"];
$ph = $_POST["ph"];
$idPlanta = $_POST["idPlanta"];
$idZona = $_POST["idZona"];

$host = "localhost";
$dbusername = "ornazhev_ornacol";
$dbpassword = "Orquidea";
$dbname = "ornazhev_Nodos";
$fecha = date("Y-m-d H:i:s");

$conn = new mysqli ($host, $dbusername, $dbpassword, $dbname);

if (mysqli_connect_error()){
    die('Connect Error ('. mysqli_connect_errno() .') '
        . mysqli_connect_error());
}
else{
    $sql = "INSERT INTO nodos (ce,ph,idPlanta,idZona,fecha)
    values ('$ce','$ph','$idPlanta','$idZona','$fecha)";
    if ($conn->query($sql)){
        echo "Nuevo registro agregado exitosamente";
    }
    else{
        echo "Error: ". $sql ."
        ". $conn->error;
    }
    $conn->close();
}
?>
```

Figura 13. Código para inserciones del Nodo móvil en la Base de datos.

```

<?php
foreach ($_POST as $Key=>$value){
    echo "Recibidos".$Key." ".$value."\n";
}

$temp = $_POST["temp"];
$hum = $_POST["hum"];
$lum = $_POST["lum"];
$idZona = $_POST["idZona"];
$idNodo = $_POST["idNodo"];

$host = "localhost";
$dbusername = "ornazhev_ornacol";
$dbpassword = "Orquidea";
$dbname = "ornazhev_Nodos";
$fecha = date("Y-m-d H:i:s");

$conn = new mysqli ($host, $dbusername, $dbpassword, $dbname);

if (mysqli_connect_error()){
    die('Connect Error ('. mysqli_connect_errno() .') '
        . mysqli_connect_error());
}
else{
    $sql = "INSERT INTO nodosF (temp,hum,lum,idZona,idNodo,fecha)
values ('$temp','$hum','$lum','$idZona','$idNodo','$fecha)";
    if ($conn->query($sql)){
        echo "Nuevo registro agregado exitosamente";
    }
    else{
        echo "Error: ". $sql ."
". $conn->error;
    }
    $conn->close();
}
?>

```

Figura 14. Código para inserciones de la Estación base en la Base de datos.

```

<?php
$host = "localhost";
$dbusername = "ornazhev_ornacol";
$dbpassword = "Orquidea";
$dbname = "ornazhev_Nodos";
$csv_output = "";

|
$conn = new mysqli ($host, $dbusername, $dbpassword, $dbname);

if (mysqli_connect_error()){
    die('Connect Error ('. mysqli_connect_errno() .') '
        . mysqli_connect_error());
}

$result = mysqli_query($conn, "SHOW COLUMNS FROM plantas");
$num_rows = mysqli_num_rows($result);
if ($num_rows > 0) {

$values = mysqli_query($conn, "SELECT * FROM plantas");
while ($row = mysqli_fetch_row($values)) {
    for ($j=0;$j<$num_rows;$j++) {
        $csv_output .= $row[$j].",";
    }
    $csv_output .= "\n";
}

}

print $csv_output;
?>

```

Figura 15.Código para consulta en tabla de plantas.

4.2.6 Código implementado en Arduino

4.2.6.1 Código para Nodo móvil

En la figura 16, se muestra parte del código realizado en IDE de Arduino para el Nodo móvil, que se encarga de medir los diferentes parámetros a través del nodo, intercambiar información entre el nodo y la base de datos, además de mostrar mensajes y alertas del comportamiento del nodo.

```
void setup()
{
  pinMode(3, INPUT);
  pinMode(A0, INPUT_PULLUP);

  tft.initR(INITR_BLACKTAB); // Inicializa a ST7735S chip, black tab
  tft.fillScreen(BLACK);
  tft.setTextColor(WHITE);
  tft.setTextSize(2);
  tft.setCursor(5,70);
  tft.print("BIENVENIDO");
  delay(1000);

  String archivo;
  if(!SD.begin(chipSelect)){ //detecta si la microSD esta colocada
    tft.fillScreen(BLACK);
    tft.setCursor(20,50);
    tft.print("Ausencia");
    tft.setCursor(50,75);
    tft.print("de");
    tft.setCursor(25,100);
    tft.print("MicroSD");
    return;
  }

  WiFi.mode(WIFI_AP);
  WiFi.softAP(ssid_nodo,pass_nodo,1,0); // ssid,password
  server.on("/",[]){server.send(200,"text/plain","ok");}; //Respuesta que da el servidor al acceder
  server.on("/config",configuracion); //configuración es la respuesta del server al dar clic en la app
  server.begin();
  while(activador!="1")
  {
    server.handleClient();
  }
  conectar();
  if(modos==1){
    onlineMode();
  }else{
    offlineMode();
  }
}
```

Figura 16. Código de funcionamiento de Nodo móvil.

4.2.6.2 Código para Estación de monitoreo

A continuación en la figura 17, se puede observar el código empleado para Arduino UNO que trabaja en conjunto con el módulo Xbee para recibir y comprender la información enviada por los nodos fijos y reenviarla a la Raspberry.

```
byte lectura[23];

void setup(){
  Serial.begin(9600);
}

void loop(){
  if (Serial.available() >= 21){
    if (Serial.read() == 0x7E){
      for (int i = 1; i <= 26; i++) {
        delay(50);
        //lectura[i] = Serial.read();
        Serial.print(Serial.read());
        Serial.print(",");
      }
      Serial.println("");
    }
  }
}
```

Figura 17. Código para recepción de datos para Estación base.

4.2.7 Código en Python

La figura 18 muestra parte del código empleado para la generación de la interfaz que muestra la Estación de monitoreo, el cual permite la obtención y transformación de datos provenientes de módulos xbee de los nodos fijos y el envío de toda la información a la base de datos para su posterior consulta.

```
self.label_fecha.setText(_translate("MainWindow", "Fecha:"))
self.label_vfecha.setText(_translate("MainWindow", "0"))
self.label_vhora.setText(_translate("MainWindow", "0"))

self.timeout = 0
self.always()
self.check_serial_event()
self.label_vstatus.setText("activo")
self.label_vzona.setText("1")
self.label_numNodo.setText("2")

def check_serial_event(self):
    self.timeout += 1
    serial_thread = threading.Timer(1, self.check_serial_event)
    lectura = []
    if ser.is_open == True:
        serial_thread.start()
        if ser.in_waiting:

            while True:
                c = ser.readline().decode('ascii')
                if c:
                    break
            readL = len(c)
            dato = ""
            cont = 0
            vhum = ""
            vtemp = ""
            vlum = ""
            |

            for i in range (readL):
                if c[i] != ',' and c[i] != '\r':
                    dato += c[i]
                else:
                    lectura.append(dato)
```

Figura 18. Código en Python para la Estación de monitoreo.

4.2.8 Código generado en Appinventor

Para la generación de la aplicación para celular que interactúa con el Nodo móvil, se optó por el uso Appinventor, en la figura 19, se puede observar parte del código empleado para construcción de la aplicación.

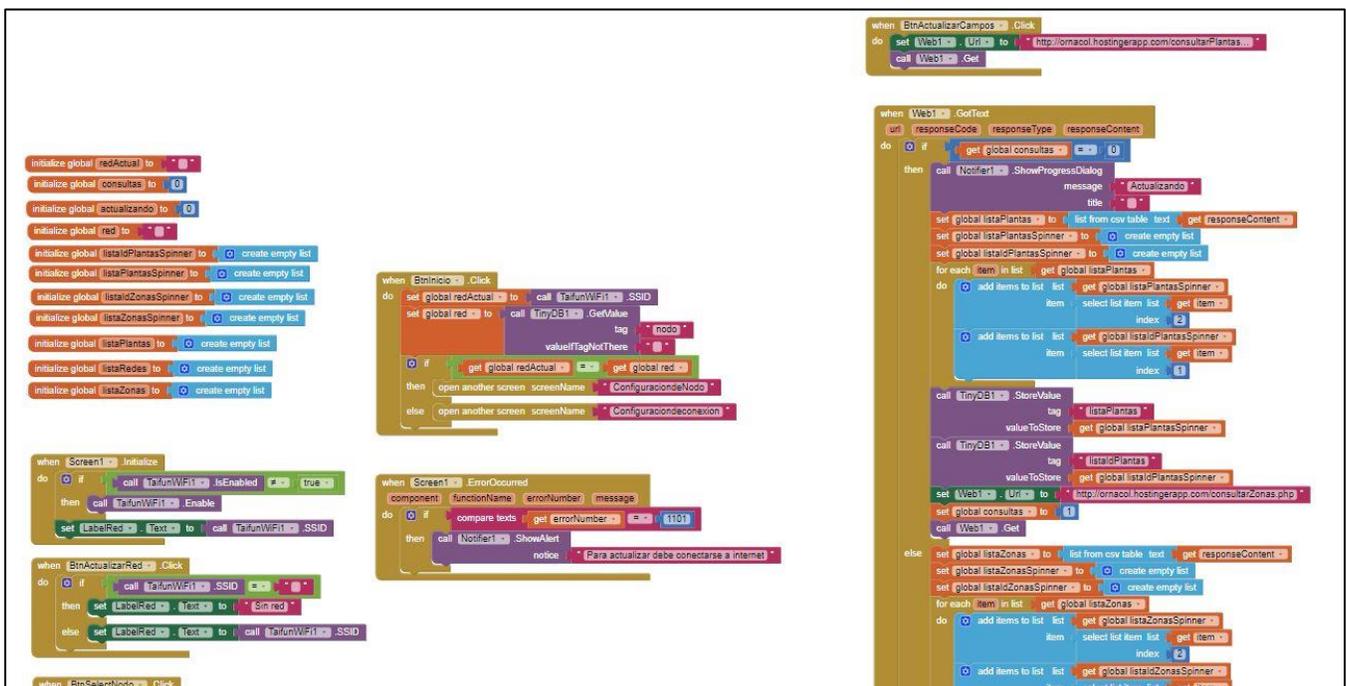


Figura 19. Código por bloques generado en Appinventor.

4.2.9 Selección de componentes

La selección de componentes mencionada en esta sección abarca una descripción corta de los componentes principales y su función en el sistema, todos relacionados a la fabricación tanto del nodo móvil como del fijo.

4.2.9.1 Wemos D1 mini

Empleado en el Nodo móvil, es una placa pequeña de apenas 34.2mm x 25.6mm que como se describió en la sección 2.3.16 cuenta con múltiples características ideales para una aplicación móvil, entre las cuales destacan su gasto energético, su tamaño y su capacidad para realizar comunicación inalámbrica por medio de wifi sin necesidad de un módulo extra.

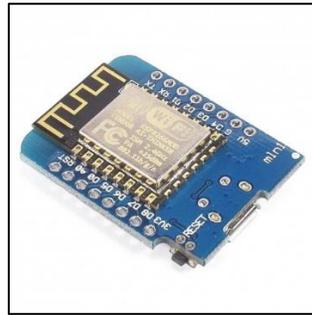


Figura 20. Wemos D1 mini.

4.2.9.2 Sensor de pH AtlasScientific

Este sensor es el encargado de la medición de pH en el suelo cercano a las plantas, funciona en conjunto con el circuito EZO-pH del mismo fabricante. Funciona dentro del rango de medición de 0 a 14, opera de 3.3V a 5V un tiempo de respuesta de 1s la mayoría del tiempo, una precisión de +/- 0.002 y con una resistencia adecuada para su empleo directo en tierra.

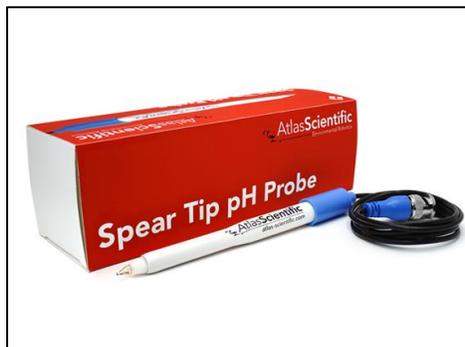


Figura 21. Sensor de pH AtlasScientific.

4.2.9.3 Sensor de conductividad eléctrica

Para la medición de la conductividad eléctrica en tierra se seleccionó el sensor de humedad de modelo YL – 38 en conjunto a la sonda YL – 69, para adaptarlo y realizar mediciones de conductividad eléctrica, lo cual es posible debido a que su funcionamiento se rige por la medición resistencia del suelo (Talos Electronics) la cual puede ser calculada para obtener la conductividad eléctrica del suelo.

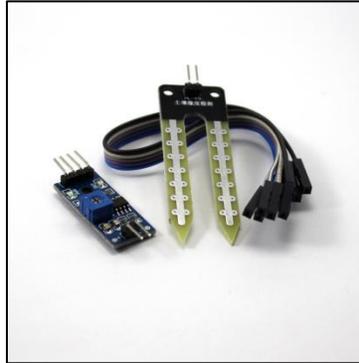


Figura 22. Sensor de humedad de suelo.

4.2.9.4 Batería NCR18650GA

Batería recargable de tipo 18650 seccionada para la alimentación de ambos nodos, con una capacidad de 3500mA y un voltaje de salida de 3.7V.



Figura 23. Batería NCR18650GA.

4.2.9.5 Cargador de baterías Tp4056

Es un minúsculo módulo perfecto para la carga de baterías LiPo o Li-ion de una sola celda de 3.7V como las 16550 o las 18650, contiene un circuito de protección, para que se tus baterías no reciban ningún daño. Basado en el chip TP4056 y el chip de protección de batería DW01 este módulo ofrecerá una corriente de carga de 1A y luego se cortará cuando haya terminado de carga, lo que ayudará a optimizar el tiempo de vida útil de tu batería. Además, cuando el voltaje de la batería cae por debajo de 2,4V, el chip de protección desconectará la carga para proteger la celda de funcionar a una tensión demasiado baja y también protege contra la conexión de sobretensión y polaridad inversa (Geek Factory, 2019).

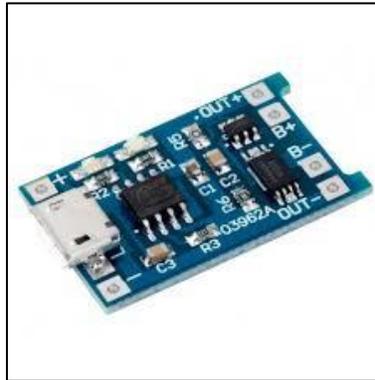


Figura 24. Módulo regulador de baterías.

4.2.9.6 Modulo regulador Mt3608

El convertidor de voltaje DC-DC Step-Up 2A MT3608, implementado como medio para controlar la variación en el voltaje debido a la descarga de las baterías los nodos fijos y el Nodo móvil, tiene como función entregar un voltaje de salida constante superior al voltaje de entrada frente a variaciones del voltaje de entrada o de carga. Soporta corrientes de salida de hasta 2A, voltaje de entrada entre 2V a 24V y voltaje de salida entre 2V a 28V (AEROSEMI).

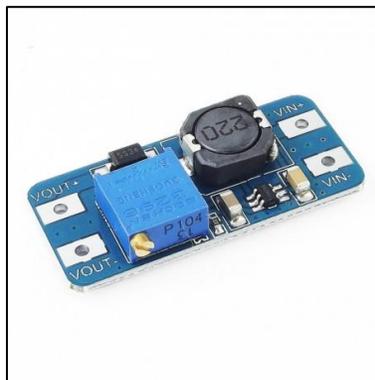


Figura 25. Módulo regulador.

4.2.9.7 Módulo Xbee S3B PRO

Para la comunicación entre los nodos fijos y la estación base se optó por el uso de los módulos Xbee S3B PRO, los cuales trabajan a una frecuencia de 900MHz y son capaces de realizar conexiones punto a punto y punto a multipunto, y están diseñados para tramos de largo alcance.

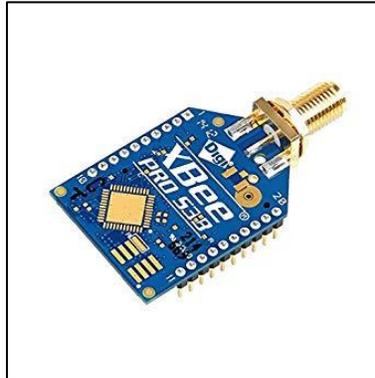


Figura 26. Módulo Xbee S3B PRO.

4.2.9.8 Regulador de voltaje LF33CV

Empleado como parte del circuito de los Nodos fijos, este regulador es capaz de mantener un voltaje estable de 3.3V empleado en la mayoría del circuito, principalmente para la alimentación del módulo Xbee; además este regulador debido a su bajo voltaje de caída es posible aprovechar más el ciclo de descarga de la batería que alimenta al circuito.

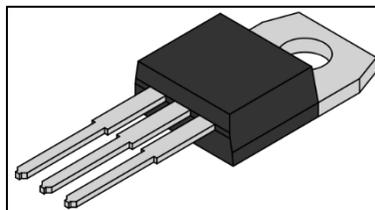


Figura 27. Regulador LF33CV.

4.2.9.9 Xbee Shield

Con la finalidad de simplificar el circuito y mantener cierta modularidad en el mismo, se seleccionó un Xbee Shield para incluirse dentro del diseño.

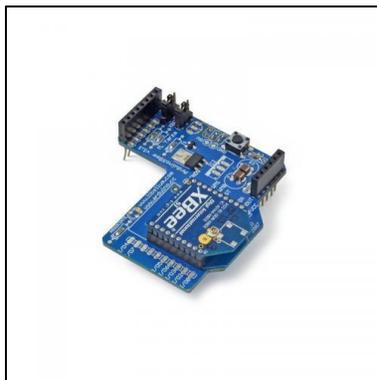


Figura 28. Xbee Shield.

4.2.10 Diagrama electrónico

Esta sección muestra los diagramas electrónicos realizados para el Nodo móvil y Nodo fijo, ambos realizados con el software CircuitMaker.

4.2.10.1 Nodo móvil

La figura 29, muestra el diseño electrónico realizado para el Nodo móvil, que incluye la conexión de la pantalla, el sensor de conductividad eléctrica y el sensor de pH al microcontrolador Wemos D1 mini, además de los botones empleados para medir, reiniciar y prender el sistema.

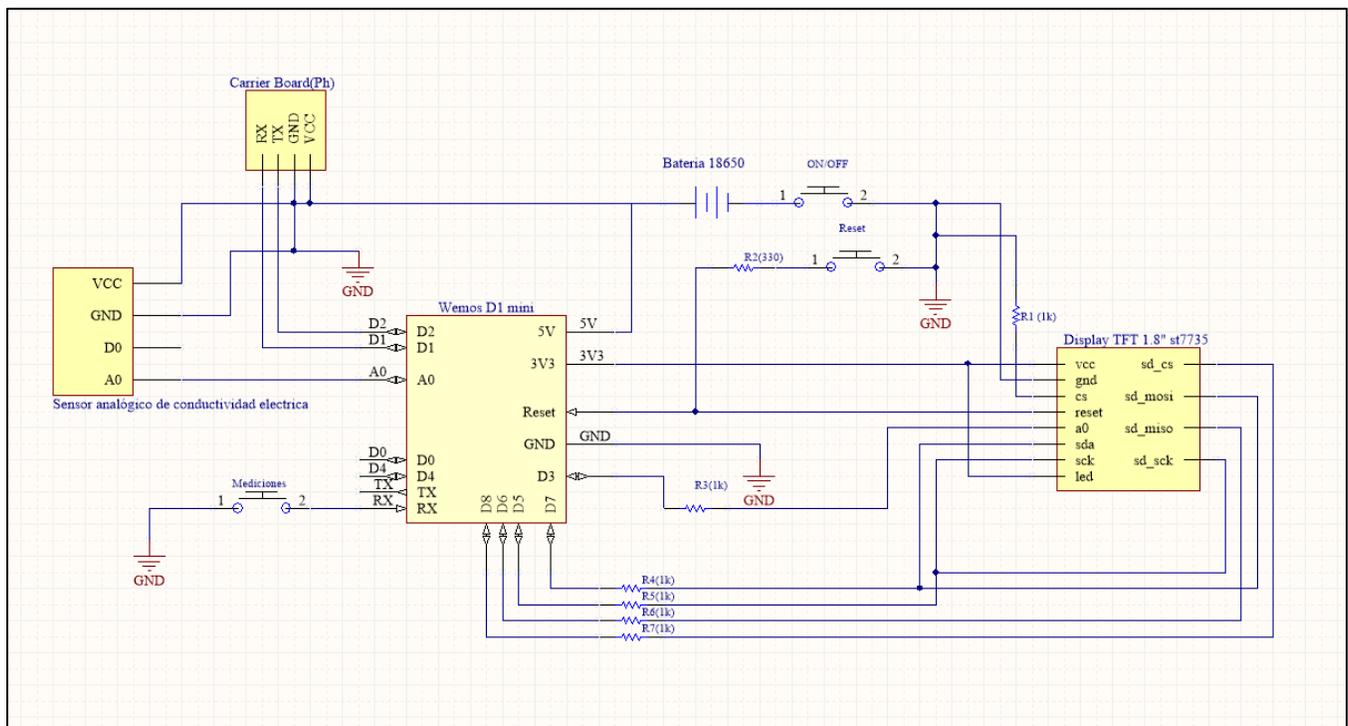


Figura 29. Diagrama de diseño electrónico de Nodo móvil.

4.2.10.2 Nodo fijo

El diseño electrónico mostrado en la figura 30 para el Nodo fijo incluye, un módulo Xbee S3B PRO para la comunicación inalámbrica, un sensor de humedad y temperatura, una fotoresistencia y un regulador de voltaje que asegura el voltaje ideal para el módulo Xbee.

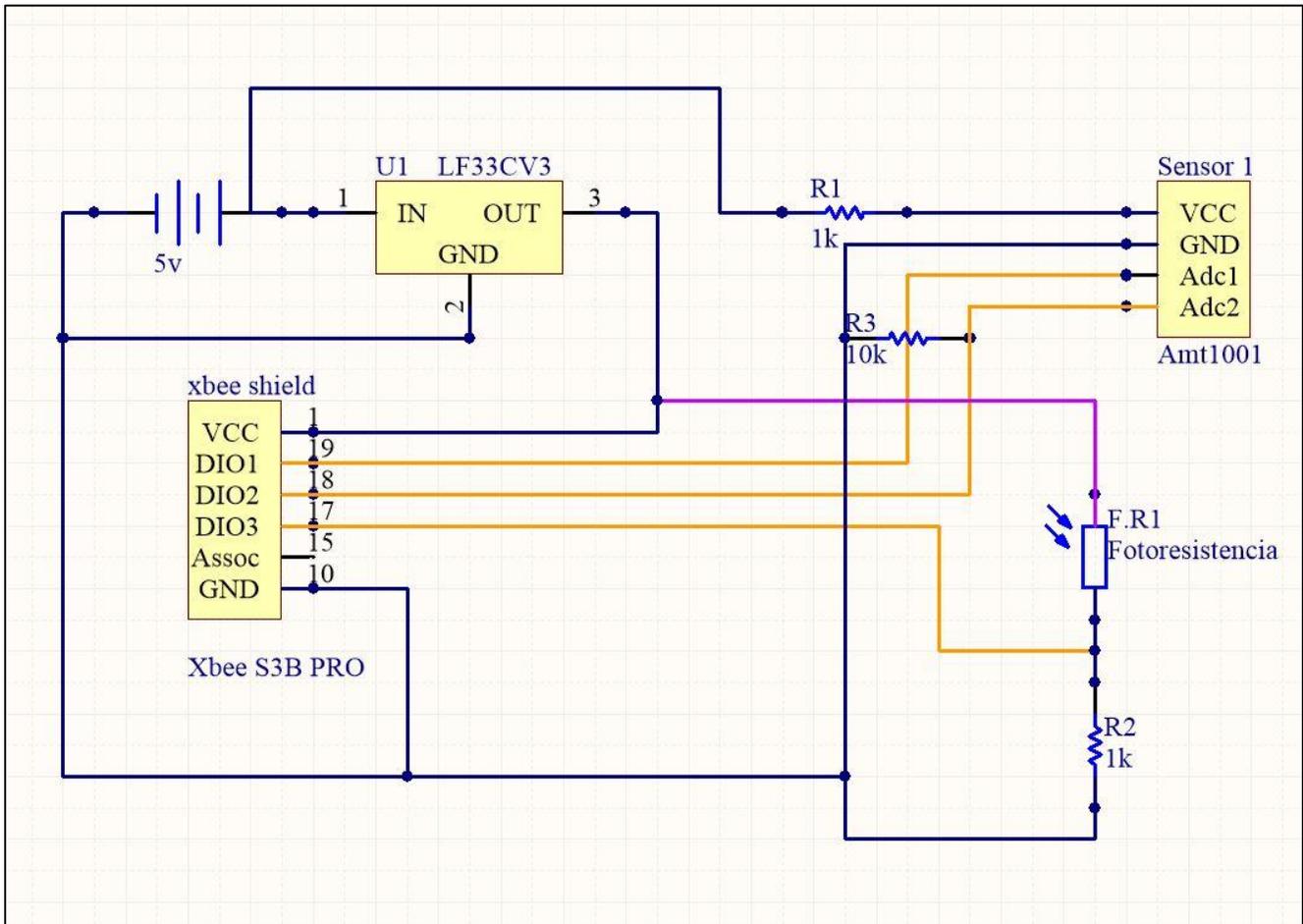


Figura 30. Diagrama de diseño electrónico de Nodo fijo.

4.2.11 Diseño de Placa de Circuito Impreso

A continuación por medio de las figuras 31 y 32 se pueden observar los diseños realizados para la realización de las placas de circuito impreso del Nodo móvil y Nodo fijo respectivamente.

4.2.11.1 Nodo móvil

Para el diseño del circuito de la figura 30 se hizo caso omiso a los botones debido a que no serán colocados sobre la placa sino a través de una pequeña extensión de cable; de igual manera para ambos sensores. Lo anterior mencionado se debe a la forma de la protección de circuito, la cual puede observarse en la figura 34.

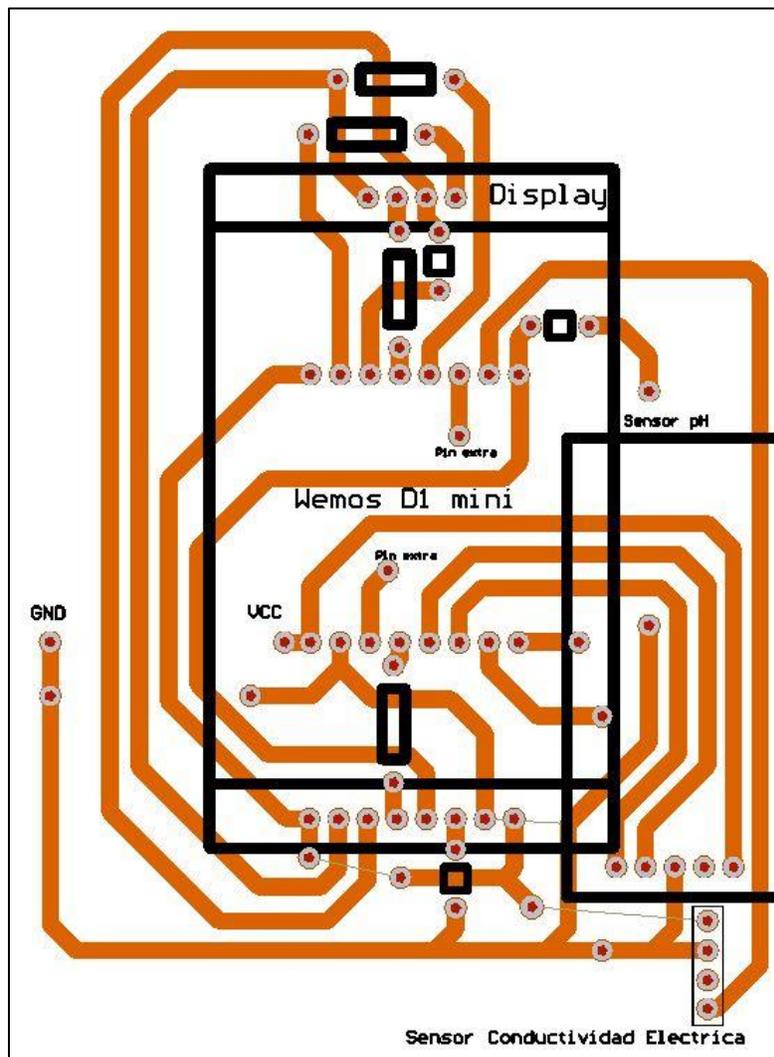


Figura 31. Diseño de PCB para Nodo móvil.

4.2.11.2 Nodo fijo

En la figura 32 se observa el diseño empleado para la fabricación del circuito del nodo fijo, es necesario tomar en cuenta que la batería será colocada de forma externa a la placa, razón por la cual los pines de alimentación se colocan tan cercas.

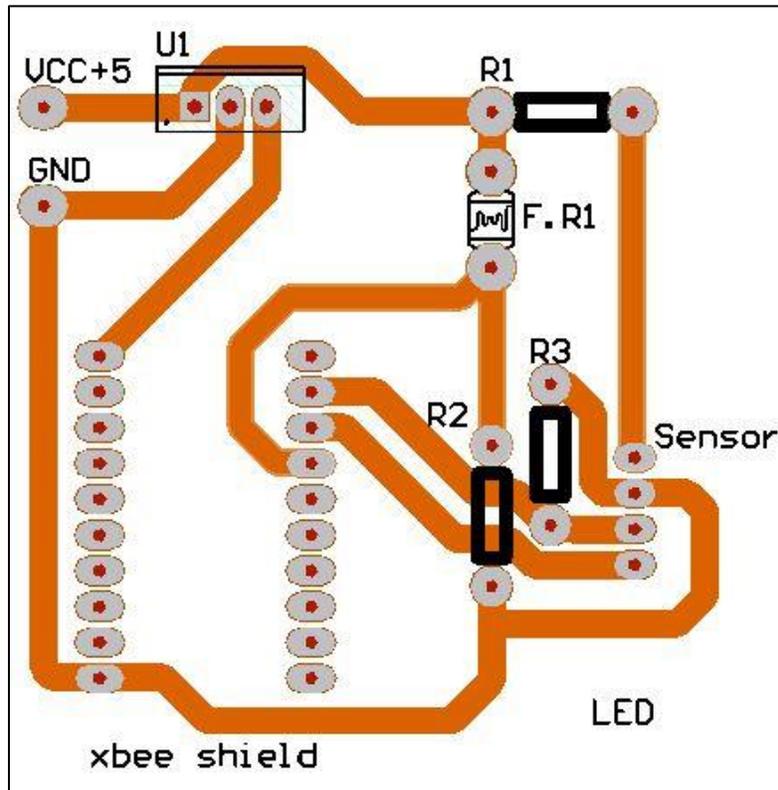


Figura 32. Diseño de PCB para Nodo fijo.

4.2.12 Planos de diseño 3D

Esta sección muestra los principales planos del diseño 3D elaborados por medio de un software CAD para las protecciones de los circuitos de cada nodo.

4.2.12.1 Nodo móvil

El Nodo móvil tiene la característica de ser portátil y además medir directamente en las plantas que se requiere, tomando esto en cuenta, las protecciones fueron diseñadas pensando en su facilidad de uso y en un armado modular; las figuras 33 y 34 muestran el diseño de los componentes principales de la protección para el Nodo móvil.

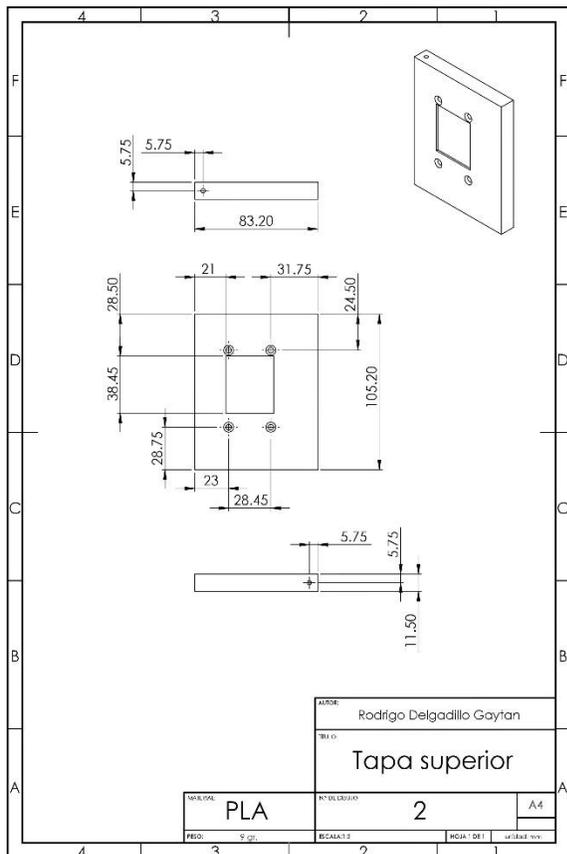


Figura 33. Diseño 3D de tapadera superior.

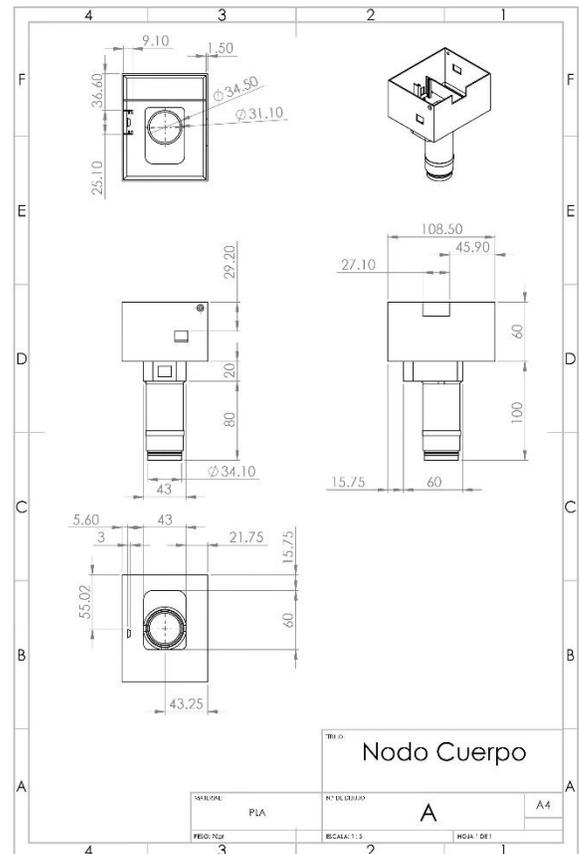


Figura 34. Diseño 3D de cuerpo de nodo

4.2.12.2 Nodo fijo

A diferencia del Nodo móvil, el fijo se mantiene colocado en un área, solo es movido en caso de mantenimiento o por decisión estratégica de captación de valores; las protecciones de este nodo están diseñadas para tratar de proteger lo más posible el circuito interno. En la figuras 35 y 36 pueden observarse los diseños 3D de los componentes principales del nodo.

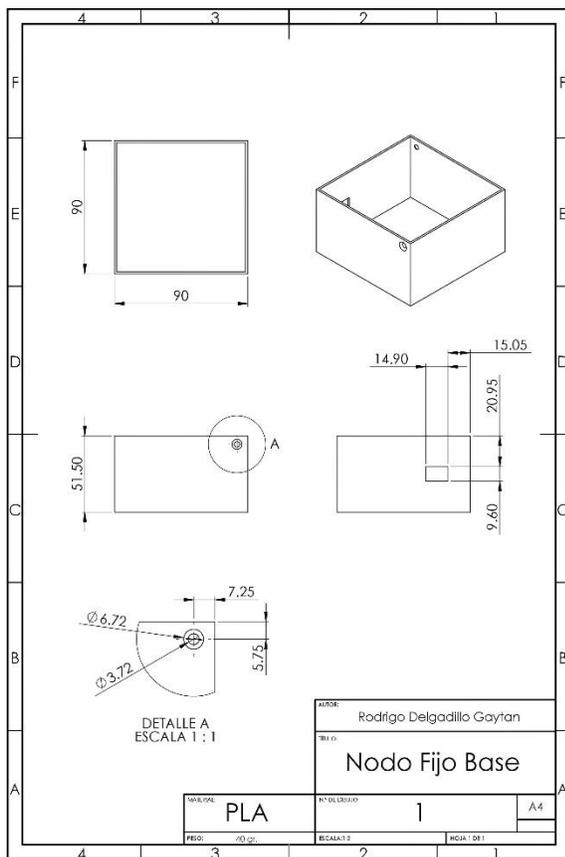


Figura 35. Diseño 3D de cuerpo de Nodo fijo.

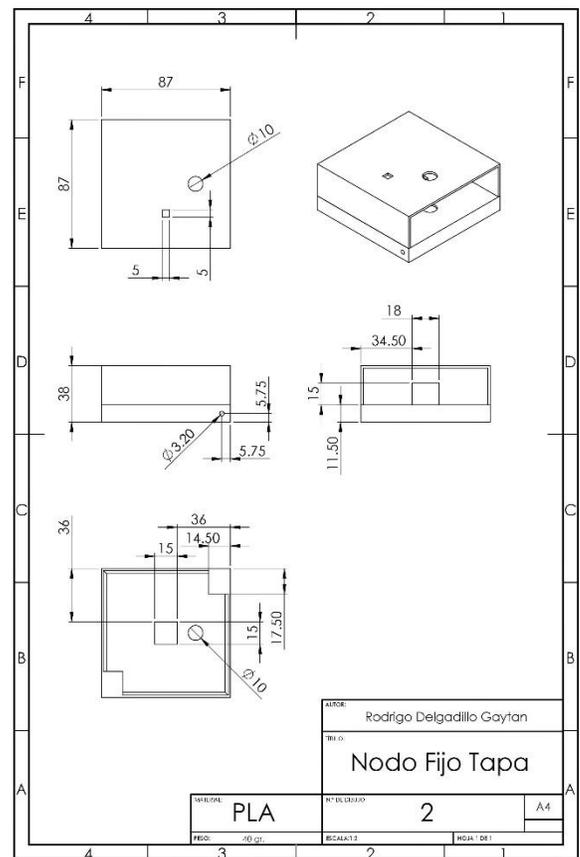


Figura 36. Diseño 3D de tapa de Nodo fijo.

4.3 Implementación

A lo largo de esta sección muestran los distintos procesos empleados para la puesta en marcha de los 4 módulos que integran el sistema, mostrados en la figura 1, incluyendo el desarrollo de software y hardware necesarios.

4.3.1 Conexión para configuración de módulos Xbee

Para poder configurar los módulos Xbee se optó por el empleo del Arduino UNO y un Xbee shield para Arduino UNO mostrados en la figura 37, donde para fuera posible la comunicación serial entre el módulo Xbee y la computadora, fue necesario remover el microcontrolador del Arduino UNO.

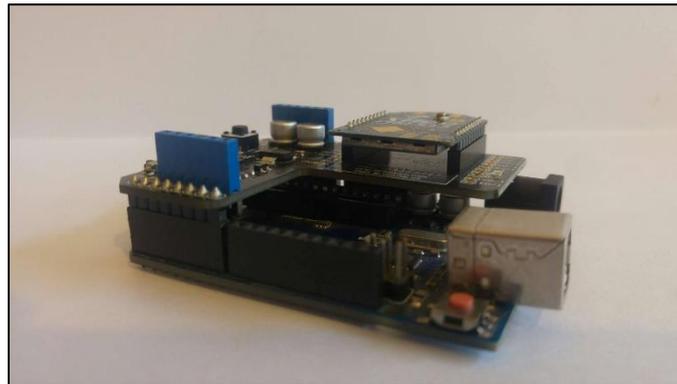


Figura 37. Conexión para configuración de Xbee.

Una vez realizada la conexión es necesario colocar al Xbee Shield con los interruptores en las posiciones de RUN y USB tal cual se muestra en la figura 38.

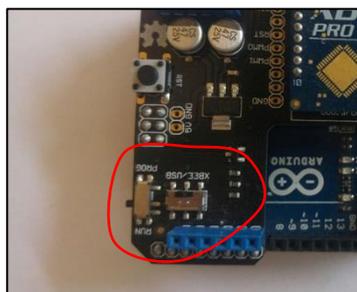


Figura 38. Posición de interruptores para configuración de Xbee.

4.3.2 Configuración de módulos Xbee

Tras haber instalado el módulo Xbee de acuerdo a la figura 37, mostrada en el punto anterior, se conecta al puerto USB y se abre el software XCTU, al buscar dispositivos se debe seleccionar el puerto COM al cual se conectó el módulo Xbee, tras reconocer y seleccionar el dispositivo se abrirá un ventana como la mostrada en la figura 39.

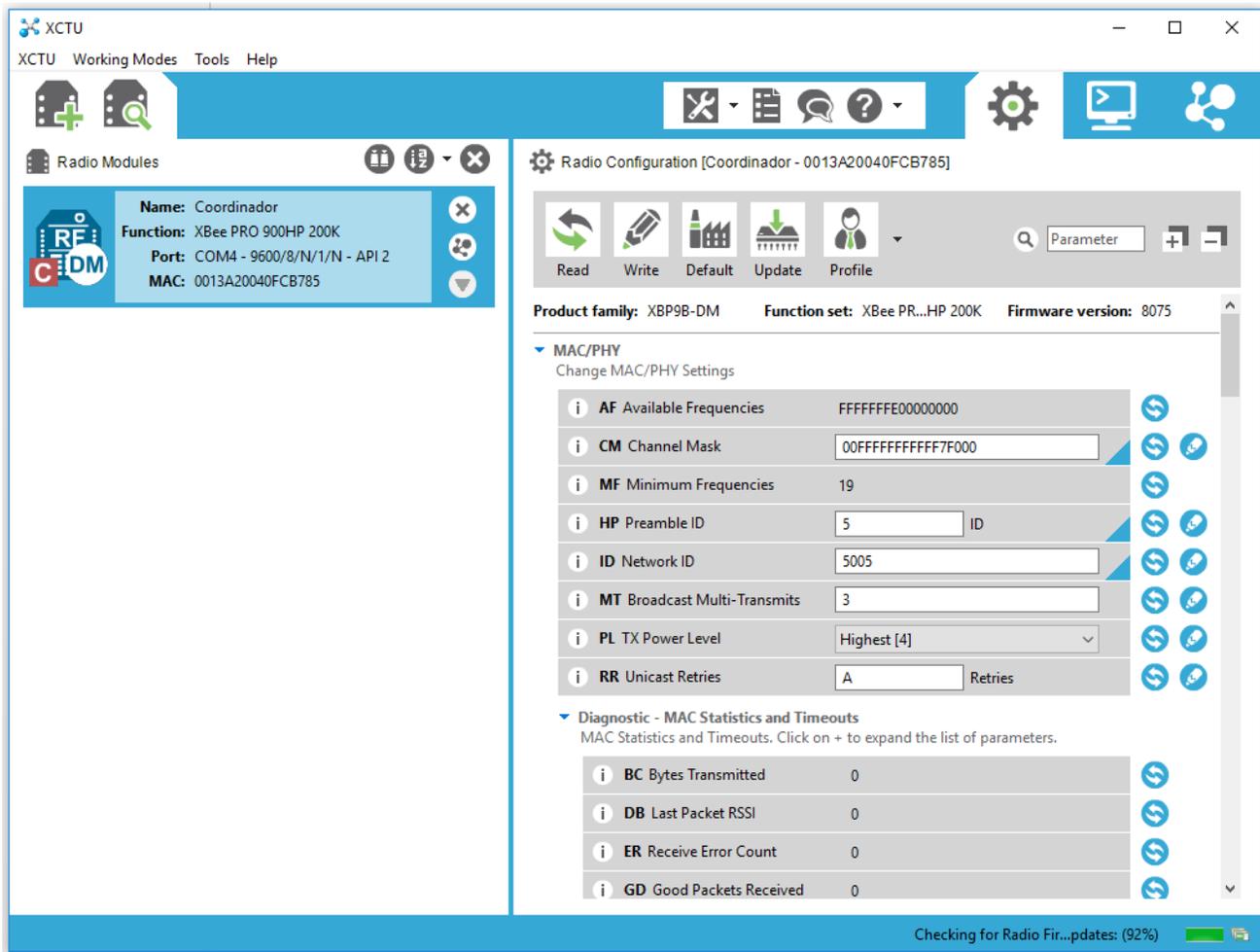


Figura 39. Ventana de configuración de módulos Xbee en XCTU.

Para configurar la red de forma que utilice la topología tipo estrella se establecieron los siguientes parámetros para el nodo coordinador y los nodos finales, indicados en las tablas 12 y 13, respectivamente.

Tabla 12. Configuración para nodo coordinador.

| Parámetro | Configuración |
|-----------|------------------------------|
| CM | 00FFFFFFFFFFFF7F000 |
| HP | 5 |
| ID | 5005 |
| CE | Indirect Msg Coordinator [1] |
| DH | FFFF |
| DL | FFFF |
| TO | 40 |
| NI | Coordinador |
| BD | 9600[3] |
| AP | API Mode With Escapes[2] |

Tabla 13. Configuración para nodos finales.

| Parámetro | Configuración |
|-----------|--------------------------|
| CM | 00FFFFFFFFFFFF7F000 |
| HP | 5 |
| ID | 5005 |
| CE | Non-Routing Module [2] |
| DH | 13A200 |
| DL | 40FCB785 |
| TO | 40 |
| NI | Nodo no.x |
| BD | 9600[3] |
| AP | API Mode With Escapes[2] |
| D1,D2,D3 | ADC[2] |
| SM | Async. Cycli Sleep [4] |

4.3.3 Creación de interfaz gráfica

La creación de la interfaz gráfica para la Estación de monitoreo se realizó por medio de la herramienta QtDesigner mostrada en la figura 40.

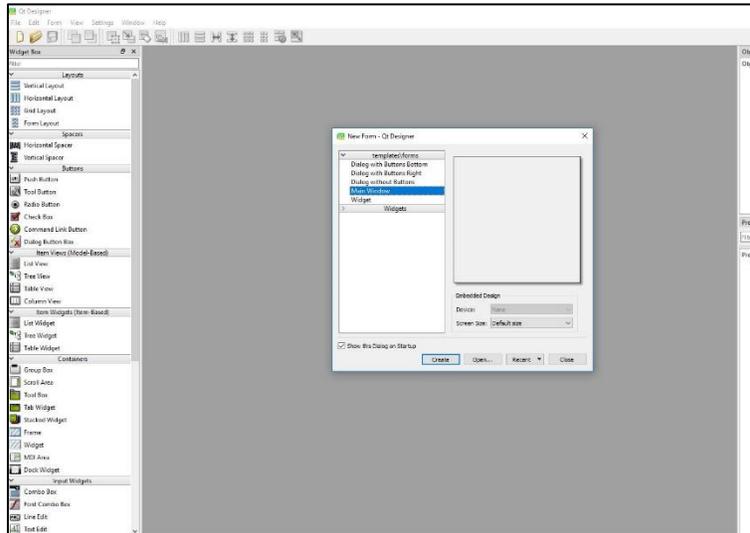


Figura 40. Herramienta QtDesigner.

Una vez generado y nombrado el archivo nuevo, se procede a configurar los parámetros generales de la ventana que se empleará, y a partir de la columna izquierda del interfaz del QtDesigner, mostrado en la figura 41, se agregan los elementos deseados dentro de la ventana, que por medio de la columna derecha se editan las propiedades de los distintos elementos seleccionados.

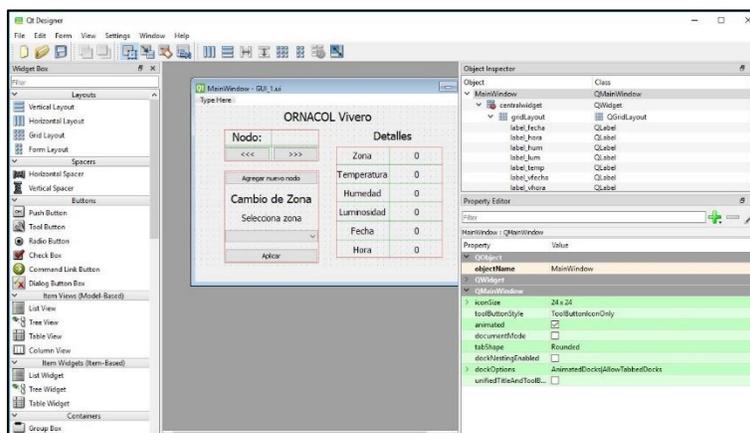
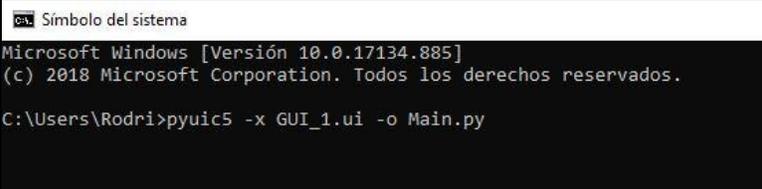


Figura 41. Interfaz del QtDesigner.

Una vez terminado el diseño deseado, al guardar se generó un archivo .iu, el cual fue necesario transformara un archivo .py para poder agregar toda la funcionalidades deseada al interfaz por medio de código en Python, para realizar esto por medio de la consola se ingresa el código mostrado en la figura 42, conteniendo el nombre del archivo .ui que queremos transformar y el nombre del nuevo archivo .py que usaremos.



```
Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 10.0.17134.885]
(c) 2018 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.
C:\Users\Rodri>pyuic5 -x GUI_1.ui -o Main.py
```

Figura 42. Código para transformar .ui a .py desde consola

4.3.4 Creación de base de datos

La creación de la base de datos se realizó a partir del código SQL, parte del cual es mostrado en la figura 43, donde se puede observar que la cantidad de campos no es grande, ya que para el funcionamiento correcto de la captura de datos solo es necesario obtener los parámetros de medición y lo relacionado a la acción de medir.

```
CREATE TABLE `conf_nodosF` (  
  `idNodoF` int(11) NOT NULL,  
  `macNodo` int(11) NOT NULL,  
  `idZona` int(11) NOT NULL  
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=utf8 COLLATE=utf8_unicode_ci;  
  
-----  
  
CREATE TABLE `nodos` (  
  `idRegistro` int(11) NOT NULL,  
  `idZona` int(11) NOT NULL,  
  `idPlanta` int(11) NOT NULL,  
  `fecha` timestamp NOT NULL DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP ON UPDATE CURRENT_TIMESTAMP,  
  `ce` float NOT NULL,  
  `ph` float NOT NULL  
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=utf8 COLLATE=utf8_unicode_ci;  
  
-----  
  
CREATE TABLE `nodosF` (  
  `idRegistro` int(11) NOT NULL,  
  `idZona` int(11) NOT NULL,  
  `idNodo` int(11) NOT NULL,  
  `fecha` datetime NOT NULL,  
  `temp` float NOT NULL,  
  `hum` float NOT NULL,  
  `lum` float NOT NULL  
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=utf8 COLLATE=utf8_unicode_ci;  
  
-----  
  
CREATE TABLE `plantas` (  
  `idPlanta` int(11) NOT NULL,  
  `planta` varchar(45) COLLATE utf8_unicode_ci NOT NULL  
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=utf8 COLLATE=utf8_unicode_ci ROW_FORMAT=COMPACT;  
  
-----  
  
CREATE TABLE `zonas` (  
  `idZona` int(11) NOT NULL,  
  `zona` varchar(45) COLLATE utf8_unicode_ci NOT NULL  
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=utf8 COLLATE=utf8_unicode_ci;
```

Figura 43. Código SQL para la generación de la Base de datos.

4.3.5 Conexión de Estación de monitoreo

4.3.5.1 Sub - módulo de recepción de datos

Este sub – módulo es compuesto por un Arduino Uno, un Xbee shield y un módulo Xbee S3B PRO, la conexión realizada se muestra en la figura 44, a diferencia de lo mostrado en la figura 37 esta conexión incluye mantener el microcontrolador del Arduino UNO además de una configuración diferente en los interruptores del Xbee Shield.

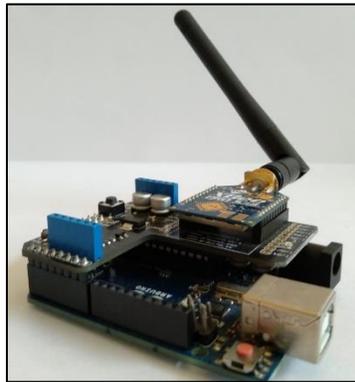


Figura 44. Módulo de recepción

4.3.5.2 Sub- módulo de control y administración de datos.

Encargado de transformar la información para mostrarla a través de un interfaz, configurar el grupo de datos y de enviar información a la base de datos, este sub – módulo se compone de una Raspberry Pi 3 y una pantalla táctil tal como muestra la figura 45, debido a que tanto la pantalla como la Raspberry incluyen pines para su conexión y no se conectará nada extra por medio de ellos se optó por una conexión directa.



Figura 45. Raspberry Pi 3 y pantalla táctil

4.4 Verificación y Validación

En esta sección se muestran las distintas pruebas realizadas al sistema, con la finalidad de demostrar y verificar el funcionamiento del mismo, y de emplear dichas pruebas para comprobar la hipótesis antes planteada.

4.4.1 Pruebas de rendimiento energético

Para esta prueba se realizaron mediciones empleando un multímetro y midiendo la corriente eléctrica durante las distintas funcionalidades de los nodos.

4.4.1.1 Nodo móvil

En el Nodo Móvil se tomaron mediciones durante los siguientes eventos:

- En espera a inicio
- Durante mediciones en modo online
- Durante envío de datos en modo online
- Durante mediciones en modo offline
- Durante guardado de datos en modo offline

De los eventos mencionados se obtuvo un consumo máximo de 230mA durante la espera al inicio y un consumo mínimo durante las mediciones en modo offline de 170mA teniendo en cuenta solo el consumo máximo y un uso continuo, de acuerdo con la ecuación 1 y teniendo una capacidad de 3500mAh, se obtendrá el rendimiento en días.

$$\text{Rendimiento(horas)} = \frac{\text{Capacidad(mAh)}}{\text{gasto promedio(mA)}} \quad (1)$$

$$\frac{3500 \text{ mAh}}{230 \text{ mA}} = 15.21 \text{ hrs} \rightarrow 15 \text{ horas}$$

4.4.1.2 Nodo fijo

El nodo móvil tiene un ciclo de funcionamiento más sencillo de analizar, debido a que los tiempos en que funcionan los distintos eventos están predeterminados por su programación; para este nodo se tomaron en cuenta los siguientes eventos:

- Xbee en modo sleep.
- Xbee durante mediciones.

Obteniendo con durante el primer evento un consumo de 4mA y durante el segundo 51mA, teniendo en cuenta que el ciclo de funcionamiento del nodo siempre cumple con ambos eventos y estos suceden de manera sucesiva, el primero con una duración de 5 minutos y el segundo con 5 s, se realiza el siguiente calculo.

entonces si $\rightarrow 1hr = 3600s$, durante la hora se realizan 12 mediciones

$$(5 s)(12) = 60s \rightarrow \frac{60s}{3600s} = 0.02 hrs \rightarrow \text{durante } 0.016hrs \text{ gasta } 51mA$$

$$3600 s - 60 s = 3540s \rightarrow 3540s = 0.98 hrs \rightarrow \text{durante } .098 hrs \text{ gasta } 4mA$$

$$0.02hrs(51mA) + 0.98hrs(4mA) = 1.02mA + 3.92mA = 4.94 mA$$

5mA por hora de consumo

$$\text{Si la bateria posee } 3500mAh \rightarrow \frac{3500mAh}{5 mA} = 700 h \rightarrow \frac{700h}{24h \times dia} = 29.17 dias$$

Se obtiene un consumo energético para el nodo fijo de aproximadamente 29 días, si además incluimos un 15% menos por pérdida obtenemos el siguiente rendimiento en días:

$$(30.38 dias)(.15) = 4.557 dias$$

$$30.38 dias - 4.557 dias = 25.823 dias$$

4.4.2 Pruebas de tiempo de ejecución

Para la realización de estas pruebas se determinaron los casos de mayor importancia durante el ciclo del sistema del Nodo Móvil y se cronometraron, siendo estos casos los siguientes:

- Tiempo para realizar cada medición en modo online.
- Tiempo para realizar cada medición en modo offline.

Durante el modo online el proceso completo de mediciones, dicho proceso incluye la toma de medición y su envío a la base de datos, el cual es mostrado a través de la figura 46; para el cual se obtuvieron los tiempos de ejecución mostrados en la tabla 14.

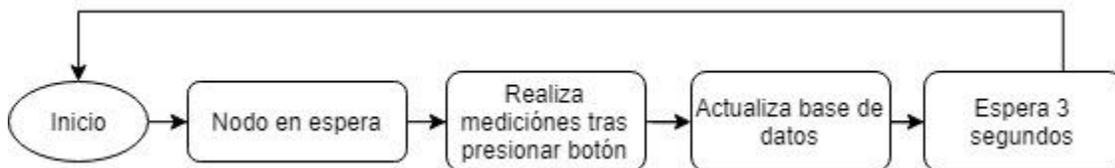


Figura 46. Proceso simplificado de mediciones durante modo online.

Tabla 14. Tabla con tiempos de ejecución para mediciones online.

| Medición | Tiempo en segundos |
|----------|--------------------|
| 1 | 16.5 |
| 2 | 15.6 |
| 3 | 15.3 |
| 4 | 15.8 |
| 5 | 16.3 |
| 6 | 16.2 |
| 7 | 15.7 |
| 8 | 16.1 |
| 9 | 15.8 |
| 10 | 15.7 |

Para el modo offline su proceso de medición se muestra en la figura 4, los tiempos de ejecución obtenidos son mostrados por medio de la tabla 15.

Tabla 15. Tiempos de ejecución de mediciones en modo offline.

| Medición | Tiempo en segundos |
|----------|--------------------|
| 1 | 3.44 |
| 2 | 3.29 |
| 3 | 3.29 |
| 4 | 3.6 |
| 5 | 3.15 |
| 6 | 3.44 |
| 7 | 3.54 |
| 8 | 3.38 |
| 9 | 3.6 |
| 10 | 3.36 |

4.4.4 Pruebas rango de comunicación

Para la realización de pruebas de rango para comunicación entre nodos que emplean módulos Xbee, usualmente se emplea el mismo software XCTU, usado para configurar los módulos, sin embargo debido a que los módulos tienen implementada la función sleep esto no es posible, por lo cual para implementar esta prueba se optó por realizar mediciones desde múltiples puntos dentro del área total del invernadero, mostrados en la figura 47.

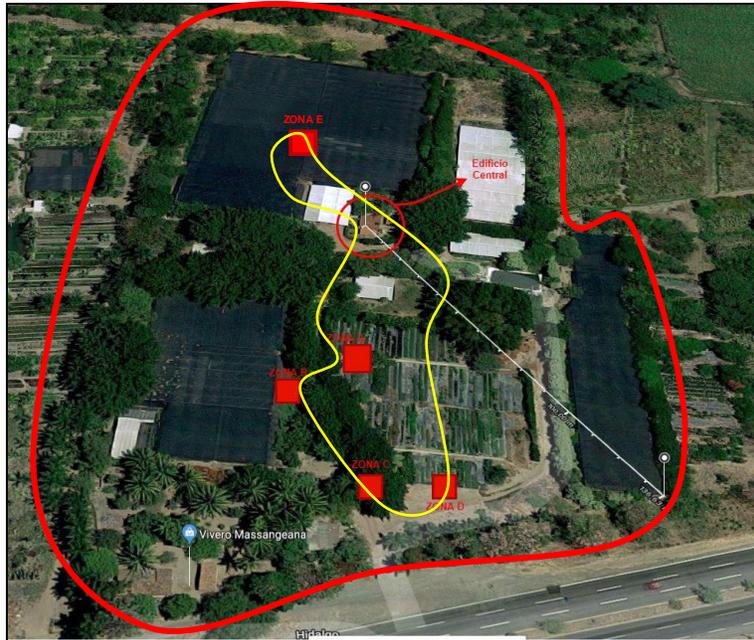


Figura 47. Zonas en invernaderos.

Para implementar la prueba se realizó lo siguiente:

1. Se conectó la Estación Base al software XCTU para registrar las mediciones captadas, por medio de la interfaz mostrada en la figura 48, ubicando la Estación en el edificio central del invernadero, mostrado en la figura 47.

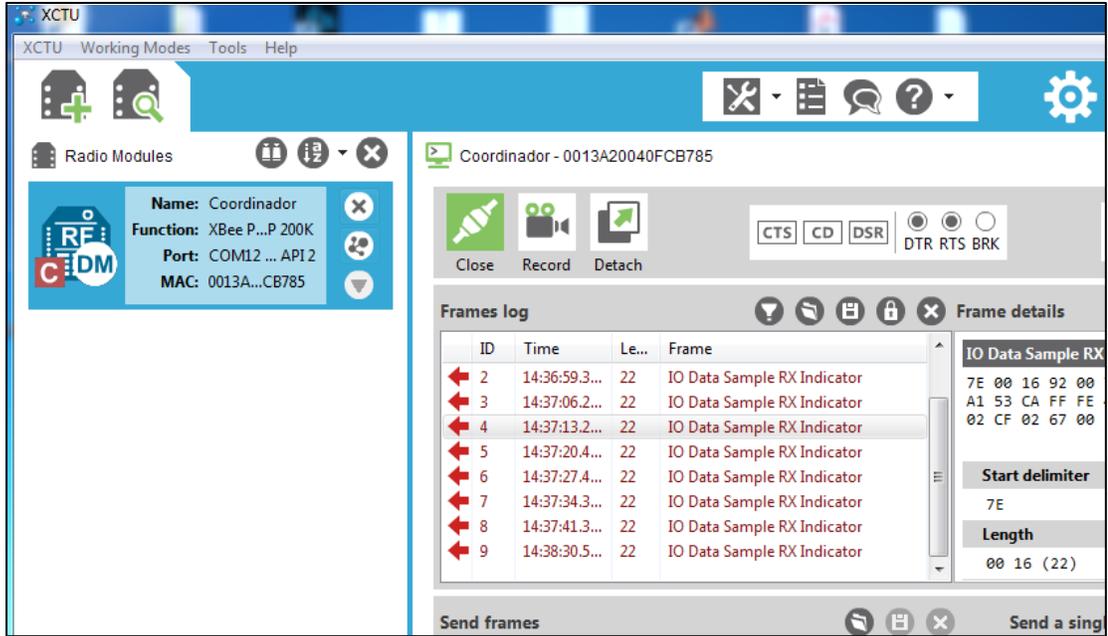


Figura 48. XCTU para verificación de llegada de datos.

- Se realizó un recorrido, con el nodo fijo encendido, por la zona más crítica del invernadero, considerando la zona más crítica aquella con más posibilidad de generar problemas de comunicación, mostrada en la figura 49.



Figura 49. Zona crítica de invernadero.

3. Durante el recorrido con el apoyo de un reloj en mano se verifico el tiempo de llegada a distintos sitios, marcados en la figura 47, donde los tiempos de llegada fueron:

- a. Zona A: 10:22 a.m.
- b. Zona B: 10:24 a.m.
- c. Zona C: 10:26 a.m.
- d. Zona D: 10:28 a.m.
- e. Zona E: 10:35 a.m.

4. Y por último realizando una comparación entre el registro de valores obtenidos con la Estación Base, mostrados en las figuras 50 y 51, y los tiempos de llegada a las distintas zonas.

```
08-01-2019 10:39:06.744,-,API2,"Coordinador,0013A20040FCB785,XBee PRO 900HP 200K,8075,COM12 - 9600/8/N/1/N,3,35"
08-01-2019 10:18:46.648,0,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02D80267009D8D
08-01-2019 10:18:53.824,1,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02D902680047E1
08-01-2019 10:19:07.614,2,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02D4026700210D
08-01-2019 10:19:49.734,3,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02D70269010523
08-01-2019 10:22:45.640,4,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02D0026800F33E
08-01-2019 10:22:52.754,5,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02BF026801CA77
08-01-2019 10:22:59.633,6,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02D202690165C8
08-01-2019 10:23:06.622,7,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02D002680152DE
08-01-2019 10:23:14.625,8,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02D302680051DD
08-01-2019 10:23:27.760,9,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02C00268003908
08-01-2019 10:23:34.640,10,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02D102680038F8
08-01-2019 10:23:41.629,11,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02BD02680054F0
08-01-2019 10:23:48.633,12,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02BE0268003C07
08-01-2019 10:23:55.778,13,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02D20268005AD5
08-01-2019 10:24:02.767,14,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02D10269009996
08-01-2019 10:24:09.662,15,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02BB0268026BD9
08-01-2019 10:24:16.651,16,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02CF0268012E03
08-01-2019 10:24:23.671,17,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02CF026802A48C
08-01-2019 10:24:30.862,18,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02BE026800192A
08-01-2019 10:24:37.773,19,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02D10268001818
08-01-2019 10:24:44.668,20,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02C50267001825
08-01-2019 10:24:51.657,21,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02C502680048F4
08-01-2019 10:24:58.677,22,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02C00268013709
08-01-2019 10:25:05.791,23,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02C5026702DC5F
08-01-2019 10:25:12.842,24,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02C1026800FA46
08-01-2019 10:25:19.659,25,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02D502680068C4
08-01-2019 10:25:26.664,26,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02C60268006CCF
08-01-2019 10:25:33.824,27,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02C402680076C7
08-01-2019 10:25:40.750,28,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02DA02680046E1
08-01-2019 10:25:47.786,29,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02BF0267003A09
08-01-2019 10:25:54.837,30,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02D50269002506
08-01-2019 10:26:02.683,31,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02C70268001E1C
08-01-2019 10:27:39.732,32,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02C4026802D467
08-01-2019 10:27:46.939,33,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02C5026702DA61
08-01-2019 10:28:00.714,34,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02C602670267D3
08-01-2019 10:28:14.738,35,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02DD02660059CD
08-01-2019 10:28:21.914,36,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02D902680055D3
08-01-2019 10:28:28.841,37,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02DB0268005FC7
08-01-2019 10:28:35.720,38,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02CA0268015ED8
08-01-2019 10:28:42.709,39,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02C026801260E
08-01-2019 10:28:49.714,40,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02CA0268008EA9
08-01-2019 10:28:56.890,41,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02E1026900E23D
08-01-2019 10:29:03.816,42,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02E00268015FC1
08-01-2019 10:29:10.727,43,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02CE02690007AB
08-01-2019 10:29:17.716,44,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02E3026800549
08-01-2019 10:29:24.720,45,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02CA02680051E6
08-01-2019 10:29:31.927,46,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02D102680052DE
08-01-2019 10:29:38.869,47,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02E202690052CC
08-01-2019 10:29:45.733,48,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02CC02680052E3
08-01-2019 10:33:08.939,49,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02EB02680052C4
08-01-2019 10:33:15.803,50,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02E6026A0037E2
08-01-2019 10:33:22.792,51,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE41010000E02E7026A001701
```

Figura 50. Registro de mediciones parte 1.

| | |
|------------|---|
| 08-01-2019 | 10:33:29.781,52,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02E702690136E2 |
| 08-01-2019 | 10:33:36.957,53,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02EA02690121F4 |
| 08-01-2019 | 10:33:43.946,54,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02EA0269016CA9 |
| 08-01-2019 | 10:33:50.810,55,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02E6026A01C850 |
| 08-01-2019 | 10:33:57.799,56,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02D802690132F5 |
| 08-01-2019 | 10:34:05.786,57,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02EA02680140D6 |
| 08-01-2019 | 10:34:18.905,58,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02EB0269017B99 |
| 08-01-2019 | 10:34:25.816,59,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02D40269016EBD |
| 08-01-2019 | 10:34:32.805,60,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02DB0269017DA7 |
| 08-01-2019 | 10:34:39.794,61,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02DD02690145DD |
| 08-01-2019 | 10:34:46.939,62,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02D4026900DE4E |
| 08-01-2019 | 10:34:53.927,63,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02DA02690171B4 |
| 08-01-2019 | 10:35:00.823,64,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02EB0268015EB7 |
| 08-01-2019 | 10:35:07.811,65,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02EE02690155BC |
| 08-01-2019 | 10:35:14.800,66,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02D602690157D2 |
| 08-01-2019 | 10:35:21.976,67,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02EC02690153C0 |
| 08-01-2019 | 10:35:28.918,68,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02EF026A00F61A |
| 08-01-2019 | 10:35:35.829,69,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02EA02690038DE |
| 08-01-2019 | 10:35:42.818,70,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02F0026A00F916 |
| 08-01-2019 | 10:35:49.822,71,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02F20269017F8E |
| 08-01-2019 | 10:35:57.014,72,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02F1026901917D |
| 08-01-2019 | 10:36:03.925,73,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02DE0269018E93 |
| 08-01-2019 | 10:36:10.836,74,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02F0026901DE31 |
| 08-01-2019 | 10:36:17.824,75,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02F4026A01CD3D |
| 08-01-2019 | 10:36:24.829,76,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02F10269010C02 |
| 08-01-2019 | 10:36:32.005,77,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02E3026900CA53 |
| 08-01-2019 | 10:36:38.947,78,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02F0026900BE52 |
| 08-01-2019 | 10:36:45.842,79,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02E1026900BB64 |
| 08-01-2019 | 10:36:52.831,80,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02F5026900BD4E |
| 08-01-2019 | 10:36:59.835,81,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02F3026A00FB11 |
| 08-01-2019 | 10:37:07.011,82,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02DE026A0169B7 |
| 08-01-2019 | 10:37:13.985,83,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02E30269017AA2 |
| 08-01-2019 | 10:37:20.849,84,RECV,7E0016920013A20040A153CAFFFE410100000E02F3026901808C |

Figura 51.Registro de mediciones parte 2.

A partir de la comparación de datos se puede observar que solo existe un valor registrado para el tiempo 10:26, y para todas las demás zonas existen múltiples registros, comprobando que para la Zona A que es correspondiente al tiempo 10:26, existe un problema de comunicación debido a los grandes árboles existentes, más sin embargo esa zona es un camino y puede evitarse colocar un nodo en ella.

De dicha comparación se concluye que para cualquier otra área del invernadero no existen problemas de comunicación, debido a que las demás zonas carecen de árboles tan grandes.

Para el rango se toma en cuenta la distancia de la zona más lejana, utilizando la herramienta de medición del Google Maps se conoce que dicha distancia es de 137 metros, y nuestro módulo tiene una capacidad en espacios cerrados de 600 metros por lo cual con este hecho se comprueba que el sistema cuenta con el rango más que suficiente para realizar la comunicación, mientras que no exista un obstáculo muy alto entre los dos puntos a comunicar.

Capítulo 5

Resultados

“Trata de dejar a este mundo en mejores condiciones de cómo lo encontraste.” –Baden Powell

Para el proceso de mediciones de parámetros en el invernadero, el sistema realiza dichas mediciones a través de dos distintas maneras, por medio de un Nodo Móvil realizando mediciones puntuales en un grupo de plantas seleccionadas como muestra de un total del grupo y por medio de Nodo fijos colocados por el campo, midiendo por zonas los parámetros del ambiente.

El nodo móvil registra los parámetros de conductividad eléctrica en microsiemens(μS) y pH con un rango de 0 a 14, los cuales son mostrados al usuario por medio de la pantalla del nodo antes de ser procesados, como se muestra en la figura 52.

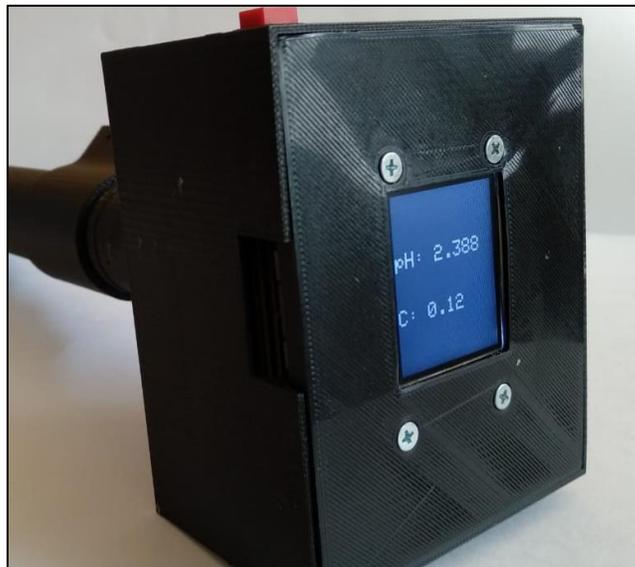


Figura 52. Pantalla de nodo con mediciones.

Una vez que la medición realizada, el Nodo móvil procede a guardar o enviar la información, dependiendo de si existe o no una conexión red, para lo cual es necesario configurar el Nodo móvil a través de una aplicación Android, como puede observarse en la figura 53, de otra forma el Nodo móvil no realizará ninguna acción.



Figura 53. Nodo móvil y aplicación Android.

Una vez configurado el nodo si no existe una red a cual conectarse o los datos son incorrectos, funcionará en modo offline y cualquier medición realizada se guardará dentro de la microSD incluida en el nodo, permitiendo al nodo realizar mediciones sin la necesidad de estar conectado a una red, por lo que puede trabajar alejado del sistema principal sin ningún contratiempo.

En caso de lograr conectarse a una red con internet el nodo no guardará la información, será enviada directamente a la base de datos y en caso de existir información guardada esta será enviada con prioridad antes de permitir iniciar mediciones nuevas.

Para construir este sistema fue necesaria una inversión de \$4813 pesos mexicanos, cuyo desglose puede observarse en la tabla 16; las protecciones empleadas en el nodo fueron realizadas por medio de una impresora 3D, empleando material PLA tal como fue indicado en la sección 4.2.11.

El sistema cuenta con un alcance de 30 metros en condiciones ideales y de aproximadamente 10 metros en sitios cerrados.

Tabla 16. Desglose de precios de Nodo móvil obtenidos en agosto 2019.

| Componentes | Cantidad | Precio (MXN) |
|-------------------------------------|----------|--------------|
| Wemos D1 mini | 1 | \$130 |
| Sensor de pH AtlasScientific | 1 | \$2351 |
| Circuito Ezo pH para sensor | 1 | \$777 |
| Placa portadora para Ezo Ph | 1 | \$777 |
| Sensor modelo YL – 38 | 1 | \$30 |
| Placa de cobre | 1 | \$20 |
| Resistencias, interruptores y cable | NA | \$30 |
| Conectores jst | 5 | \$60 |
| Pantalla TFT 1.8" ST7735 | 1 | \$200 |
| Regulador Lf33cv | 1 | \$30 |
| Cargador Tp4056 | 1 | \$16 |
| Módulo regulador MT3608 | 1 | \$17 |
| Batería NCR18650GA | 1 | \$150 |
| Porta-baterías 18650 | 1 | \$25 |
| Material PLA | 1 | \$200 |
| Total | | \$4813 |

El Nodo fijo mostrado en la figura 54, registra los parámetros de temperatura en grados Celsius(C°), Humedad en un porcentaje relativo, y la intensidad lumínica de igual manera en un porcentaje relativo a un determinado 100%; este nodo no muestra ningún valor al usuario.

La comunicación del nodo se realiza a través de radiofrecuencia por medio de módulos Xbee, de forma directa entre el Nodo fijo y la Estación Base, formando una red tipo estrella. Además de lo antes mencionado y con la finalidad de reducir lo más posible el consumo energético, el nodo duerme durante 5 minutos para solamente despertar durante 6 segundos y enviar las mediciones correspondientes; este ciclo produce un aumento en el rendimiento energético del nodo mencionado y verificado a través de una formula en la sección 4.4.1.



Figura 54. Nodo fijo.

Para la construcción del Nodo fijo se gastó un total estimado de \$1217 pesos mexicanos, la razón puede observarse en la tabla 17; al igual que en el Nodo móvil las protecciones empleadas se realizaron con una impresora 3D y usando material PLA.

Tabla 17. Desglose de precios para Nodo fijo obtenidos en agosto 2019.

| Componentes | Cantidad | Precio (MXN) |
|-------------------------------------|----------|---------------|
| Módulo Xbee S3B PRO | 1 | \$750 |
| Sensor Amt1001 | 1 | \$115 |
| Fotoresistencia | 1 | \$10 |
| Placa de cobre | 1 | \$20 |
| Resistencias, interruptores y cable | NA | \$30 |
| Conectores jst | 3 | \$40 |
| Módulo regulador MT3608 | 1 | \$17 |
| Regulador Lf33cv | 1 | \$30 |
| Batería NCR18650GA | 1 | \$150 |
| Porta-baterías 18650 | 1 | \$25 |
| Material PLA | 1 | \$50 |
| Total | | \$1217 |

El Nodo fijo es capaz de lograr comunicación de hasta 24 km en condiciones ideales, y de hasta 600 metros en lugares cerrados, sin embargo de acuerdo a las pruebas realizadas en la sección 4.4.4, se sabe que la comunicación del nodo se puede obstruir por arboles de gran tamaño si estos se encuentran muy cercanos unos a otros y que también el nodo cuenta con la capacidad para enviar información en todas las zonas de interés, además cabe mencionar que debido a un cambio futuro en los terrenos del viveros y que dicho terrenos no contarán con posibles obstruores, el alcance del sistema es el ideal. Para el nodo no se realizó ningún tipo de base, más sin embargo debido a la distribución del terreno fue considerado colocarse a una altura de 1.70 metros mínimo por medio de la adaptación de ya existentes postes que mantienen en pie la malla sombra del vivero, esto por parte de la empresa ORNACOL.

Como último se construyó la Estación base la cual costo \$2730 y consta de los elementos mencionados en la tabla 18, este módulo recibe los datos enviados por los distintos Nodos fijos colocados a lo largo del invernadero, envía la información recibida a la base de datos y muestra siempre el ultimo valor leído a través de interfaz indicada en la figura 55; la estación posee las mismas características de comunicación que el Nodo fijo y a diferencia del nodo se mantiene siempre conectado esperando a la entrada de datos.

Tabla 18.Desglose de precios de Estación Base obtenidos en agosto 2019.

| Componentes | Cantidad | Precio (MXN) |
|-------------------------|----------|---------------|
| Raspberry Pi 3 | 1 | \$1100 |
| Pantalla touch 3.5" | 1 | \$600 |
| Arduino UNO | 1 | \$130 |
| Cargador para Raspberry | 1 | \$150 |
| Módulo Xbee S3B PRO | NA | \$750 |
| Total | | \$2730 |

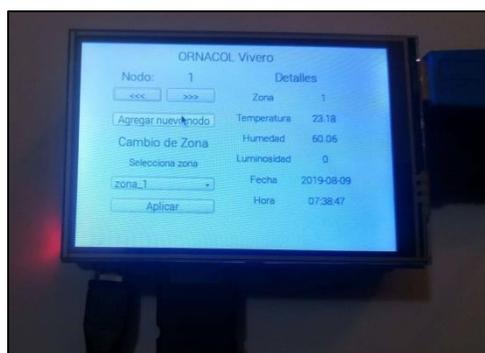


Figura 55. Vista principal de Estación Base

Debido a una decisión estratégica en conjunto con ORNACOL la Estación Base no contará con una protección diseñada temporalmente, quedando actualmente como se muestra en la figura 56.

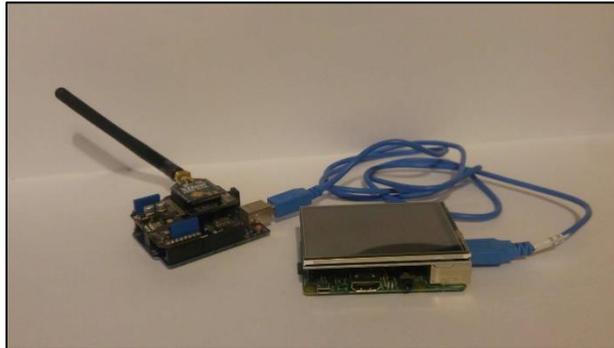


Figura 56. Estación Base sin conectores.

En cuanto a la base de datos, se encuentra alojada en el servicio hosting Namecheap el cual fue contratado con un precio de \$1133 pesos mexicanos anuales, incluyendo el host, el registro del dominio ornacol.com y certificación SSL (Secure Socket Layer).

Anteriormente el proceso de medición empleado dentro del invernadero necesitaba de alrededor de 10 minutos o más para ser completado, este tiempo incluye la preparación de la maceta a medir, siendo entre 2 a 8 minutos, y el tiempo necesario para obtener información viable del sensor de 2 a 5 minutos, tomando un promedio de 10 minutos por medición por planta. Como beneficio inmediato, resultado de la aplicación del sistema se tiene la disminución en tiempos de medición para las plantas, disminuyendo de un tiempo actual, que toman los trabajadores del invernadero en tomar una única medición, de en promedio 10 minutos a un tiempo máximo de 5 minutos en realizar el proceso de medición completo y de tan solo 17 segundos para la toma de valores del sensor fiables, de acuerdo con las pruebas realizadas en la sección 4.4.2, por el Nodo Móvil donde además de tomar la medición los datos son almacenados.

Como parte de resultados se debe resaltar que se generó un artículo científico con el título de “Diseño y construcción de un nodo prototipo para monitoreo de humedad de suelo en invernaderos ornamentales”, presentado en el Congreso Internacional de Ingeniería Electrónica (ELECTRO) 2018 realizada en el instituto Tecnológico de Chihuahua.

Conclusiones y trabajo a futuro

Con todo lo obtenido en la investigación, se puede afirmar que el empleo de un sistemas de nodos para el monitoreo de variables de entorno dentro de un invernadero ornamental, es una solución eficaz para disminuir tiempos de producción y mantener un control en los parámetros de los múltiples grupos de plantas.

En la tesis se logra implementar una red de nodos con tipología estrella dentro del invernadero, midiendo pH y conductividad eléctrica por medio de un Nodo móvil y temperatura, humedad e intensidad luminosa del entorno con una serie de nodos fijos en conjunto con una Estación de monitoreo.

Tal como se menciona en (Koutsos & Menexes, 2017) se han demostrado los beneficios económicos, agronómicos y ambientales en el uso de tecnología de agricultura de precisión y como los datos derivados del suelo, poblaciones de plantas y entorno puede ser organizados para su envío a aplicaciones de sistemas de producción de cultivo. Así por medio de lo expuesto en el Capítulo 2 y los resultados obtenidos se concluye que el sistema implementado aumenta la producción del cultivo de plantas ornamentales, principalmente al disminuir los tiempos necesarios para la toma de mediciones por planta y permitir además la toma de mediciones por área del invernadero cada 5 minutos así logrando mantener un control más fiable y constante del invernadero.

Como trabajo futuro, se implementará un sistema anti-colisiones de comunicación en la Estación Base, así evitando cualquier pérdida de información actual; y un protector adecuado para la Estación Base tomando en cuenta los futuros anexos.

Se propone además realizar una investigación, para realizar la automatización en el control del invernadero por medio de actuadores capaces de responder a la información almacenada en la base de datos por el sistema actual.

Bibliografía

- AEROSEMI. (s.f.). *MT3608*. Recuperado el 25 de Julio de 2019, de <https://www.olimex.com/Products/Breadboarding/BB-PWR-3608/resources/MT3608.pdf>
- Alper Akkaş, M., & Sokullu, R. (2017). An IoT-based greenhouse monitoring system with Micaz nodes. *Computer Science*, 603-608.
- Aparicio, U.-M. F. (10 de Julio de 2013). *Redes de Sensores Inalámbricos Aplicadas a Optimización en Agricultura de Precisión para Cultivos de Cafe en Colombia*. Obtenido de <https://jci.uniautonomo.edu.co/2013/2013-8.pdf>
- Arroniz, V. I. (2017). Obtenido de Tecnológico de Monterrey: <https://tec.mx/es/noticias/veracruz/educacion/agricultura-de-precision-la-nueva-alternativa-sustentable-opinion>
- Ayala, G. A. (2012). Hortalizas en México: competitividad frente a EE.UU. y oportunidades de desarrollo. *GCG*, 70-88.
- Ayala, G., & Carrera, C. (Junio de 2012). Obtenido de LA HORTICULTURA EN MÉXICO:UNA PRIMER APROXIMACIÓN AL ESTUDIO DE SU COMPETITIVIDAD: <https://www.inceptum.umich.mx/index.php/inceptum/article/view/315/292>
- Chartuni, E., de Carvalho, d. A., Marcal, D., & Ruiz, E. (Abril de 2017). Obtenido de Agricultura de precisión: <http://repiica.iica.int/docs/B0483e/B0483e.pdf>
- Comparetti, A. (Septiembre de 2011). Obtenido de Precisión Agriculture: Past, Present and Future: https://www.researchgate.net/publication/280716939_Precision_Agriculture_Past_Present_and_Future
- Flores, G. E. (2017). Sistema de control difuso para el monitoreo de la temperatura, la humedad, el ph y la conductividad electrica en invernaderos de plantas ornamentales.
- Free Software Foundation, Inc. (12 de Junio de 2018). *¿Qué es el software libre?* Obtenido de <https://www.gnu.org/philosophy/free-sw.es.html>
- Geek Factory. (25 de Julio de 2019). *Módulo TP4056 Cargador Batería Litio Con Protección*. Obtenido de <https://www.geekfactory.mx/tienda/energia-fuentes-de-alimentacion-baterias/modulo-tp4056-cargador-bateria/>
- Hwang, J., Shin, C., & Hyun, Y. (2010). A Wireless Sensor Network-Based Ubiquitous Paprika Growth Management System.
- INEGI. (1998). La Horticultura Ornamental en Mexico. *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática*.
- Infoagro. (31 de Mayo de 2017). Obtenido de México, país de flores y una horticultura ornamental histórica: <https://infoagro.com/mexico/mexico-pais-de-flores-y-una-horticultura-ornamental-historica/>

- Keshtgari, M., & Deljoo, A. (2012). A Wireless Sensor Network Solution for Precision Agriculture Based on ZigBee Technology. *Wireless Sensor Network*, 25-30.
- Koutsos, T., & Menexes, G. (2017). Benefits from the adoption of precision agriculture technologies. A systematic review. *ResearchGate*.
- Li, X.-h., Cheng, X., Yan, K., & Gong, P. (2010). *A Monitoring System for Vegetable Greenhouses based on a a Wireless Sensor Network*. Obtenido de <http://www.mdpi.com/1424-8220/10/10/8963>
- Lugo Espinosa Ozsiel, V. P. (2013). Paquete tecnologico para el monitoreo ambiental en invernaderos con el uso de hardware y software libre. *Terra Latinoamericana*, 77-84.
- Metha, M. (2015). ESP 8266: A Breakthrough in Wireless Sensor Networks and Internet of things. *International Journal of Electronics and Communication Engineering & Technology*, 6(8), 07-11.
- Nalina, K. E., & Kaliwal, R. (2017). Analysis of Soil Parameters in Agriculture Field Using IoT. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2977-2980.
- NaylampMechatronics. (Sin fecha). Recuperado el 2 de Octubre de 2018, de WeMos D1 mini ESP8266: <https://naylampmechatronics.com/inalambrico/291-wemos-d1-mini-esp8266.html>
- Newsire, C. P. (19 de Agosto de 2014). Obtenido de Global Horticulture (2014-2018) - Pink and Healthy: <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-horticulture-2014--2018---pink-and-healthy-271781701.html>
- Ochoa, D., Cangrejo, A. L., & Delgado, T. (2018). Alternativa Open Source en la implementación de un sistema IoT para la medición de la calidad el aire. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 12(1), 189-204.
- OFICINA DE INFORMACIÓ CIENTIFICA Y TECNOLÓGICA PARA EL CONGRESO DE LA UNIÓN(INCyTU). (Abril de 2018). Obtenido de Agricultura de Precisión: https://www.foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU_18-015.pdf
- opensource.com. (Sin fecha). Recuperado el 2 de Octubre de 2018, de What is a Raspberry Pi?: <https://opensource.com/resources/raspberry-pi>
- Pressman, R. S. (1998). *Ingeniería en Software. Un enfoque práctico*. McGrawHill.
- Rekha, G., & Muthu, S. S. (2017). Android Arduino Interface with Smart Farming System. *International Journal Of Engineering And Computer Science*, 20521-20526.
- Secretaria de Agricultura, Ganaderia, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2 de Enero de 2018). Recuperado el 1 de Octubre de 2018, de gov.mx: <https://www.gob.mx/sagarpa/articulos/a-la-segura-con-agricultura-prottegida?idiom=es>
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). (14 de Diciembre de 2016). Obtenido de La aplicación de sistemas de protección garantiza la disposición de frutas y verduras todo el año: <https://www.gob.mx/senasica/articulos/conoce-que-es-la-agricultura-prottegida?idiom=es>

- Sixto, L. (2018). *Historia de la horticultura*. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_asaho_historia_horticultura.pdf
- Tabatabaeifar, A., Shafieian, M. A., Banizaman, H., & Ali Torab, S. (2014).
- Talos Electronics. (s.f.). Obtenido de Sensor de humedad del suelo YL38 y YL69: <https://www.taloselectronics.com/products/sensor-de-humedad-del-suelo-yl38-y-yl69>
- Universidad Politécnica de Valencia. (18 de Diciembre de 2013). Obtenido de Raspberry Pi: <https://histinf.blogs.upv.es/2013/12/18/raspberry-pi/>
- Vera, R. C., Barbosa, J. J., & Pabón, G. D. (2014). *Acople de sensores en la medición de variables ambientales usando tecnología ZigBee*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84933912010>
- Zigbee alliance. (2018). Recuperado el 2 de Octubre de 2018, de The Zigbee Alliance: <https://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/about-us/>