

SEP

SES

TNM.

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHIHUAHUA II**



**IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE DESEMPEÑO  
DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS  
INTELIGENTES PARA SU APLICACIÓN EN  
MONITOREO Y CONTROL DE VARIABLES.**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN SISTEMAS COMPUTACIONALES**

**PRESENTA:**

**LUIS FERNANDO ESPINOSA TREJO**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**M.C. ARTURO LEGARDA SÁENZ**

**CO-DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. RAFAEL SANDOVAL  
RODRIGUEZ**

**CHIHUAHUA, CHIH.; A 2 DE FEBRERO DE 2021**

# Dictamen

Chihuahua, Chih., 27 de enero 2021

**M.C. MARÍA ELENEA MARTÍNEZ CASTELLANOS  
COORDINADORA DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
PRESENTE**

Por medio de este conducto el comité tutorial revisor de la tesis para obtención de grado de Maestro en Sistemas Computacionales, que lleva por nombre "IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS INTELIGENTES PARA SU APLICACIÓN EN MONITOREO Y CONTROL DE VARIABLES", que presenta el C. LUIS FERNANDO ESPINOSA TREJO, hace de su conocimiento que después de ser revisado ha dictaminado la APROBACIÓN de la misma.

Sin otro particular de momento, queda de Usted.

Atentamente  
La Comisión de Revisión de Tesis.



M.C. ARTURO LEGARDA SÁENZ  
Directora de tesis



M.C. RAFAEL SANDOVAL RODRÍGUEZ  
Co-Director



M.I.S.C. JESUS ARTURO ALVARADO GRANADINO  
Revisor



DR. GREGORIO RONQUILLO MAYNEZ  
Revisor

## INDICE

I. INTRODUCCIÓN. ....	1
1.1. Introducción. ....	1
1.2. Planteamiento del problema. ....	2
1.3. Alcances y limitaciones. ....	2
1.3.1. Alcances ....	2
1.3.2. Limitaciones ....	2
1.4. Justificación. ....	2
1.5. Objetivos. ....	3
1.5.1. Generales. ....	3
1.5.2. Particulares. ....	3
II. ESTADO DEL ARTE. ....	4
2.1. Red inalámbrica de sensores para monitorear un cultivo de plátanos en el distrito de Mala. ....	4
2.2. Sensores inteligentes en cultivos de café. ....	11
2.3. Diseño de prototipo didáctico. ....	13
III. MARCO TEÓRICO. ....	15
3.1. Sensor. ....	15
3.1.1. Sensores de posición. ....	15
3.1.2. Sensores fotoeléctricos. ....	15
3.1.3. Sensores por barrera. ....	16
3.1.4. Sensores de contacto. ....	16
3.1.5. Sensores de circuitos oscilantes. ....	16
3.1.6. Sensores por ultrasonidos. ....	16

3.1.7. Sensores de esfuerzos.....	17
3.1.8. Sensores de Movimientos. ....	17
3.2. Red de sensores.....	17
3.2.1. Aplicaciones Potenciales.....	18
3.3. Arduino.....	19
3.4. Microcontroladores.....	20
3.5. XBee.....	24
3.5.1. XBee series 1.....	24
3.5.2. XBee series 2 (2.5, ZB, 2B).....	24
3.5.3. Potencias de transmisión.....	25
3.5.4. Antenas.....	25
3.5.5. Elementos de una red de XBee.....	25
3.6. ZigBee.....	26
3.7. Topología de red.....	27
3.7.1. Topología de estrella.....	27
3.7.2. Topología de malla.....	28
3.8. Árbol manzano.....	28
IV. DESARROLLO.....	30
4.1. Método.....	30
4.2. Análisis y diseño.....	31
4.2.1. Procesos del sistema.....	31
4.2.2. Diagrama entidad-relación.....	32
4.3. Desarrollo del hardware.....	34
4.3.1. Diagramas electrónicos del sistema.....	35

4.4.	Desarrollo del software .....	43
4.4.1.	Software embebido.....	43
4.4.2.	Aplicación móvil Android.....	44
4.4.3.	Sistema para usuario JAVA .....	44
4.5.	Pruebas.....	58
4.5.1.	Aplicación desarrollada para prueba de desempeño. ....	59
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	62
VI.	CONCLUSIONES.....	65
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	66

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Kit de desarrollo para censado de campos de agricultura. ....	5
Figura 2.2. Nodo instalado. ....	6
Figura 2.3. Ubicación de los sensores. ....	6
Figura 2.4. Interfaz. ....	7
Figura 2.5. Posicionamiento de nodos. ....	7
Figura 2.6. Interfaz de configuración de nodos. ....	8
Figura 2.7. Funcionamiento de la red de malla. ....	8
Figura 2.8. Funcionamiento de reserva. ....	9
Figura 2.9. Simulaciones. ....	9
Figura 2.10. Precio. ....	10
Figura 2.11. Costo extra. ....	11
Figura 2.12. Nodo controlador. ....	12
Figura 2.13. Nodo sensor. ....	13
Figura 2.14. Nodo sensor prototipo. ....	14
Figura 3.1. Sensor de temperatura DHT11. ....	15
Figura 3.2. Red de sensores común. ....	18
Figura 3.3. Arduino uno. ....	20
Figura 3.4. Microcontrolador. ....	20
Figura 3.5. XBEE. ....	24
Figura 3.6. Topologías de red. ....	27
Figura 3.7. Árbol de manzano. ....	29
Figura 4.1. Metodología. ....	30
Figura 4.2. Reporte de estado. ....	31
Figura 4.3. Ajuste de respuesta. ....	32
Figura 4.4. Funcionamiento del sistema. ....	32
Figura 4.5. Diagrama entidad-relación. ....	33
Figura 4.6. Diagrama de red. ....	34
Figura 4.7. Diagrama sensor humedad y temperatura. ....	36
Figura 4.8. Diagrama sensor de distancia. ....	37

Figura 4.9. Diagrama sensor de luz. ....	38
Figura 4.10. Diagrama actuador: calefactor de temperatura. ....	39
Figura 4.11. Diagrama actuador: bomba de agua. ....	40
Figura 4.12. Diagrama bomba de agua y sensor humedad y temperatura. ....	41
Figura 4.13. Diagrama actuador: bomba de agua, sensor humedad y temperatura y sensor ultrasónico. ....	42
Figura 4.14. Primer prototipo. ....	43
Figura 4.15. Datos en formato JSON. ....	44
Figura 4.16. Interfaz del sistema. ....	45
Figura 4.17. Interfaz de sensores instalados. ....	48
Figura 4.18. Interfaz de tipos de sensores. ....	48
Figura 4.19. Interfaz de asignación de sensores a huertos. ....	49
Figura 4.20. Interfaz de permisos del sistema. ....	50
Figura 4.21. Interfaz de niveles de usuario. ....	51
Figura 4.22. Interfaz de chat entre usuarios. ....	52
Figura 4.23. Interfaz de configuración de huertas. ....	53
Figura 4.24. Interfaz de visualización de ubicación de huertas. ....	54
Figura 4.25. Interfaz de login del sistema. ....	55
Figura 4.26. Interfaz de incidencias. ....	55
Figura 4.27. Interfaz de asignación de permisos a usuarios. ....	56
Figura 4.28. Interfaz de registro de usuario. ....	57
Figura 4.29. Interfaz de lista de usuarios. ....	58
Figura 4.30. Interfaz de tipos de cultivos. ....	58
Figura 4.31. Interfaz de nodos a visitar. ....	59
Figura 4.32. Esquema de un dispositivo para la prueba de desempeño. ....	60
Figura 4.33. Mapa de paquetes perdidos. ....	61
Figura 4.34. Mapa de intensidad de señal. ....	62
Figura 5.1. Temperatura promedio. ....	63
Figura 5.2. Humedad promedio. ....	64
Figura 5.3. Luz promedio. ....	64

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al consejo nacional de ciencia y tecnología por su apoyo mediante una beca para realizar esta tesis, al instituto tecnológico de Chihuahua II por darme la oportunidad de seguir mejorando profesionalmente al ofrecer posgrados de calidad.

Agradezco al profesor M.C. Arturo Legarda y a la Profesora M.S.I. Ilya Sanchez por ser excelentes guías durante el desarrollo de esta tesis y mientras cursaba mi maestría.

Así como también agradezco a los profesores M.I.S.C. Arturo Granadino, M.C. Rafael Sandoval y DR. Gregorio Ronquillo, miembros del comité tutorial, por sus valiosas observaciones que hicieron posible concluir satisfactoriamente esta tesis de posgrado.

## CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.

### I. INTRODUCCIÓN.

#### **Introducción.**

La práctica de la agricultura es milenaria ya que surgió hace más de 7000 años en el período del neolítico donde las primeras plantas que se cultivaron fueron la cebada y el trigo, desde entonces la agricultura ha avanzado lentamente tecnológicamente hablando.

Tradicionalmente a la hora de realizar cultivos de cualquier planta u hortaliza, se deben revisar de manera apropiada las condiciones medioambientales y de suelo donde esta será sembrada, así mismo se debe cuida que la temperatura y la humedad sean las correctas durante todo el año según la estación.

En la actualidad existen numerosas formas de agro tecnología como lo son los tractores y los sistemas de riego, en particular para los huertos manzaneros se tiene un sistema de calefactores que funcionan a base de diesel, con la desventaja de que son los trabajadores los que deben activar o desactivar cada uno de estos manualmente según la temperatura y debido a los vientos fuertes de la sierra tarahumara no es posible distribuir uniformemente el calor, todo estos provoca pérdidas económicas en cuando a combustible y al momento de surgir errores humanos ya que los árboles manzaneros son muy sensibles a los cambios de temperatura.

En el estado de Chihuahua hay diversos cultivos como lo son la nuez, el sorgo y la manzana, al cultivar esta última en el municipio de Cuauhtémoc se tiene la problemática de que el árbol ha de soportar los intensos fríos de la sierra madre occidental los cuales tienen unas temperaturas que descienden por debajo de los -10 grados centígrados los cuales afectan la producción ya que dañan los frutos, para solventar este problema los agricultores Chihuahuenses han implementado una serie de calefactores de diesel para los árboles con el inconveniente que deben estar acudiendo periódicamente para revisar su correcto funcionamiento y para encender y apagarlos cuando sea necesarios, todo esto bajo condiciones climáticas extremas.

## CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.

En el siguiente trabajo se presenta una solución a esa problemática utilizando una red de sensores inalámbricos que permita monitorear las variables medioambientales de una huerta de cultivos.

### **Planteamiento del problema.**

La propuesta de esta tesis se basa en el desarrollo de un sistema que mediante sensores inalámbricos permita monitorear variables medioambientales como temperatura, humedad, luz, etc., de un huerto de manzanas y que sirva posteriormente para controlar una red calefactores para que con esto se pueda evitar que el frío dañe el cultivo.

### **Alcances y limitaciones.**

#### **1.1.1. Alcances**

- La red de sensores será aplicada en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Chihuahua II.
- El desempeño del sistema será analizado para visualizar sus capacidades técnicas.

#### **1.1.2. Limitaciones**

- No se implementara la parte de control ya que eso será en un proyecto futuro.
- Se utilizarán solo tres tipos de sensores (temperatura, humedad y luz).

### **Justificación.**

En el estado de Chihuahua hay diversos cultivos como lo son la nuez, el sorgo y la manzana.

Chihuahua es el principal productor de este último a nivel nacional en particular el municipio de Cuauhtémoc, donde se tiene la problemática de que el árbol a de soportar los intensos fríos de la sierra madre occidental los cuales tienen unas temperaturas que descienden por debajo de los -10 grados centígrados.

Esto ocasiona que exista el riesgo de dañar los árboles con excesivo calor o falta de éste y provoca también un gran desperdicio de combustible.

Una red de sensores disminuiría notablemente esta situación.

## CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.

Esta problemática no es exclusiva de huertas manzaneras si no que están presentes en distintos tipos de cultivos de la región.

### **Objetivos.**

#### **1.1.3. Generales.**

Desarrollar una red de sensores que funcione en tiempo real para la medición de variables ambientales como temperatura y humedad de un huerto manzanero.

#### **1.1.4. Particulares.**

Que este sistema pueda ser fácilmente expandible mediante la adición de nuevos nodos sensores, etc.

## II. ESTADO DEL ARTE.

Hoy en día se puede encontrar aparatos electrónicos que solucionan todo tipo de problemáticas de nuestra vida diaria y mejoran nuestra calidad de vida.

Los sensores electrónicos se encuentran en diversas máquinas de utilización común como lo pueden ser el automóvil, el refrigerador o los celulares, estos nos permiten monitorear el estado de las magnitudes físicas de estas máquinas como podría ser la temperatura, el nivel de aceite, etc.

Los sensores inteligentes es la siguiente escala de tecnología donde se le agrega una función programable a un sensor mediante un micro controlador que puede ser utilizada para realizar tareas de control como abrir o cerrar una válvula, encender o apagar un dispositivo, activar o desactivar sistema de riego, etc.

### **Red inalámbrica de sensores para monitorear un cultivo de plátanos en el distrito de Mala.**

Cuando hablamos de sensores inteligentes para aplicaciones agrónomas tenemos por ejemplo el desarrollo que realizo Ernesto Alonso Antachoque Espinoza de la Universidad Pontificia Católica de Perú (Antachoque Espinoza, 2011) en el cual se decidió utilizar un kit de desarrollo integrado de sensores eKo pro (Figura 2.1) ya que él llegó a la conclusión de que éste era la mejor opción debido a sus prestaciones.

Este kit es un sistema de censado medioambiental para exteriores diseñado para agricultura de precisión, estudios de microclima y de conservación e investigaciones medioambientales y para monitoreo de cosecha.



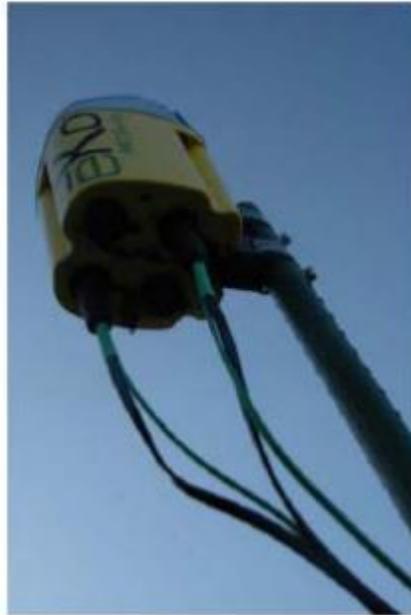
**Figura 2.1. Kit de desarrollo para censado de campos de agricultura.**

EKo presenta una nueva generación de integración de sensores y tecnología inalámbrica que antes no estaba disponible al capacitar a los usuarios con el conocimiento y los datos para comprender su entorno con una herramienta sin igual.

Este sistema no es solo un nuevo tipo de estación meteorológica o un controlador de riego; es un sistema de monitoreo de sensor inalámbrico que proporciona datos críticos en tiempo real de manera confiable y en un formato fácil de usar. eKo es ideal para abordar las necesidades de monitoreo en ciencias ambientales, agricultura de precisión, monitoreo de cultivos, manejo de irrigación, que abarca áreas como cambio climático, conservación, biodiversidad, calidad del agua, redes de agua inteligentes, contaminación del agua subterránea, contaminación del suelo, uso de recursos naturales, gestión de residuos, desarrollo sostenible y contaminación del aire, los datos que genera este sistema pueden ser vistos vía web y accesibles desde cualquier parte del mundo.

En la Figura 2.2, se observa la forma en la que queda instalado un nodo de este sistema, estos se colocan sobre varillas enterradas en el suelo aterrizadas, el kit está protegido contra el agua.

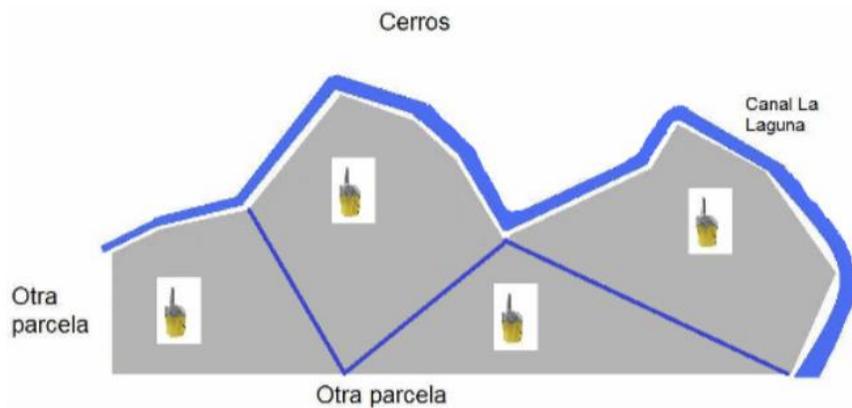
## CAPITULO II. ESTADO DEL ARTE.



**Figura 2.2. Nodo instalado.**

Este tiene varios contactos para su alimentación que deben ser cableados al momento de su instalación.

El autor de esa investigación decidió que se pondría un sensor por campo o parcela para saber el estado general del mismo, los sensores se interconectan entre sí para generar una red de malla como se observa en la Figura 2.3.



**Figura 2.3. Ubicación de los sensores.**

## CAPITULO II. ESTADO DEL ARTE.

El sistema trae incluido un software que permite configurar los dispositivos y crear un mapa con sus ubicaciones como se ve en la Figura 2.4, esto permite una gestión fácil de la red.

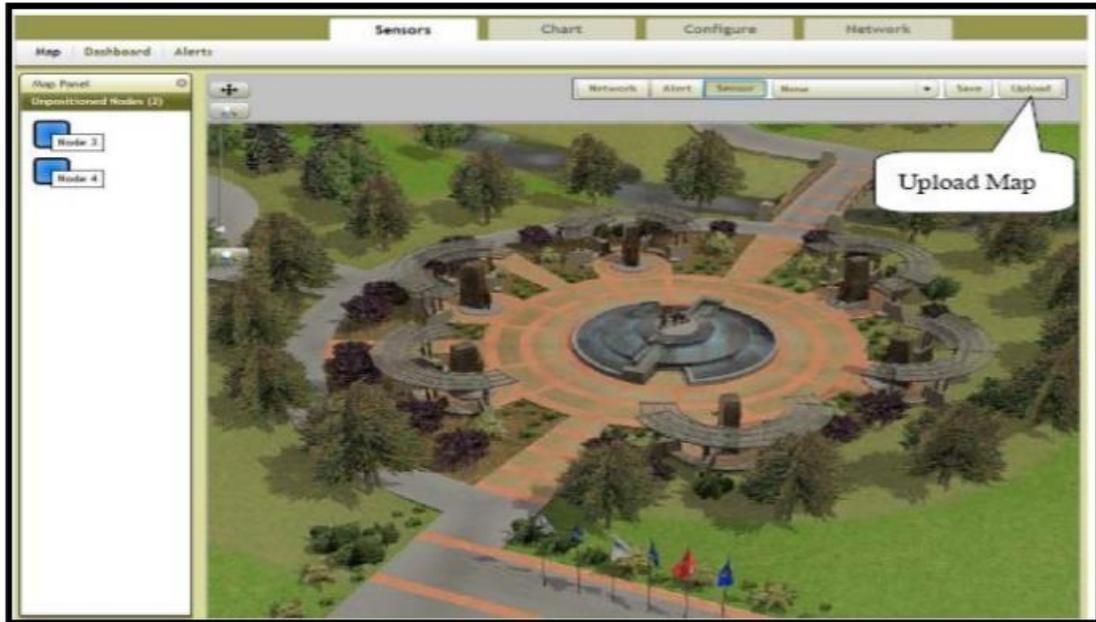


Figura 2.4. Interfaz.

En la Figura 2.5, se aprecia como los nodos ya están colocados en el mapa según su posición.



Figura 2.5. Posicionamiento de nodos.

## CAPITULO II. ESTADO DEL ARTE.

Ya que se colocaron los nodos en el mapa, el sistema permitirá configurarles diversas opciones como lo son el nombre o su descripción como se aprecia en la Figura 2.6.

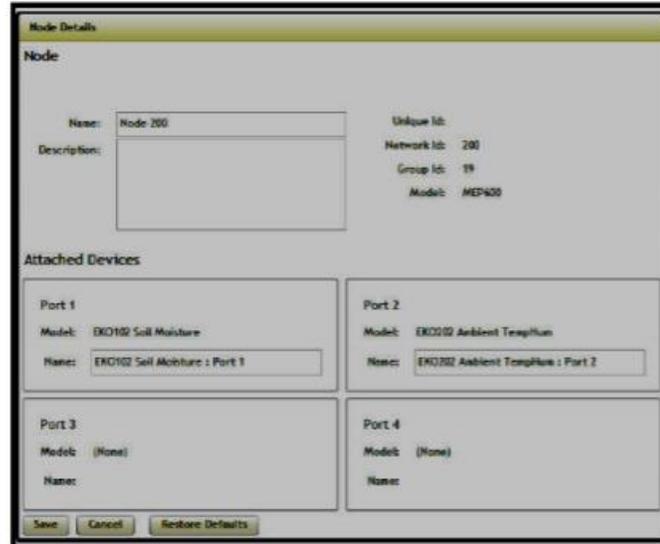


Figura 2.6. Interfaz de configuración de nodos.

Una vez configurada la red se observa en la Figura 2.7, el camino que sigue la información dentro de la topología de red de malla.

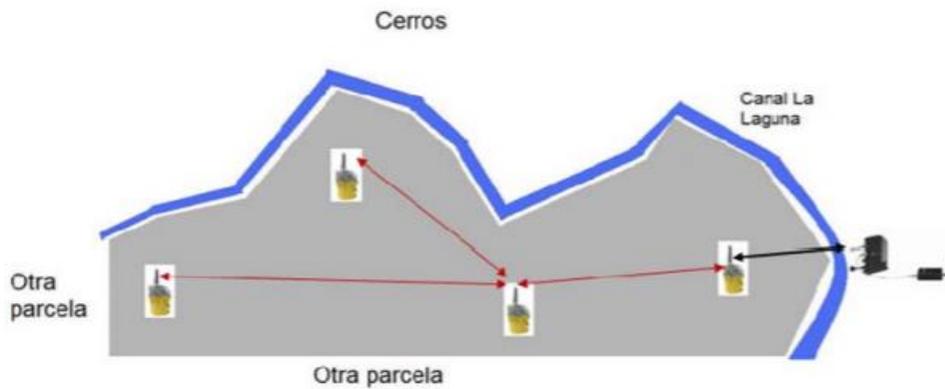


Figura 2.7. Funcionamiento de la red de malla.

Al ser una red de malla, el sistema puede en caso de presentarse una falla con uno de los nodos, recrear la ruta de la información como se puede apreciar en la Figura 2.8, donde el

## CAPITULO II. ESTADO DEL ARTE.

nodo centrar de dejar de transmitir y entonces el sistema reconecta los otros dos nodos que quedaron sin enlace para que el sistema siga funcionando.



Figura 2.8. Funcionamiento de reserva.

De acuerdo a los datos obtenidos el sistema tiene la funcionalidad de generar una simulación de lo que podría ocurrir a futuro con las magnitudes que puede medir en los campos de cultivo.

Este puede generar una gráfica como la de la Figura 2.9, donde se aprecia el comportamiento en el tiempo de humedad, temperatura, rocío, etc.

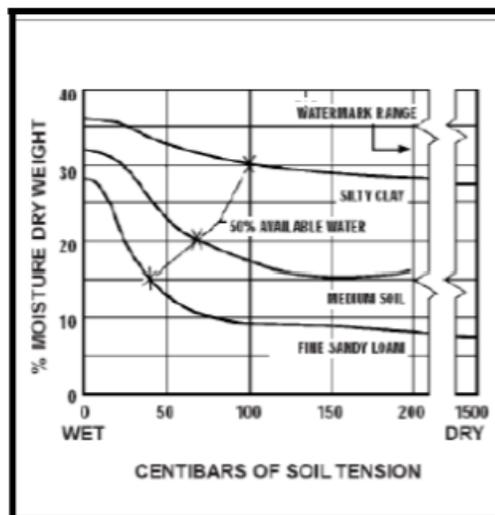


Figura 2.9. Simulaciones.

## CAPITULO II. ESTADO DEL ARTE.

El sistema que se elaboró consta de 4 nodos sensores, 1 módulo base-radio y una puerta de enlace los cuales tienen de costo 2995 USD al momento de realizar la investigación.

Sin embargo este precio no es el único ya que los sensores que van acoplados en los nodos sensores se venden por separado, como se puede en la Figura 2.10, para este sistema fue necesario comprar 8 sensores de humedad y temperatura del suelo con un costo total de 712 USD, 4 sensores de temperatura y humedad de ambiente con un costo total de 796 USD y una computadora personal con un costo de 400 USD, dando en total un costo de 4203 USD por todos los componentes.

Numero de Parte	Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
EK2110	1	eKo Outdoor Wireless Monitoring System ~ . 4 eKo sensor nodes (EN2100) . 1 eKo base radio (EB2110) . 1 eKo gateway w/ built-in eKoView web application	\$ 2995.00	\$ 2995.00
El precio es en dólares americanos.				

Figura 2.10. Precio.

## CAPITULO II. ESTADO DEL ARTE.

Numero de Parte	Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
ES1100	8	Sensor de humedad y temperatura de suelo	\$89.00	\$712.00
ES1201	4	Sensor de temperatura y humedad de ambiente	\$199.00	\$796.00
-----	1	Computador Personal	\$400.00	\$400.00
El precio es en dólares americanos.				

Figura 2.11. Costo extra.

Así mismo este costo está sujeto a los impuestos de aduaneros de Perú lo cual incremento el precio hasta 6497.38 USD.

En conclusión según el estudio este sistema sería una gran ventaja para los campos de cultivo de plátano de Perú ya que mejoraría la producción y la inversión sería recuperada en 18 meses.

### **Sensores inteligentes en cultivos de café.**

También tenemos el trabajo de Fernando Aparicio de la Universidad del Cauca de Colombia, donde se expone el “desarrollo de una red de sensores inalámbricos para la optimización en agricultura de precisión de cultivos de café” (Aparicio Urbano-Molano, 2013) donde se utilizó el protocolo 802.15.4 con nodos de una distancia entre sí de 50 metros y dos sensores en cada uno, el sensor de temperatura LM35 y un sensor de humedad capacitivo con un micro controlador PIC16F88 de microchip este diseño incluye un módulo GSM para él envió remoto de datos hacia una computadora PC vía GPRS.

El sistema se basa en una serie de nodos con sensores y un nodo controlador que actúa de punto de concentración para la red. (Figura 2.12).



**Figura 2.12. Nodo controlador.**

Los nodos sensores se componen de un microcontrolador de microchip PIC 24 16F88 el cual se comunica al módulo XBee mediante USART (universal synchronous and asynchronous receiver-transmitter) que es un protocolo de comunicación serie asíncrono. (Figura 2.13).



**Figura 2.13. Nodo sensor.**

Como resultado de ese trabajo se llegó a la conclusión que se debía replantear la topología de la red WSN ya que debido a las condiciones a las que fue sometido el sistema hubo problemas de pérdidas de paquetes de datos y por consiguiente no hay fiabilidad del mismo.

#### **Diseño de prototipo didáctico.**

También tenemos el artículo diseño de un prototipo didáctico para la implementación de redes de sensores inalámbricos basados en el protocolo ZigBee (Cázarez-Ayala, y otros, 2011) que utilizando una red de nodos basados en un módulo XBee de Digi los cuales según el artículo pueden operar hasta 30 meses con una sola carga de una batería de 9 voltios.

## CAPITULO II. ESTADO DEL ARTE.

Estos nodos trabajan con los protocolos Zigbee y con el 802.15.4, Zigbee para las topologías de árbol y malla y el segundo para la topología estrella y punto a punto.

Se incluyeron el sensor de temperatura LM35 y el sensor de humedad HMZ433 y se utilizó un conversor de niveles de voltaje ya que el módulo XBee funciona con 3.3 voltios y los sensores con 5 voltios así como también se incluyó un circuito integrado FT232RL que es un convertidor USB-serial.

Una vez realizado el diseño del prototipo (Figura 2.14. Nodo sensor prototipo.) se llevó a cabo la etapa de implementación y posteriormente las pruebas generales de funcionamiento y comunicación en red. Se desarrollaron pruebas diversas de comunicación, conversión de datos analógicos, precisión de los datos y comunicación en red, pudiéndose observar que presenta un funcionamiento muy estable y confiable ya que gracias a la interfaz USB hace la comunicación mucho más segura y accesible a la hora de ser conectado a computadoras y dispositivos móviles como tabletas para el monitoreo y programación de las redes formadas por estos dispositivos.



**Figura 2.14. Nodo sensor prototipo.**

### III.MARCO TEÓRICO.

De acuerdo a la temática de esta tesis se detallan algunos conceptos a utilizar para mejor comprensión del lector.

#### **Sensor.**

Un sensor es un objeto capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: intensidad lumínica, temperatura, distancia, aceleración, inclinación, presión, desplazamiento, fuerza, torsión, humedad, movimiento, pH, etc. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica, una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica, una corriente eléctrica, etc. Un ejemplo es el sensor de temperatura DHT11 (Figura 3.1. Sensor de temperatura DHT11.).

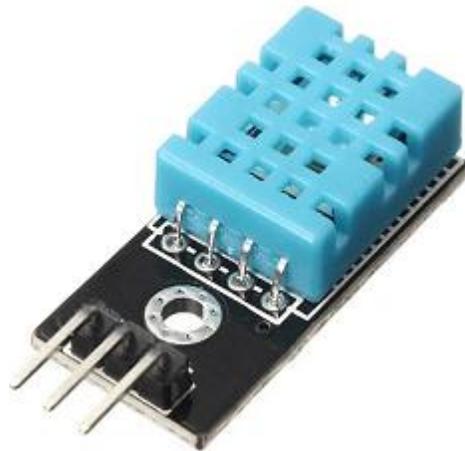


Figura 3.1. Sensor de temperatura DHT11.

#### **3.1.1. Sensores de posición.**

Su función es medir o detectar la posición de un determinado objeto en el espacio, dentro de este grupo, podemos encontrar los siguientes tipos de sensores:

#### **3.1.2. Sensores fotoeléctricos.**

## CAPITULO III. MARCO TEÓRICO.

La construcción de este tipo de sensores, se encuentra basada en el empleo de una fuente de señal luminosa (lámparas, diodos LED, diodos láser etc.) y una célula receptora de dicha señal, como pueden ser fotodiodos, fototransistores o LDR etc.

Este tipo de sensores, se encuentra basado en la emisión de luz, y en la detección de esta emisión realizada por la foto-detector.

Según la forma en que se produzca esta emisión y detección de luz, podemos dividir este tipo de sensores en: sensores por barrera, o sensores por reflexión.

### **3.1.3. Sensores por barrera.**

Estos detectan la existencia de un objeto, porque interfiere la recepción de la señal luminosa. Sensores por reflexión.

La señal luminosa es reflejada por el objeto, y esta luz reflejada es captada por el captador fotoeléctrico, lo que indica al sistema la presencia de un objeto.

### **3.1.4. Sensores de contacto.**

Estos dispositivos, son los más simples, ya que son interruptores que se activan o desactivan si se encuentran en contacto con un objeto, por lo que de esta manera se reconoce la presencia de un objeto en un determinado lugar.

Su simplicidad de construcción añadido a su robustez, los hacen muy empleados en robótica.

### **3.1.5. Sensores de circuitos oscilantes.**

Este tipo de sensores, se encuentran basados en la existencia de un circuito en el mismo que genera una determinada oscilación a una frecuencia prefijada, cuando en el campo de detección del sensor no existe ningún objeto, el circuito mantiene su oscilación de un manera fija, pero cuando un objeto se encuentra dentro de la zona de detección del mismo, la oscilación deja de producirse, por lo que el objeto es detectado.

Estos tipos de sensores son muy utilizados como detectores de presencia, ya que al no tener partes mecánicas, su robustez al mismo tiempo que su vida útil es elevada.

### **3.1.6. Sensores por ultrasonidos.**

## CAPITULO III. MARCO TEÓRICO.

Este tipo de sensores, se basa en el mismo funcionamiento que los de tipo fotoeléctrico, ya que se emite una señal, esta vez de tipo ultrasónica, y esta señal es recibida por un receptor. De la misma manera, dependiendo del camino que realice la señal emitida podremos diferenciarlos entre los que son de barrera o los de reflexión.

### **3.1.7. Sensores de esfuerzos.**

Este tipo de sensores, se encuentran basados en su mayor parte en el empleo de galgas extenso-métrica, que son unos dispositivos que cuando se les aplica una fuerza, ya puede ser una tracción o una compresión, varia su resistencia eléctrica, de esta forma podemos medir la fuerza que se está aplicando sobre un determinado objeto.

### **3.1.8. Sensores de Movimientos.**

Este tipo de sensores es uno de los más importantes en robótica, ya que nos da información sobre las evoluciones de las distintas partes que forman el robot, y de esta manera podemos controlar con un grado de precisión elevada la evolución del robot en su entorno de trabajo.

Existen también otros tipos de sensores para controlar la velocidad, basados en el corte de un haz luminoso a través de un disco perforado sujetado al eje del motor, dependiendo de la frecuencia con la que el disco corte el haz luminoso indicará la velocidad del motor.

### **Red de sensores.**

Una red de sensores (del inglés sensor network) es una red de ordenadores pequeñísimos (nodos), equipados con sensores, que colaboran en una tarea común (Figura 3.2).

Las redes de sensores están formadas por un grupo de sensores con ciertas capacidades sensitivas y de actuación inalámbrica los cuales permiten formar redes ad hoc, sin infraestructura física preestablecida, ni administración central.

Las redes de sensores inalámbricos (en inglés, Wireless sensor networks, abreviadamente WSN), también llamadas redes de sensores y actuadores (Wireless sensor and actuator networks, WSAN) son sensores autónomos espacialmente distribuidos para monitorizar condiciones físicas o ambientales, como temperatura, sonido, presión, etc. y para pasar sus

datos de forma cooperativa sus datos a través de la red a otras ubicaciones. Las redes más modernas son bidireccionales, que permiten el control de la actividad del sensor.

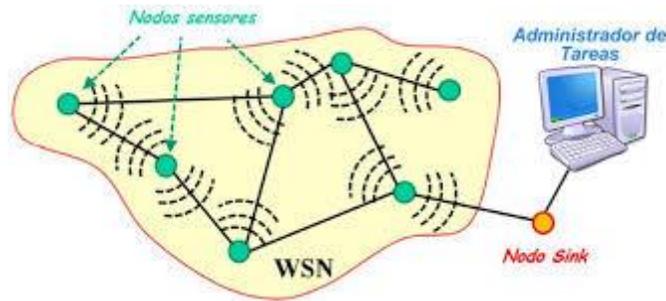


Figura 3.2. Red de sensores común.

### 3.1.9. Aplicaciones Potenciales.

Se han creado aplicaciones WSN para diferentes áreas incluyendo cuidado de la salud, servicios básicos y monitoreo remoto. En el cuidado de la salud, los dispositivos inalámbricos vuelven menos invasivo el monitoreo a pacientes y posible el cuidado de la salud. Para servicios básicos como electricidad, alumbrado público y ayuntamientos de agua, los sensores inalámbricos ofrecen un método de bajo costo para un sistema de recolección de datos saludable que ayuden a reducir el uso de energía y mejor manejo de recursos. El monitoreo remoto cubre un amplio rango de aplicaciones donde los sistemas inalámbricos pueden complementar sistemas de cable reduciendo costos de cableado y permitiendo nuevos tipos de aplicaciones de medición. Aplicaciones de monitoreo remoto incluyen:

- Monitoreo ambiental de aire, agua y suelo
- Monitoreo estructural para edificios y puentes
- Monitoreo industrial de maquinas
- Monitoreo de procesos
- Seguimiento de activos

Las redes de sensores tienen una serie de características propias y otras adaptadas de las redes Ad-Hoc.

### CAPITULO III. MARCO TEÓRICO.

- **Topología Dinámica:** En una red de sensores, la topología siempre es cambiante y éstos tienen que adaptarse para poder comunicar nuevos datos adquiridos
- **Variabilidad del canal:** El canal radio es un canal muy variable en el que existen una serie de fenómenos como pueden ser la atenuación, desvanecimientos rápidos, desvanecimientos lentos e interferencias que puede producir errores en los datos.
- **Tolerancia a errores:** Un dispositivo sensor dentro de una red de sensores tiene que ser capaz de seguir funcionando a pesar de tener errores en el sistema propio.
- **Comunicaciones multisalto o broadcast:** En aplicaciones de sensores siempre es característico el uso de algún protocolo que permita comunicaciones multi-hop, léase AODV, DSDV, EWMA u otras, aunque también es muy común utilizar mensajería basada en broadcast.
- **Consumo energético:** Es uno de los factores más sensibles debido a que tienen que conjugar autonomía con capacidad de proceso, ya que actualmente cuentan con una unidad de energía limitada. Un nodo sensor tiene que contar con un procesador de consumo ultra bajo así como de un transceptor radio con la misma característica, a esto hay que agregar un software que también conjugue esta característica haciendo el consumo aún más restrictivo.
- **Accesorios de hardware:** Para poder conseguir un consumo ajustado, se hace indispensable que el hardware sea lo más sencillo posible, así como su transceptor radio, esto nos deja una capacidad de proceso limitada.
- **Costes de producción:** Dada que la naturaleza de una red de sensores tiene que ser en número muy elevada, para poder obtener datos con fiabilidad, los nodos sensores una vez definida su aplicación, son económicos de hacer si son fabricados en grandes cantidades.

#### **Arduino.**

Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

## CAPITULO III. MARCO TEÓRICO.

El hardware de Arduino es básicamente una placa con un microcontrolador (Figura 3.3. Arduino uno.)

Arduino se puede utilizar para desarrollar elementos autónomos, conectándose a dispositivos e interactuar tanto con el hardware como con el software. Nos sirve tanto para controlar un elemento, pongamos por ejemplo un motor que nos suba o baje una persiana basada en la luz existente es una habitación, gracias a un sensor de luz conectado al Arduino, o bien para leer la información de una fuente, como puede ser un teclado, y convertir la información en una acción como puede ser encender una luz y pasar por un display lo teclado.

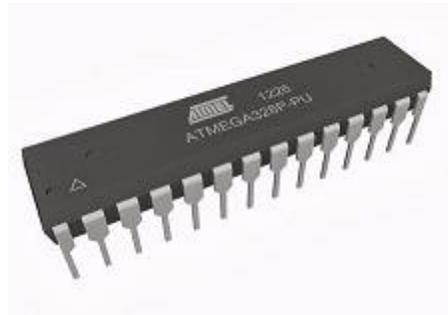


**Figura 3.3. Arduino uno.**

### **Microcontroladores.**

Un micro controlador (abreviado  $\mu\text{C}$ , UC o MCU) es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida (Figura 3.4. Microcontrolador.).

### CAPITULO III. MARCO TEÓRICO.



**Figura 3.4. Microcontrolador.**

Toda microcomputadora requiere de un programa para que realice una función específica. Este se almacena normalmente en la memoria ROM. No está de más mencionar que sin un programa, los microcontroladores carecen de utilidad.

El propósito fundamental de los microcontroladores es el de leer y ejecutar los programas que el usuario le escribe, es por esto que la programación es una actividad básica e indispensable cuando se diseñan circuitos y sistemas que los incluyan. El carácter programable de los microcontroladores simplifica el diseño de circuitos electrónicos. Permiten modularidad y flexibilidad, ya que un mismo circuito se puede utilizar para que realice diferentes funciones con solo cambiar el programa del microcontrolador.

Las aplicaciones de los microcontroladores son vastas, se puede decir que solo están limitadas por la imaginación del usuario. Es común encontrar microcontroladores en campos como la robótica y el automatismo, en la industria del entretenimiento, en las telecomunicaciones, en la instrumentación, en el hogar, en la industria automotriz, etc.

Los microcontroladores están diseñados para interpretar y procesar datos e instrucciones en forma binaria. Patrones de 1's y 0's conforman el lenguaje máquina de los microcontroladores, y es lo único que son capaces de entender. Estos 1's y 0's representan la unidad mínima de información, conocida como bit, ya que solo puede adoptar uno de dos valores posibles: 0 ó 1.

La representación de datos, instrucciones y señales en forma de bits resulta dificultosa y tediosa para aquellas personas que no estén familiarizadas con el sistema de numeración binario. Aún para los usuarios expertos no resulta tan evidente la interpretación de

### CAPITULO III. MARCO TEÓRICO.

instrucciones en forma binaria o lenguaje máquina (el lenguaje maquina se le conoce también como lenguaje de bajo nivel debido a que las instrucciones no son propias del lenguaje humano). Es por esto que la programación comúnmente se lleva a cabo en un lenguaje de alto nivel, es decir, un lenguaje que utilice frases o palabras semejantes o propias del lenguaje humano. Las sentencias de los lenguajes de alto nivel facilitan enormemente la programación ya que son familiares a nuestra manera de comunicarnos. Lenguajes como el C o BASIC son comúnmente utilizados en la programación de microcontroladores.

Otro tipo de lenguaje más especializado es el lenguaje ensamblador. El lenguaje ensamblador es una lista con un limitado número instrucciones a los cuales puede responder un microcontrolador. Estas instrucciones son palabras o abreviaciones que representan las instrucciones en lenguaje máquina del microcontrolador.

Las instrucciones en lenguaje ensamblador, también conocidas como nemotécnicos, son fáciles de entender y permiten operar directamente con los registros de memoria así como con las instrucciones intrínsecas del microcontrolador. Es por esto que el lenguaje ensamblador es sin lugar a dudas el lenguaje por excelencia en la programación de microcontroladores, ya que permite hacer un uso eficiente de la memoria y minimizar el tiempo de ejecución de un programa.

Cualquiera que sea el lenguaje que se utilice en la programación de microcontroladores, es de lo más recomendable profundizar en su arquitectura interna, ya que con este conocimiento se pueden aprovechar más y mejor las capacidades de un microcontrolador dado.

Todo programa escrito en un lenguaje de alto nivel debe ser transformado en código máquina. Los programas que escribimos los entendemos nosotros, no así el microcontrolador.

Un software de computadora, llamado compilador, traduce y transforma nuestro programa en código máquina, que es lo que realmente puede leer e interpretar el microcontrolador.

Una vez compilado el programa, es momento de transferir nuestro código maquina hacia la memoria interna del microcontrolador, usualmente hacia la ROM. Para esta tarea se utiliza un

### CAPITULO III. MARCO TEÓRICO.

programador físico, que es una pieza de hardware que tiene el propósito de escribir el programa en la memoria interna del micro.

Existen varios fabricantes de microcontroladores tales como Texas Instruments, Motorola, Atmel, Intel, Microchip, Toshiba, Nacional, etc. Todos ellos ofrecen microcontroladores con características más o menos similares, sin embargo, en términos generales se puede decir que todos sirven para lo mismo: leer y ejecutar los programas del usuario.

Evidentemente algunos modelos tienen más capacidad que otros, en cuanto a memoria, velocidad, periféricos, etc.

En el diseño de un sistema con microcontrolador se pueden elegir dispositivos de cualquiera de los fabricantes y satisfacer la necesidad del sistema en cuestión.

- Disponibilidad de los microcontroladores en el mercado local y/o global. Algunos microcontroladores son más comúnmente encontrados en las casas de electrónica que otros. No es conveniente emprender un proyecto basado en cierto microcontrolador que escasea en el mercado local y/o global ya que podría no satisfacer nuestra demanda y detener el proyecto.
- Disponibilidad de información y herramientas de desarrollo. Actualmente la mayoría de los fabricantes de microcontroladores ofrecen información suficiente para entender la operación y funcionamiento de sus dispositivos. El punto débil de algunos fabricantes es la pobre distribución de sus herramientas de desarrollo (programadores, emuladores, software, etc.) o bien su alto costo.
- Precio. Hay gente y/o empresas que tienen los recursos para pagar lo que sea necesario cuando se trata de tecnología, sin embargo, la mayoría prefiere ahorrarse dinero, por lo que el precio resulta un punto a favor en la selección de un fabricante de microcontroladores.

El modelo de microcontrolador específico que se debe elegir depende de la aplicación, aunque uno puede hacer un juicio sobre la capacidad de un microcontrolador tomando en cuenta su

### CAPITULO III. MARCO TEÓRICO.

capacidad de memoria, la cantidad de puertos de entrada y salida, los periféricos, la velocidad a la cual ejecuta las instrucciones, etc.

Los PIC, de Microchip, son una opción más dentro del vasto mercado de microcontroladores. La popularidad de estos micros radica en su alta disponibilidad en el mercado y bajo precio.

El fabricante ha procurado una difusión exhaustiva de información relativa a sus productos, lo cual ha traído como consecuencia un proliferado uso de este tipo de microcontroladores. Algunos de los profesionales y aficionados que los utilizan difunden sus desarrollos e inventos por Internet lo cual ha promovido su uso. Muchos consideran que los PIC son los más fáciles de programar.

Por otro lado, se han desarrollado una serie de herramientas de bajo costo por parte de terceros (empresas, profesionales y aficionados), como son programadores, software, etc., que facilitan el uso y programación de estos dispositivos.

Compiladores de C y Basic están disponibles para programar a los PIC y de reciente aparición son los PICAXE, que es un sistema que permite al usuario implementar una función con microcontrolador PIC sin siquiera conocer las instrucciones ni la arquitectura propia del microcontrolador.

#### **XBee.**

Digi XBee es el nombre de la marca de una serie de módulos transmisores inalámbricos creados por Digi Internacional que utilizan el protocolo ZigBee (Figura 3.5. XBEE.).



Figura 3.5. XBEE.

Existen dos tipos básicos de variedades de hardware:

### 3.1.10. XBee series 1.

No necesitan ser configurados, por lo tanto fáciles para trabajar e ideales para empezar.

Comunicación punto a punto, punto-multipunto.

### 3.1.11. XBee series 2 (2.5, ZB, 2B).

Comunicación punto a punto, punto-multipunto y redes mesh.

Necesitan ser configurados.

### 3.1.12. Potencias de transmisión.

Tanto la Serie 1 y Serie 2 están disponibles en dos potencias de transmisión diferentes, la normal (simplemente XBee) y la PRO (XBee-PRO). La versión PRO consume más energía, son más caros y tienen más rango de distancia (de 1 a 15 millas).

### 3.1.13. Antenas.

Los XBee trabajan en la región de radiofrecuencia del espectro electromagnético. Las ondas de radio al chocar con un conductor, como un objeto metálico, inducen una corriente eléctrica. Por este motivo se pueden emplear antenas metálicas para la transducción de señales eléctricas que las computadoras pueden detectar y procesar.

- Antena de cable: Como su nombre lo indica es un cable que sobresale del XBee. En él la distancia máxima de transmisión es más o menos la misma en todas las direcciones.

## CAPITULO III. MARCO TEÓRICO.

- Antena de chip: La antena es un chip de cerámica plana que está al ras del cuerpo de la XBee. Eso hace que sea más pequeño y robusto, sin embargo la señal se atenúa en muchas direcciones. Se utilizan cuando existe el riesgo que la antena de cable se rompa o se tiene poco espacio para colocarlo.
- Antena PCB: La antena se imprime directamente en la placa de circuito del XBee. La antena PCB ofrece la mayoría de las ventajas (y desventajas) de la antena de chip con un costo menor.
- U.FL y conector RPSMA: Necesitan una antena externa. Se utilizan cuando se desea orientar una antena en diversas posiciones o se requiere utilizar un tipo especial de antena.

### **3.1.14. Elementos de una red de XBee.**

- Coordinador: Es el responsable de mantener la red. Solo puede haber uno por red.
- Router: Actúa como un mensajero entre otros dispositivos que están demasiado separados para transmitir la información por su cuenta. Son generalmente conectados a una toma eléctrica, ya que deben estar encendidos todo el tiempo.
- Dispositivo terminal: Pueden enviar y recibir información, pero no actúan como mensajeros entre cualquier otro dispositivo. Para ahorrar energía pueden entrar temporalmente en un modo de espera.

### **ZigBee.**

ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (Wireless personal area network, WPAN). Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

En principio, el ámbito donde se prevé que esta tecnología cobre más fuerza es en domótica, como puede verse en los documentos de la ZigBee Alliance, (consultar [www.zigbee.com](http://www.zigbee.com)).La

## CAPITULO III. MARCO TEÓRICO.

razón de ello son diversas características que lo diferencian de otras tecnologías que están involucradas en la domótica:

- Su bajo consumo.
- Su topología de red en malla.
- Su fácil integración (se pueden fabricar nodos con muy poca electrónica).

Una de las principales ventajas de ZigBee es lo sencillo y el bajo coste que supone para la empresa producir dispositivos con esta tecnología de comunicación. Mucho más sencillo que Bluetooth por ejemplo. De hecho, según datos, se requiere un 10% del hardware total necesario para producir un dispositivo con bluetooth.

Esto en costes supone un ahorro considerable en la empresa. En cuanto al software, se necesita un código un poco más amplio ya que se necesita un 50% del utilizado para tecnología Bluetooth. Es decir, se requieren de 128kB de almacenamiento para almacenar el código fuente.

El estándar seguido por los dispositivos ZigBee es el WPAN con una transmisión basada en la norma IEEE 802.15.4-2003. Su funcionamiento es a través de 16 canales situados en el rango de frecuencias de 2.4GHz y con un ancho de banda para cada uno de 5MHz. El protocolo CSMA/CA se utiliza para evitar colisiones durante la transmisión.

Una red formada por dispositivos ZigBee puede tener distintas topologías: Estrella, árbol y malla. De estas tres, la más usada es la organización en malla. Lo que quiere decir esta topología es que un nodo ZigBee puede estar conectado a su vez a otros más de la misma red. De este modo, se asegura la comunicación entre todos los nodos porque siempre habrá un camino para seguir en caso de caída de uno. Claro está, el nodo coordinador es el que dirige el paso de mensajes entre cada nodo de la malla.

### **Topología de red.**

La topología de red (Figura 3.6. Topologías de red.) se define como el mapa físico o lógico de una red para intercambiar datos. En otras palabras, es la forma en que está diseñada la red, sea en el plano físico o lógico. El concepto de red puede definirse como «conjunto de nodos

interconectados». Un nodo es el punto en el que una curva se intercepta a sí misma. Lo que un nodo es concretamente depende del tipo de red en cuestión.

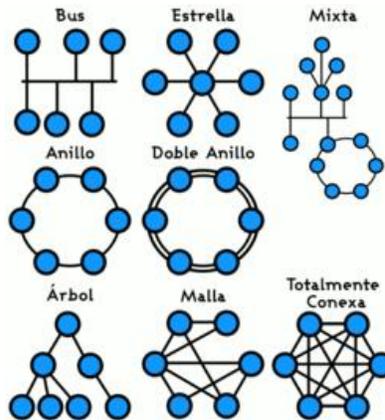


Figura 3.6. Topologías de red.

### 3.1.15. Topología de estrella.

En una topología de estrella, las computadoras en la red se conectan a un dispositivo central conocido como concentrador (hub en inglés) o a un conmutador de paquetes (switch en inglés).

En un ambiente LAN cada computadora se conecta con su propio cable (típicamente par trenzado) a un puerto del hub o switch. Este tipo de red sigue siendo pasiva, utilizando un método basado en contención, las computadoras escuchan el cable y contienen por un tiempo de transmisión.

Debido a que la topología estrella utiliza un cable de conexión para cada computadora, es muy fácil de expandir, sólo dependerá del número de puertos disponibles en el hub o switch (aunque se pueden conectar hubs o switches en cadena para así incrementar el número de puertos). La desventaja de esta topología es la centralización de la comunicación, ya que si el hub falla, toda la red se cae.

### 3.1.16. Topología de malla.

La topología de malla (mesh) utiliza conexiones redundantes entre los dispositivos de la red así como una estrategia de tolerancia a fallas. Cada dispositivo en la red está conectado a todos los demás (todos conectados con todos). Este tipo de tecnología requiere mucho cable (cuando

### CAPITULO III. MARCO TEÓRICO.

se utiliza el cable como medio, pero puede ser inalámbrico también). Pero debido a la redundancia, la red puede seguir operando si una conexión se rompe.

Las redes de malla, obviamente, son más difíciles y caras para instalar que las otras topologías de red debido al gran número de conexiones requeridas.

La red Internet utiliza esta topología para interconectar las diferentes compañías telefónicas y de proveedoras de Internet, mediante enlaces de fibra óptica.

#### **Árbol de manzano.**

El manzano o *Malus domestica* (Figura 3.7. Árbol de manzano.), es un árbol de la familia de las rosáceas, cultivado por su fruto, apreciado como alimento. Domesticado hace más de 15 000 años, su origen parece ser el Cáucaso y las orillas del mar Caspio. Fue introducido en Europa por los romanos y en la actualidad existen unas 1000 variedades/cultivares, como resultado de innumerables hibridaciones entre formas silvestres. Es una gran fuente de vitaminas.

Es un árbol de mediano tamaño (4 m de altura), inerte, caducifolio, de copa redondeada abierta y numerosas ramas que se desarrollan casi horizontalmente. El tronco tiene corteza agrietada que se desprende en placas. Las hojas, estipuladas y cortamente pecioladas, son ovaladas, acuminadas u obtusas, de base cuneada o redondeada, generalmente de bordes aserrados, pero ocasionalmente sub-enteras, de fuerte color verde y con pubescencia en el envés. Al estrujarlas despiden un agradable aroma.



**Figura 3.7. Árbol de manzano.**

## IV. DESARROLLO

### Método

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó la metodología (INFOTEC, 2013) propuesta por el Centro de Investigación e Innovación en Tecnologías de la Información y Comunicación (Figura 4.1. Metodología.).

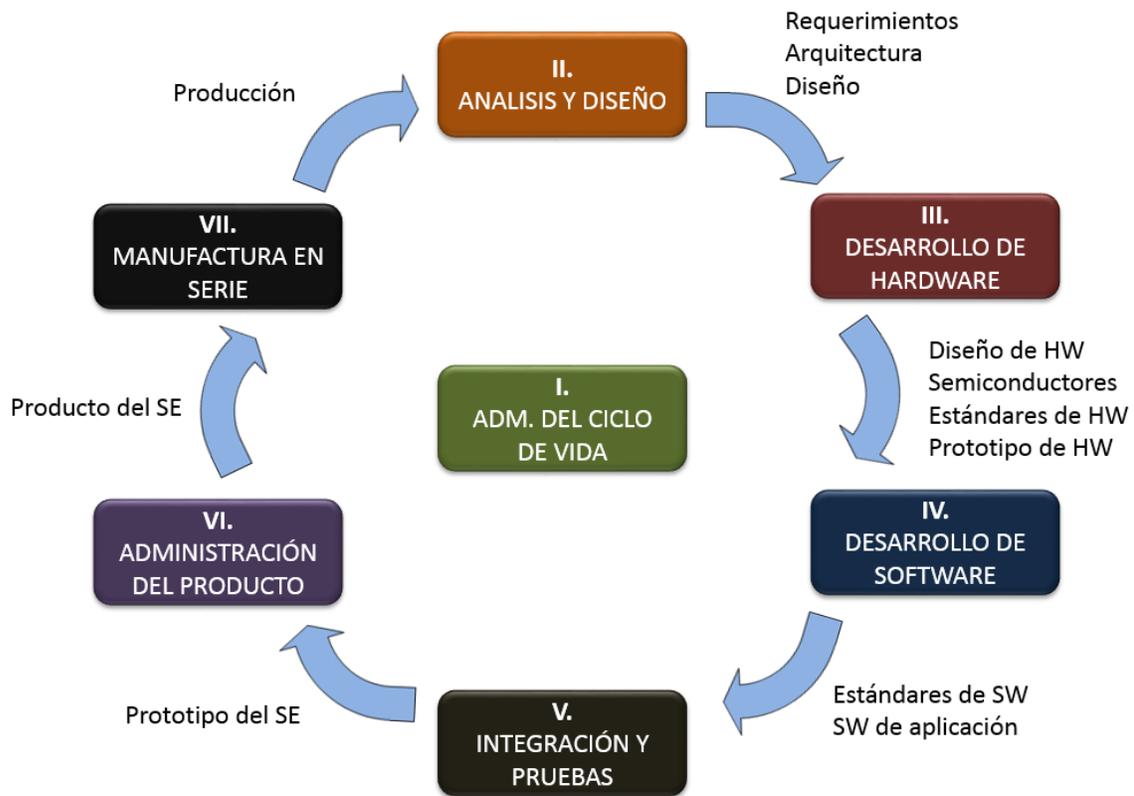


Figura 4.1. Metodología.

Para realizar la investigación se utilizaron entrevistas y encuestas con los productores de manzanas para saber qué características serían las adecuadas para un sistema como este, ya que esto ha probado ser un buen método de bajo coste para recoger grandes cantidades de datos dispares (Ditmyer, y otros, 2012).

### Análisis y diseño.

A continuación se presentan el análisis y el diseño de los procesos que se identifican para el funcionamiento del sistema.

#### 4.1.1. Procesos del sistema.

- Consultar reporte de estado de la red de sensores: Proceso que se realiza cuando el encargado del huerto solicita al sistema un reporte de estado, el sistema realiza un escaneo de toda la red y devuelve un reporte de estado con información de temperatura, diagramas con color, etc. (Figura 4.2. Reporte de estado.).

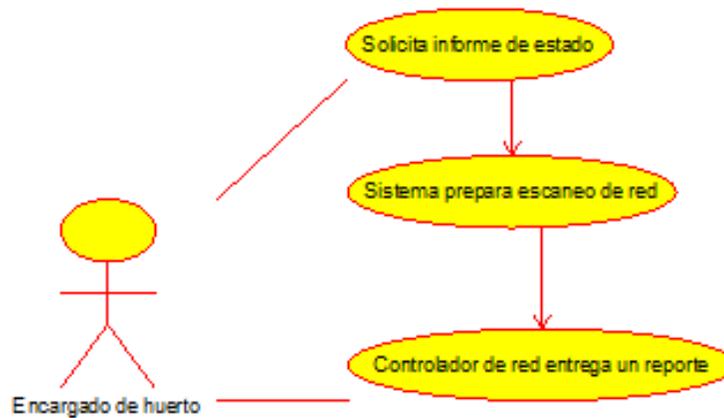


Figura 4.2. Reporte de estado.

- Ajuste de respuesta del sistema: Proceso para cuando se detecta un error en la respuesta del sistema y un encargado debe ajustar el umbral de temperaturas adecuadas. (Figura 4.3. Ajuste de respuesta.).

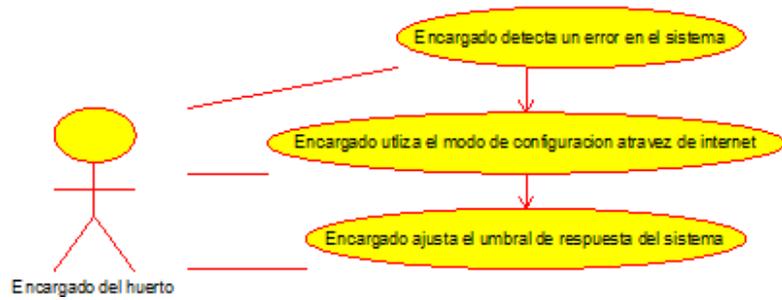


Figura 4.3. Ajuste de respuesta.

- Diagrama de funcionamiento del sistema: Proceso que realiza el sistema al momento de operar sus componentes, este lee los valores de umbral de temperatura óptima para su funcionamiento. (Figura 4.4. Funcionamiento del sistema.).

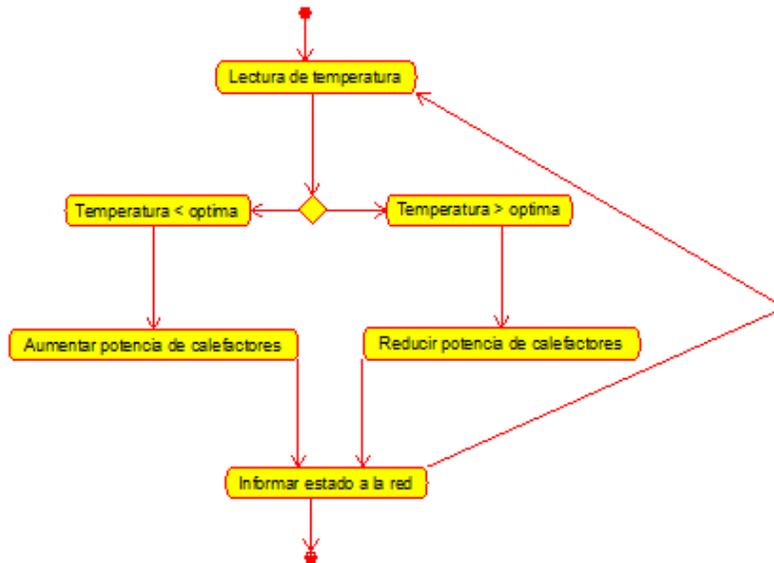


Figura 4.4. Funcionamiento del sistema.

#### 4.1.2. Diagrama entidad-relación.

En la Figura 4.5. Diagrama entidad-relación., se puede observar el diagrama entidad-relación de la base de datos que está soportada por un servidor de MySQL el cual está instalado en el dispositivo coordinador de la red. Esta base de datos se compone de 20 tablas, de las cuales, las más importantes son:

## CAPITULO IV. DESARROLLO

- Tipo\_sensor: esta tabla es para guardar los datos de los tipos de sensores que están instalados.
- Sensores: en esta tabla se guardan los sensores del sistema.
- Sensores\_datos: en esta tabla están los datos que los sensores están reportando continuamente.

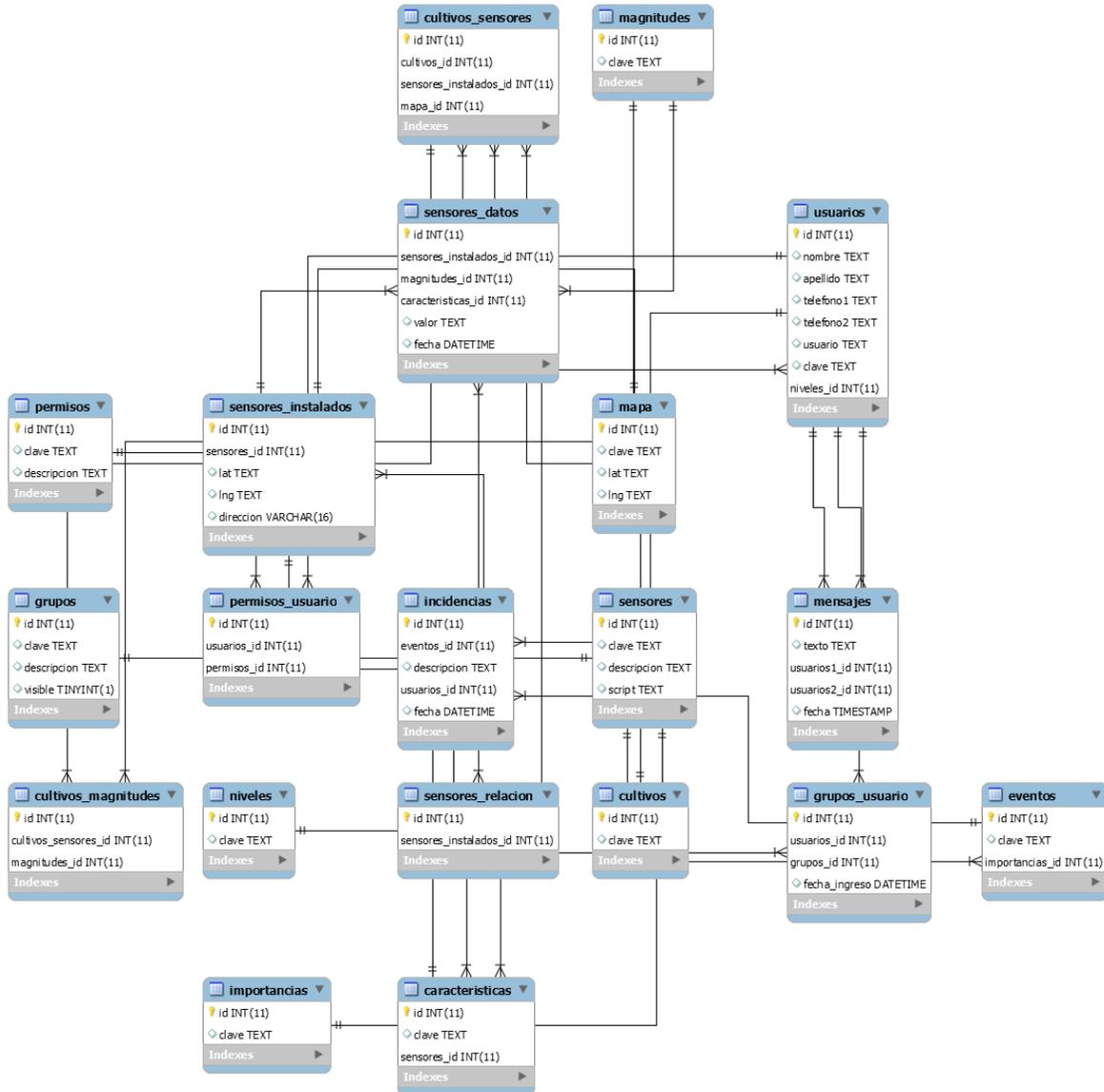
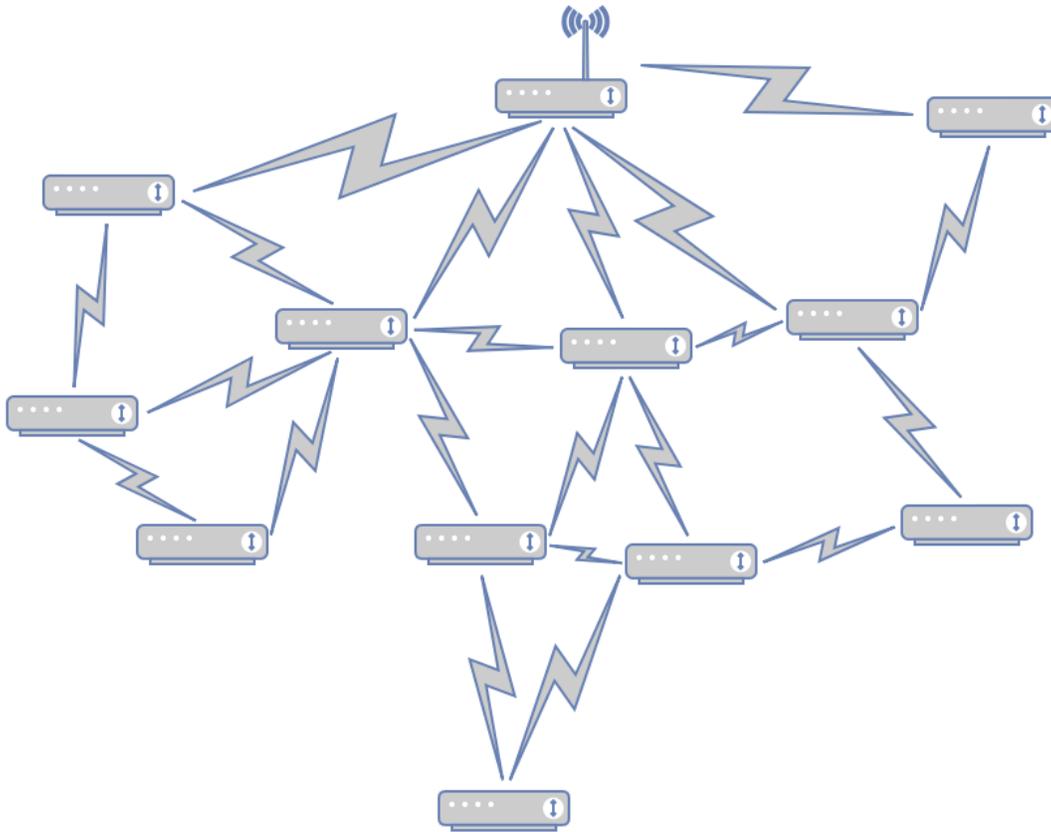


Figura 4.5. Diagrama entidad-relación.

**Desarrollo del hardware.**

En la etapa de análisis y desarrollo de hardware se define que el proyecto consiste en implementar una red de malla basada en módulos XBee los cuales enviarán datos de diversos tipos de sensores (por ejemplo: temperatura, humedad y luz). (Figura 4.6. Diagrama de red.).



**Figura 4.6. Diagrama de red.**

Una vez implementada la red de malla, se analiza posteriormente su desempeño.

## CAPITULO IV. DESARROLLO

Cada dispositivo sensor/actuador contiene un microcontrolador el cual al conectarse a la red, informa al coordinador sobre sus funciones para que este lo agregue a la interfaz del sistema. Para agregar estos dispositivos a la red, solo es necesario energizarlos.

Un dispositivo coordinador concentra los datos de toda la red, contará con una base de datos y cuya función es la de puerta de enlace hacia internet hospedando una aplicación basada en J2EE utilizando un servidor de aplicaciones que será accesible desde cualquier navegador web.

Este dispositivo coordinador será basado en una tarjeta de desarrollo (por ejemplo: BeagleBone Black Wireless o Raspberry Pi), ya que estas tienen la capacidad de contener un sistema operativo avanzado y un servidor de bases de datos.

Se diseñaron una serie de dispositivos portátiles que funcionan como sensores o actuadores inteligentes.

Para el desarrollo del hardware se utilizó el software Proteus que permite simular circuitos electrónicos, con este software de diseño se desarrollaron los diagramas básicos para los módulos sensor-microcontrolador.

### **4.1.3. Diagramas electrónicos del sistema.**

El sistema debe poder incluir todo tipo de sensores de forma sencilla, en todos los diseños de módulos se utiliza un arduino para realizar la codificación de los datos en formato JSON y posteriormente en el formato de paquete de ZigBee.

Estos datos son transformados al formato de paquete *TransmitData* ZigBee.

## CAPITULO IV. DESARROLLO

El primer diagrama diseñado es la composición más básica de un módulo, el cual contiene un sensor conectado a un microcontrolador, en este caso un arduino, así como a una fuente común. (Figura 4.7. Diagrama sensor humedad y temperatura.).

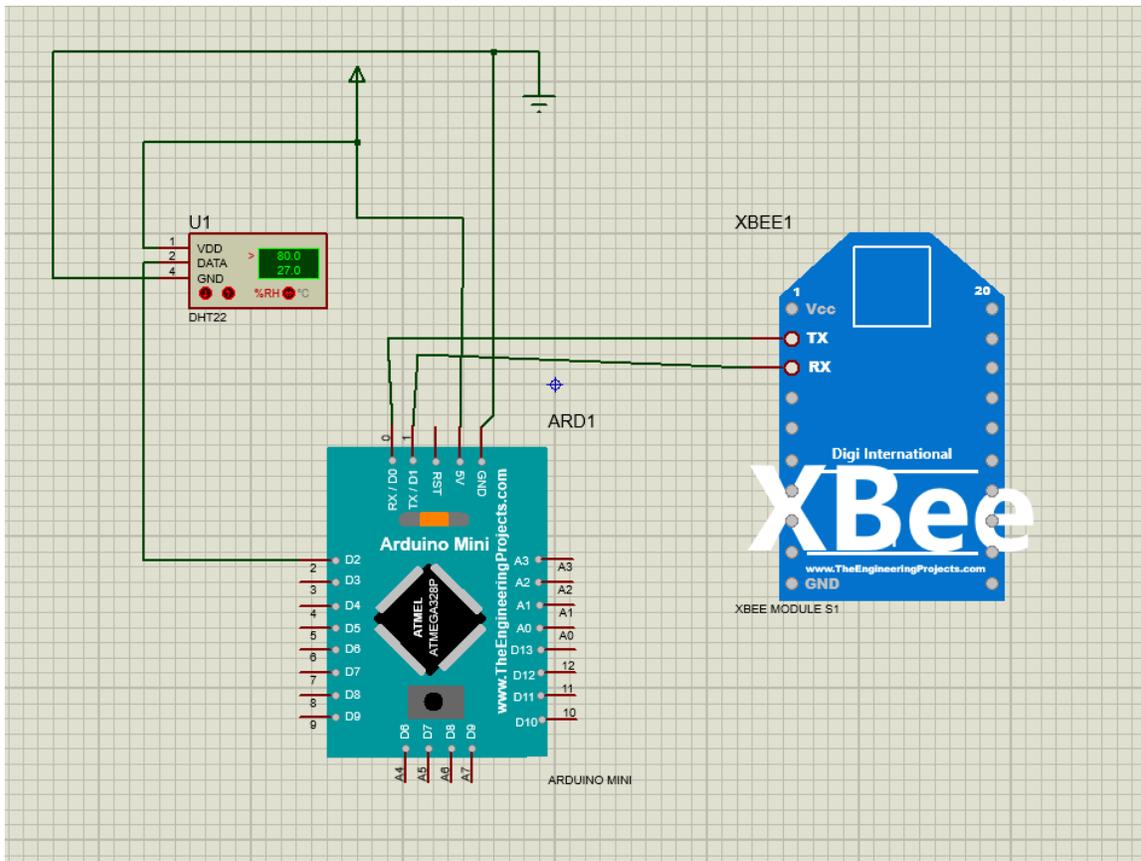


Figura 4.7. Diagrama sensor humedad y temperatura.

El siguiente diagrama incluye un sensor ultrasónico que puede servir para medir el crecimiento o detectar acercamientos no deseados ya sea de animales o personas. (Figura 4.8. Diagrama sensor de distancia.).

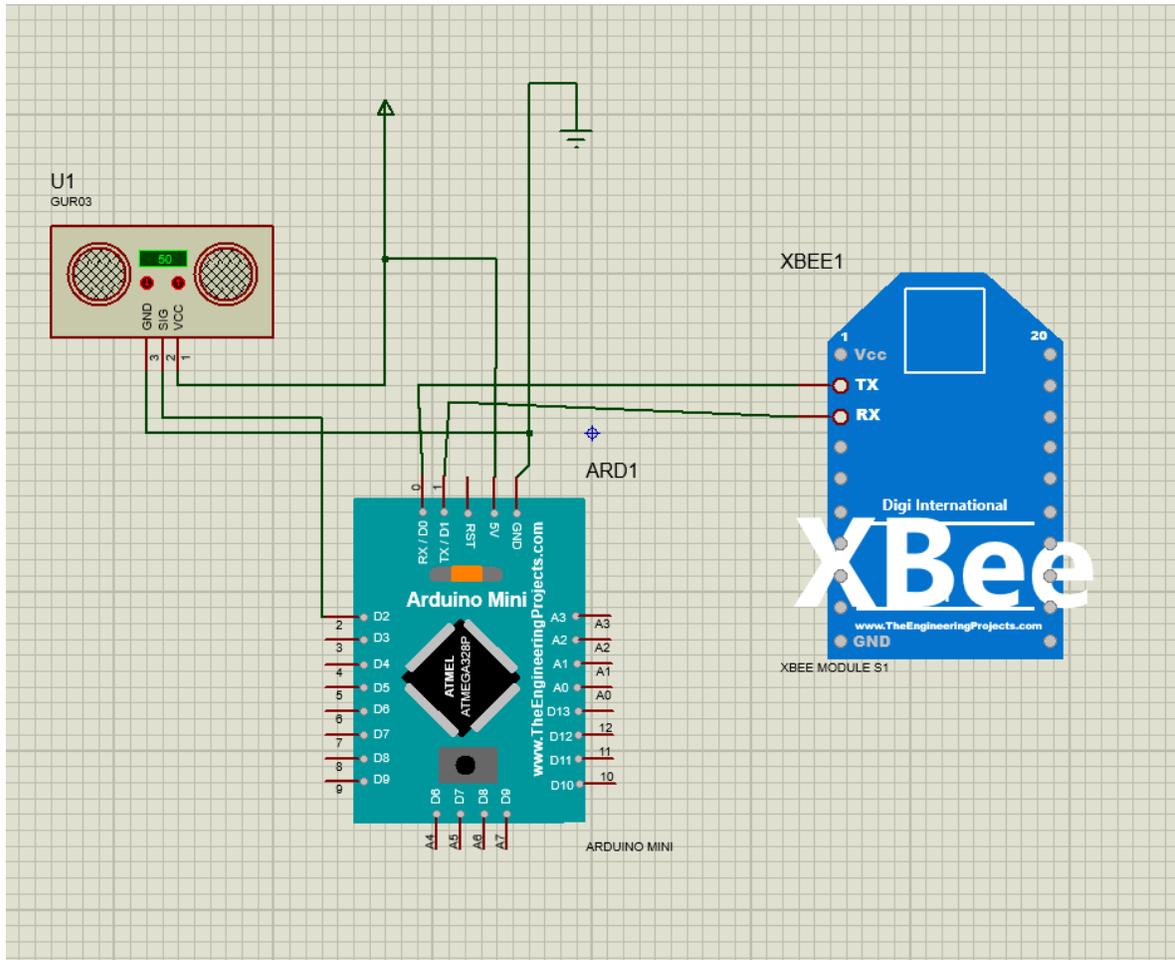


Figura 4.8. Diagrama sensor de distancia.

El siguiente es un diagrama con un sensor de luz basado en una fotorresistencia (LDR), para medir la iluminación del sol o artificial que recibe la planta. (Figura 4.9. Diagrama sensor de luz.).

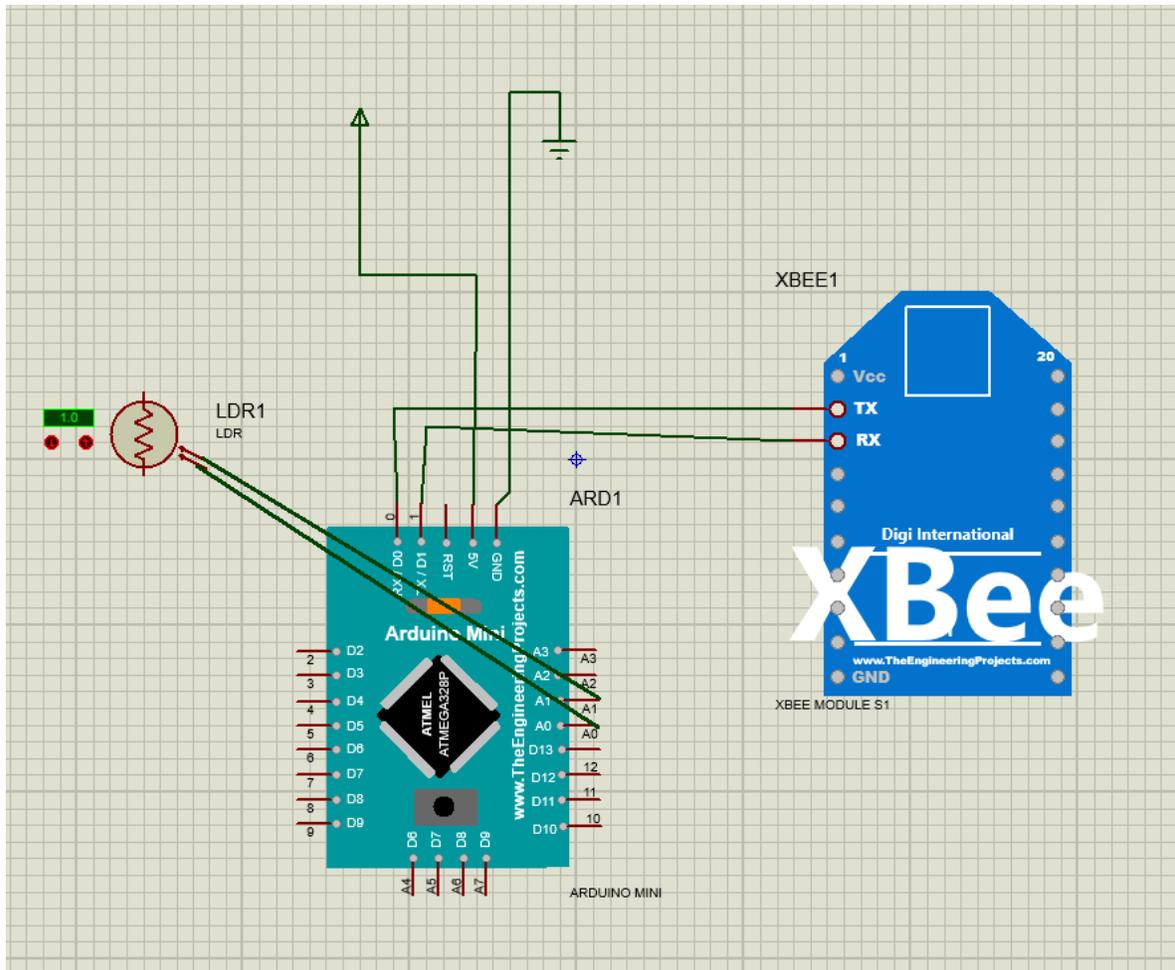


Figura 4.9. Diagrama sensor de luz.

El siguiente es una demostración de un módulo actuador sin sensor que activa una resistencia calorífica. (Figura 4.10. Diagrama actuador: calefactor de temperatura.).



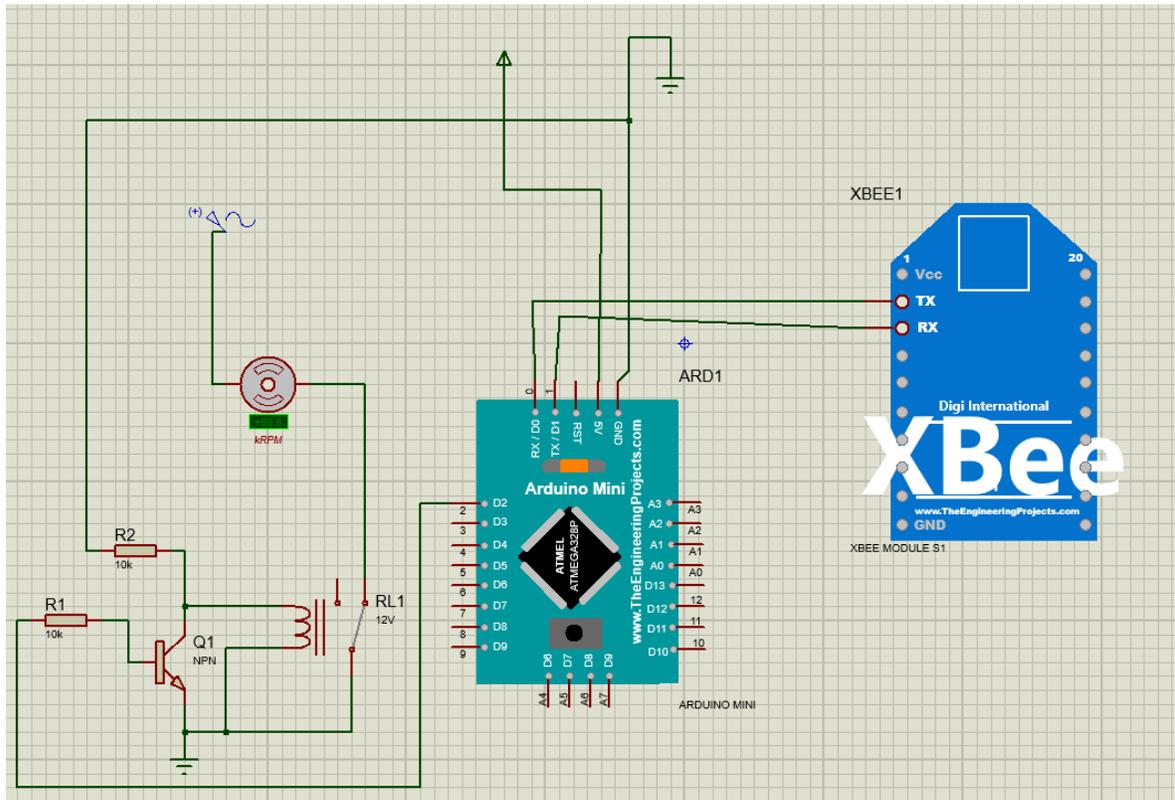


Figura 4.11. Diagrama actuador: bomba de agua.

A continuación se presenta un nuevo tipo de diagrama que incluye un actuador, en este caso un motor accionado por un relevador y un sensor, ambos unidos a un microcontrolador. (Figura 4.12. Diagrama bomba de agua y sensor humedad y temperatura.).

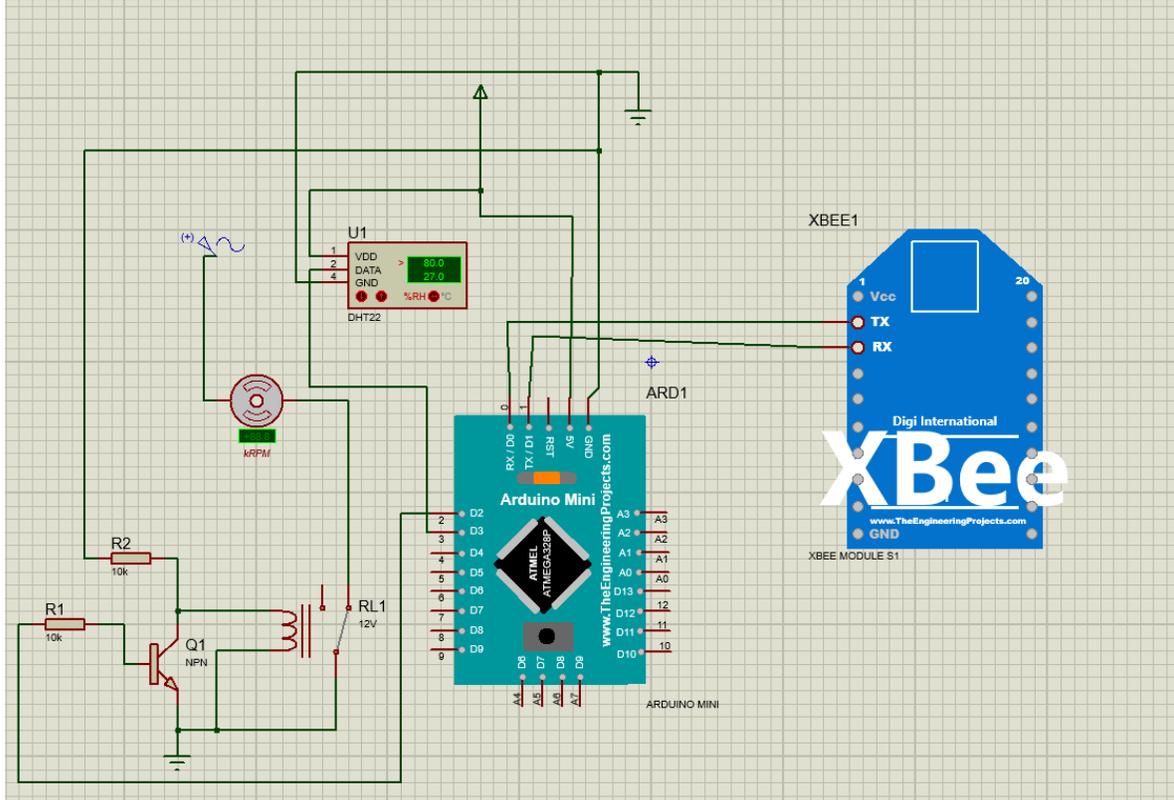


Figura 4.12. Diagrama bomba de agua y sensor humedad y temperatura.

Además se presenta el diagrama de un módulo multisensor donde se pueden incorporar 2 o más sensores además de un actuador. (Figura 4.13. Diagrama actuador: bomba de agua, sensor humedad y temperatura y sensor ultrasónico.).

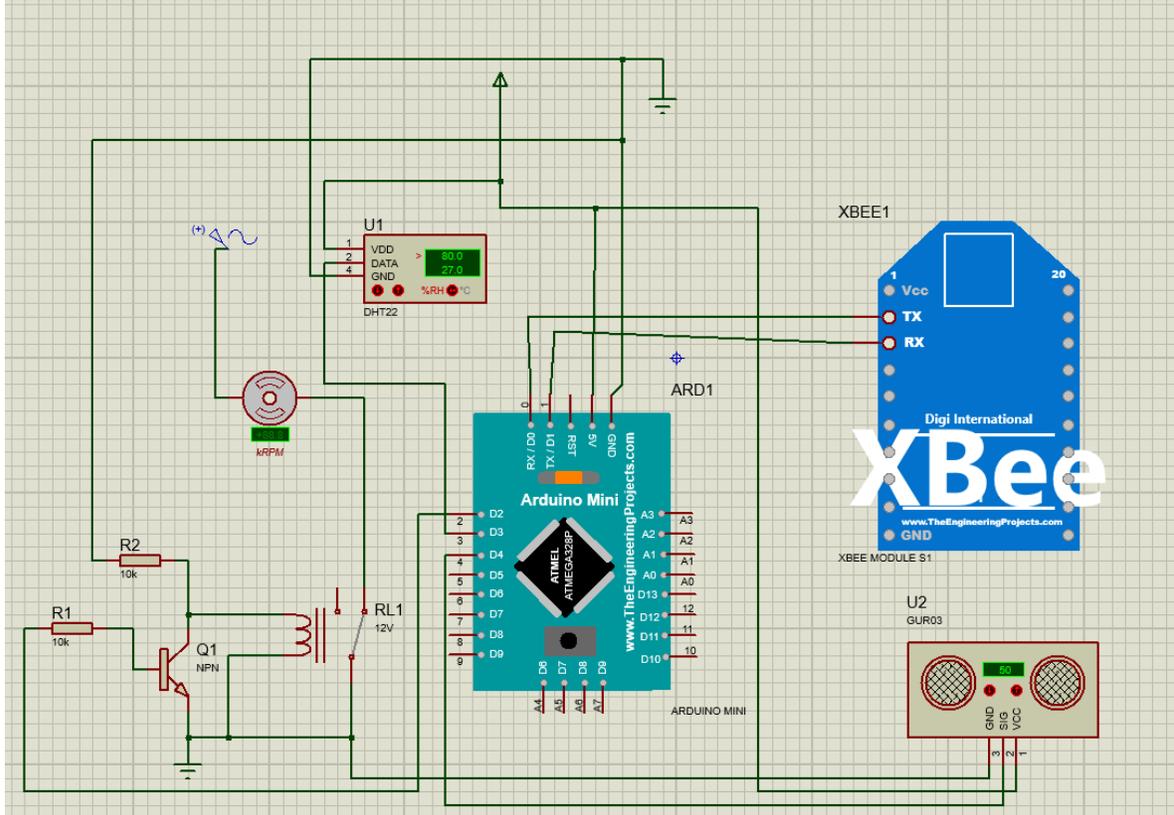


Figura 4.13. Diagrama actuador: bomba de agua, sensor humedad y temperatura y sensor ultrasónico.

Por último en la Figura 4.14, se puede observar un prototipo ya armado de un módulo, que utiliza un sensor ultrasónico.



**Figura 4.14. Primer prototipo.**

### **Desarrollo del software**

El sistema se compone de 3 aplicaciones diferentes las cuales son:

#### **4.1.4. Software embebido**

El código fuente de cada dispositivo sensor actuador, donde está programada su forma de interactuar con la red y la forma de reportar los datos censados, estos dispositivos pueden ser configurados remotamente pudiendo guardar estos datos en la memoria flash en caso de falla eléctrica, este software estará escrito en c utilizando el ide pic c compiler.

A continuación se muestran algunos diseños de módulos como el de la Figura 4.7 el cual es un módulo que incluye un sensor de tipo *DTH22* que es utilizado para medir temperatura y humedad, para este caso el los datos enviados a la base serían los que se aprecian en la Figura 4.15.

```
{
  "modulo_id":255,
  "sensores":[
    {
      "num_parte":"dht22",
      "tipo":"humedad",
      "magnitud":"% humedad relativa",
      "magnitud_abreviada":"% hr",
      "lectura":44
    },
    {
      "num_parte":"dht22",
      "tipo":"temperatura",
      "magnitud":"grados centigrados",
      "magnitud_abreviada":"° c",
      "lectura":32
    }
  ]
}
```

Figura 4.15. Datos en formato JSON.

#### 4.1.5. Aplicación móvil Android

Se desarrolló una aplicación móvil para el sistema operativo Android, a través de esta aplicación el usuario puede monitorear el estado del campo de cultivos, puede recibir datos de sensores, recibe alertas sobre cualquier incidencia y permite enviar mensajes entre los usuarios así como asignar tareas para los empleados.

#### 4.1.6. Sistema para usuario JAVA

La aplicación donde el usuario puede controlar el sistema y además puede el estado del mismo, la cual está instalada en el dispositivo coordinador el cual esta implementado en una tarjeta de desarrollo avanzada como lo es la Raspberry pi, esta aplicación es accesible por medio de internet para que cualquier usuario del sistema tenga acceso, tiene un sistema de seguridad basado en usuarios, contraseñas y niveles, cada usuario tiene diferentes permisos sobre el sistema dependiendo de su nivel asignado o rol de acceso, estos deben ser configurados por el administrador del sistema el cual poseerá control total sobre el mismo, también el sistema envía datos en tiempo real a través de internet en caso de una emergencia, como lo puede ser un incendio, un cambio de clima brusco, alguna falla en un sensor o incluso puede enviar alertas sobre el robo de cultivos, esto lo puede hacer por medio de mensajes SMS

## CAPITULO IV. DESARROLLO

o utilizando la aplicación para celular, esta aplicación estará basada en java, lo cual le permitirá correr en cualquier sistema operativo de computadoras, ya sea Linux, Windows o Mac, además lo hace independiente de la arquitectura del sistema soportando cualquiera existente como lo pueden ser x86, x64 o ARM.

### Interfaces del sistema

Menú principal: tiene diferentes funcionalidades, cada una con un nivel de usuario requerido, estos datos son cargados desde la base de datos una vez que el usuario se autentifica para decidir cuales botones serán activados y cuáles serán ocultados de acuerdo al nivel del mismo. En la Figura 4.16. Interfaz del sistema., se aprecia la interfaz que se muestra al usuario administrador, el cual no tiene restricciones en el sistema, lo cual quiere decir que este usuario puede realizar cualquier acción en el sistema sin ningún tipo de limite, este usuario debe ser usado solo por personas capacitadas para no afectar el correcto funcionamiento del mismo.

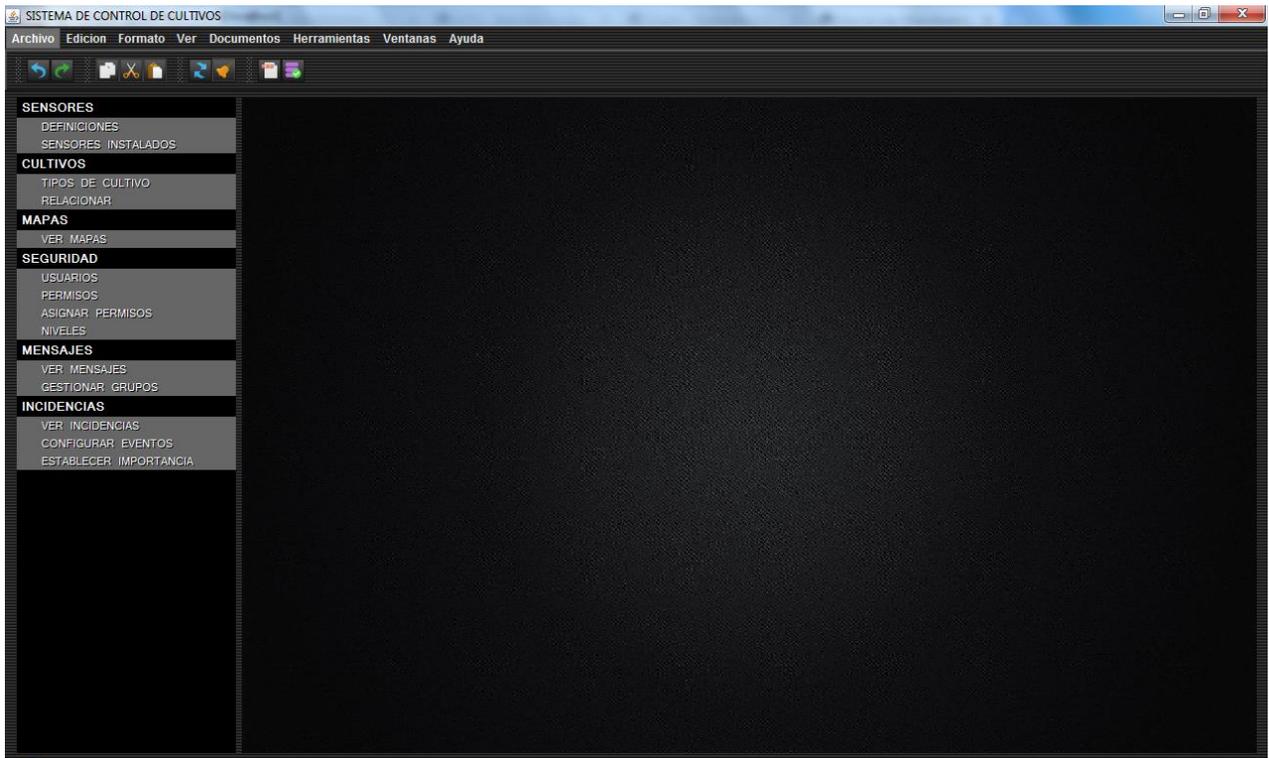


Figura 4.16. Interfaz del sistema.

## CAPITULO IV. DESARROLLO

El sistema posee diversas funciones mostradas en la interfaz por medio de botones las cuales son las siguientes:

Las condiciones de temperatura del sistema mediante un mapa interactivo que muestra mediante colores los diferentes niveles de temperatura según un umbral previamente definido.

También es posible revisar los datos históricos guardados en la base de datos del sistema, para consultar temperaturas de fechas anteriores, así como incidencias pasadas y la acción correctiva tomada para las mismas,

Otra característica que posee esta aplicación es que permite al usuario reconfigurar la red para corregir mediante software fallos en algún sensor, desviando el flujo de información a través de otro nodo, así mismo permite agregar más dispositivos sensores y permite configurarlos a distancia, la siguiente función es la configuración del sistema donde el usuario puede modificar valores tales como la fecha/hora del sistema, la ubicación física del dispositivo coordinador, los datos de dirección IP del servidor de base de datos, etc.

Es posible para el usuario mandar una solicitud de soporte técnico mediante la aplicación, este puede describir su problema y es enviado mediante un correo electrónico para su pronta respuesta.

El sistema permite modificar los umbrales para los datos de los diferentes tipos de dispositivos sensores agregados al sistema, como lo son los sensores de temperatura para que el sistema conozca el límite de temperatura aceptable para el mismo ya sea temperatura mínima o temperatura máxima, o para los sensores de humedad donde se requiere saber cuál es la humedad óptima requerida para el tipo de cultivo y si el dispositivo instalado es del tipo actuador, programar la acción a realizar como podría ser el riego controlado o el riego por goteo, en esta función es posible configurar además en caso de que se instalen sensores de movimiento, la hora del día en el que estos deben estar activos y si deben encender luces o enviar una alerta a los cuidadores del campo.

## CAPITULO IV. DESARROLLO

La siguiente función es la de editar usuarios, en esta pantalla en usuario administrador puede agregar, modificar y borrar usuarios del sistema, así como asignar o retirar permisos de operación.

La función editar permisos, como su nombre lo indica, permite al administrador modificar el alcance de los permisos registrados en el sistema y asignarlos a las diferentes funciones del mismo.

El centro de alertas es una función para que un usuario pueda enviar notificaciones sobre incidencias del sistema a los demás usuarios, en esta función un usuario de rango alto puede asignar tareas de corrección de eventualidades para que los demás usuarios las ejecuten y estos tienen que reportar las acciones tomadas.

El botón reporte diario genera un documento con un desplegado de los datos del comportamiento del campo de cultivo diariamente, se puede seleccionar el día que se quiera revisar ya que estos datos se guardan en la base de datos, estos documentos pueden ser exportados a PDF o a Word.

Por último, el reporte de incidencias es un documento que detalla cualquier problema surgido en el campo de cultivo en un rango de fechas seleccionado.

## CAPITULO IV. DESARROLLO

Interfaz de lista de sensores instalados: Esta interfaz permite configurar que sensores se encuentran vinculados con el sistema asociando el tipo de sensor y su dirección lógica así como también permite especificar la ubicación física del mismo en el campo de cultivos mediante su latitud y longitud. (Figura 4.17. Interfaz de sensores instalados.).

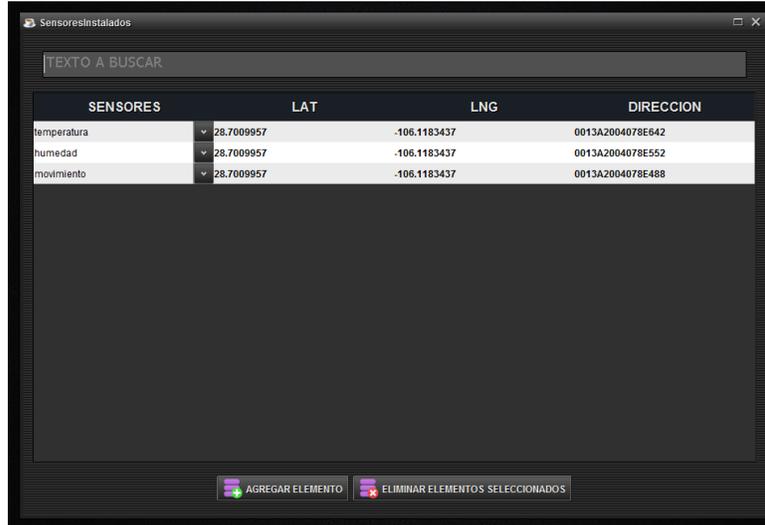


Figura 4.17. Interfaz de sensores instalados.

Interfaz de tipos de sensores: Permite agregar nuevas definiciones de tipos de sensores al sistema que serán utilizables. (Figura 4.18. Interfaz de tipos de sensores.).

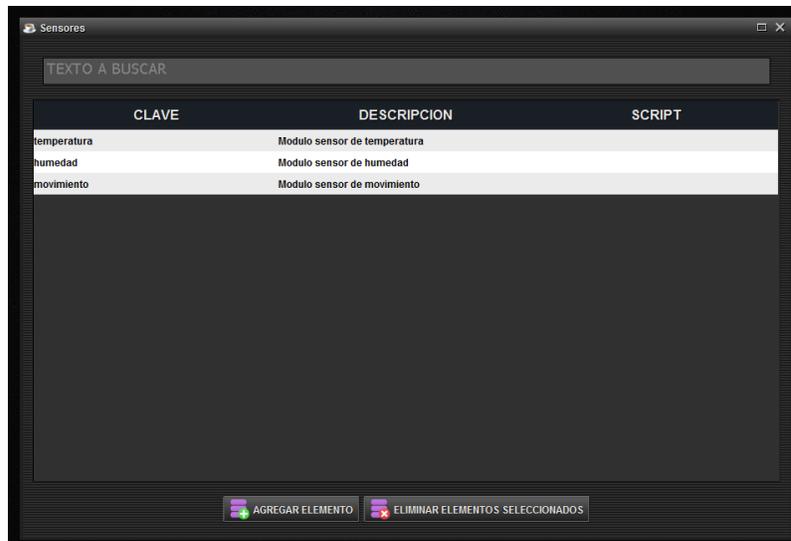


Figura 4.18. Interfaz de tipos de sensores.

## CAPITULO IV. DESARROLLO

Interfaz de relación cultivos-sensores: Esta permite al usuario indicar al sistema que cultivo esta inspeccionando el sensor y dentro de que campo se encuentra. (Figura 4.19. Interfaz de asignación de sensores a huertos.).

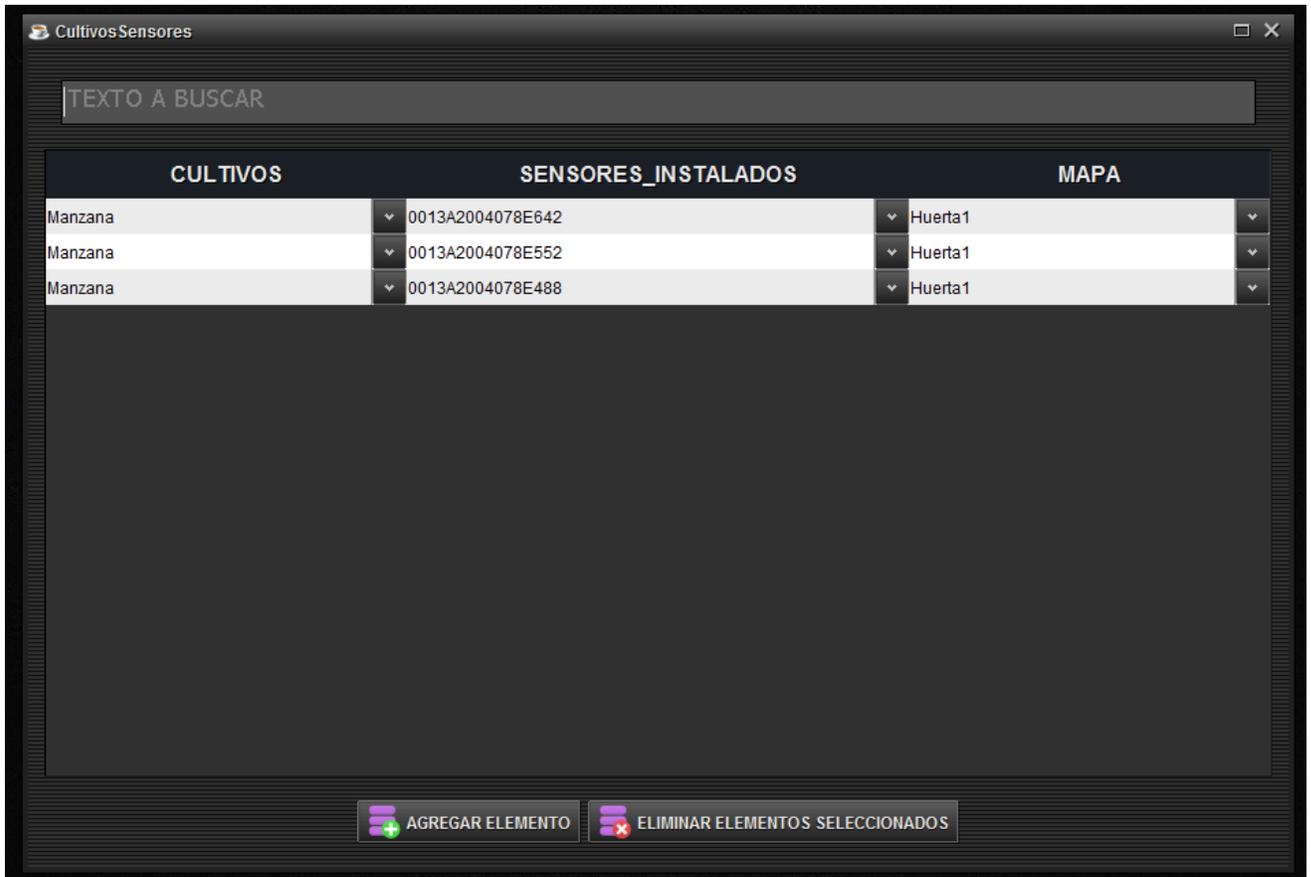


Figura 4.19. Interfaz de asignación de sensores a huertos.

## CAPITULO IV. DESARROLLO

Interfaz de permisos del sistema: Permite al usuario crear definiciones de permisos para posteriormente asignarlos. (Figura 4.20. Interfaz de permisos del sistema.).

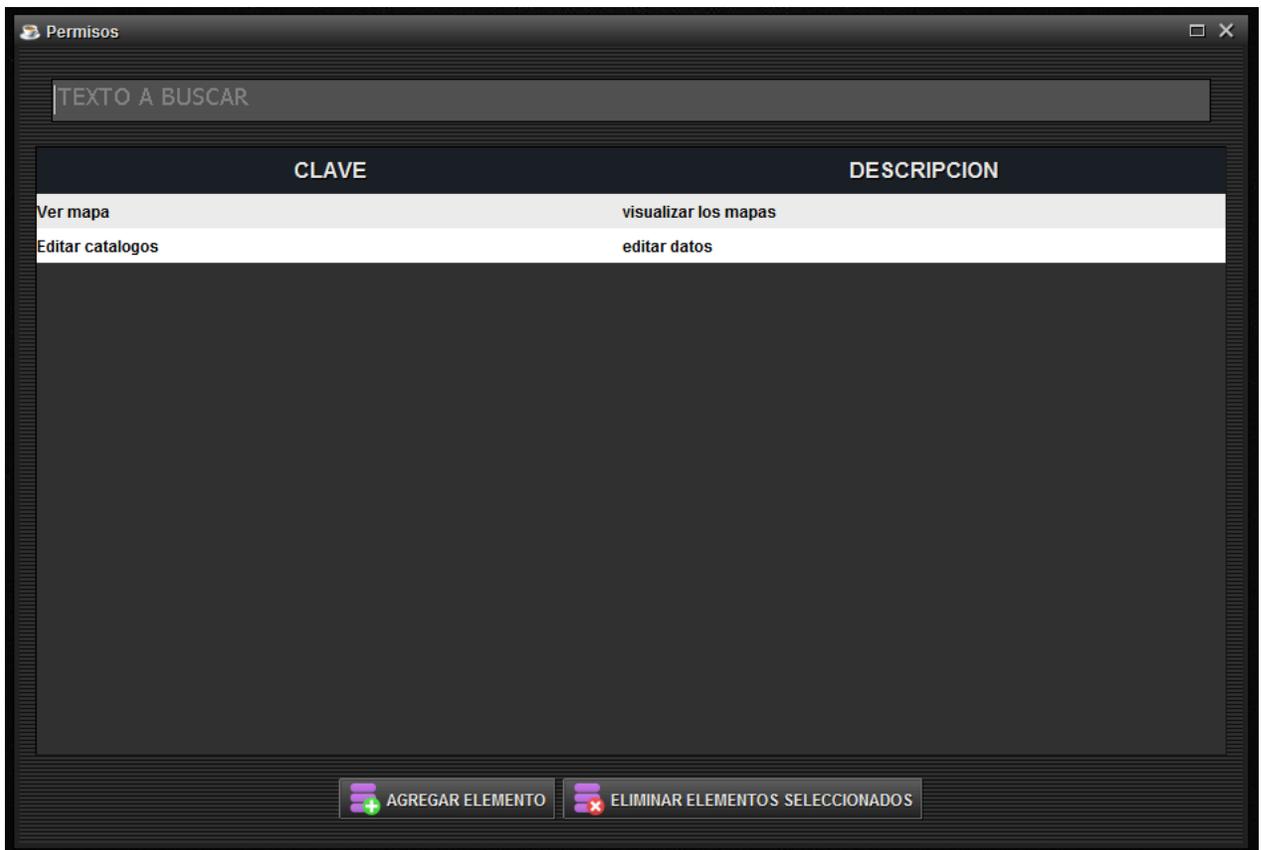
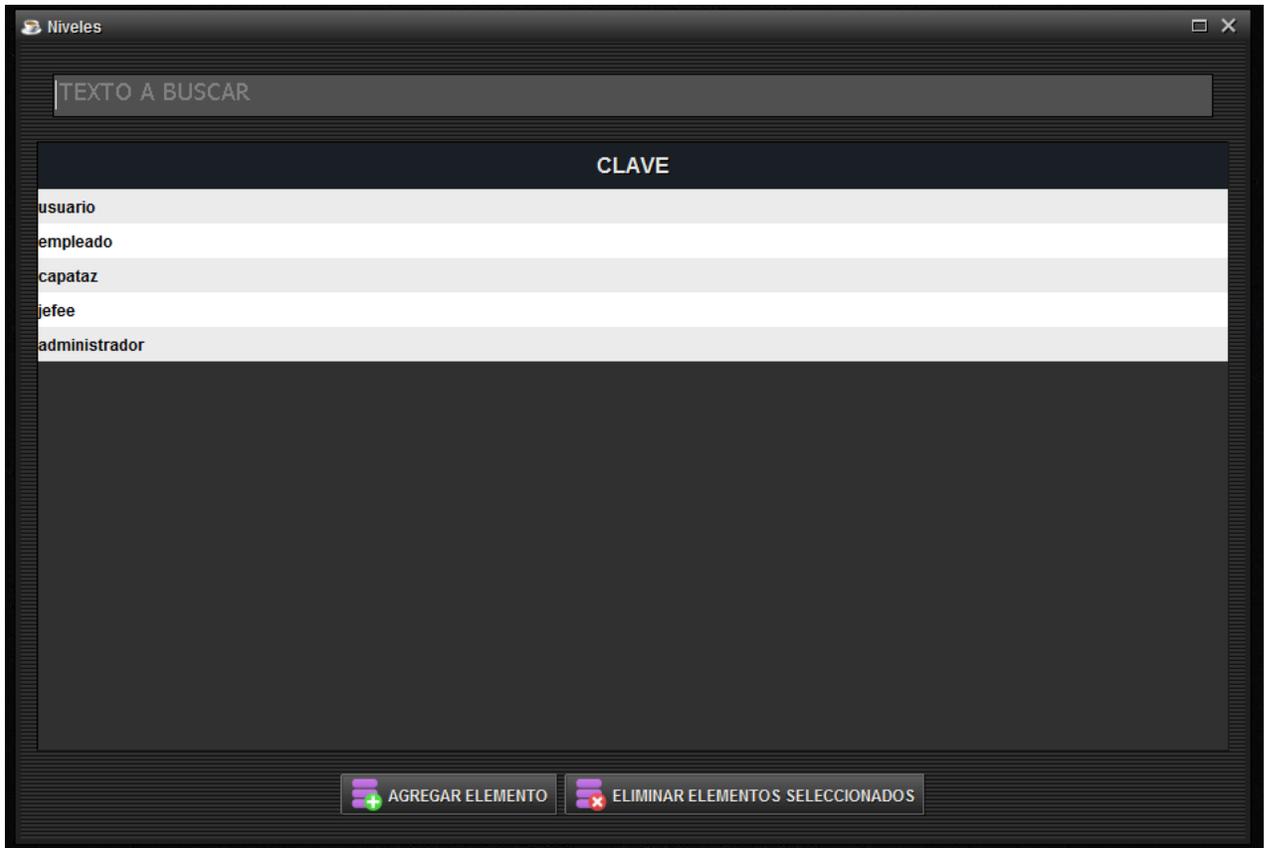


Figura 4.20. Interfaz de permisos del sistema.

## CAPITULO IV. DESARROLLO

Interfaz de niveles: Esta interfaz permite al usuario crear nivel o roles que pueden ser asignados a grupos de usuarios, estos contienen una serie de permisos predefinidos. (Figura 4.21. Interfaz de niveles de usuario.).



**Figura 4.21. Interfaz de niveles de usuario.**

## CAPITULO IV. DESARROLLO

Interfaz de mensajes: Esta es un chat entre los diferentes usuarios del sistema. (Figura 4.22. Interfaz de chat entre usuarios.).

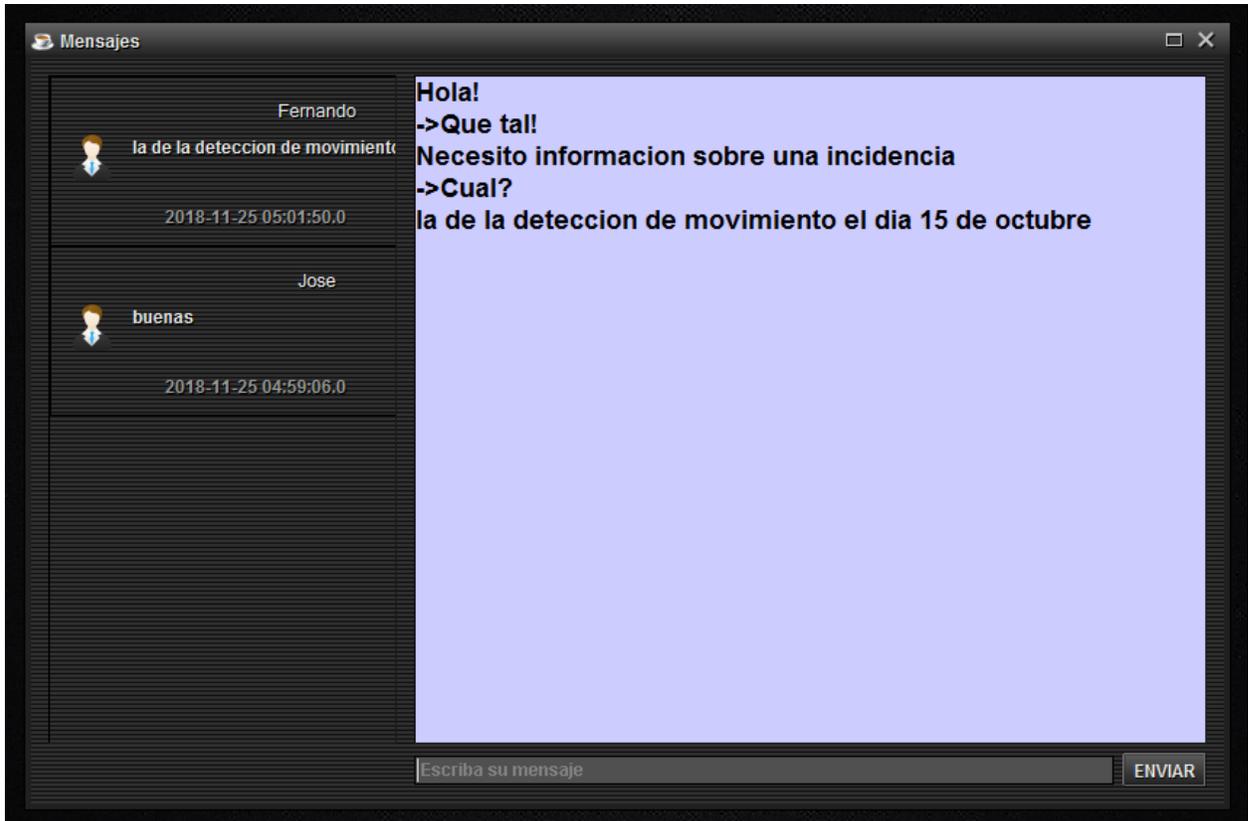


Figura 4.22. Interfaz de chat entre usuarios.

## CAPITULO IV. DESARROLLO

Interfaz mapas: Permite al usuario especificar las huertas existentes mediante latitud y longitud (Figura 4.23. Interfaz de configuración de huertas.) y además permite visualizarlas utilizando Google Maps. (Figura 4.24. Interfaz de visualización de ubicación de huertas.).

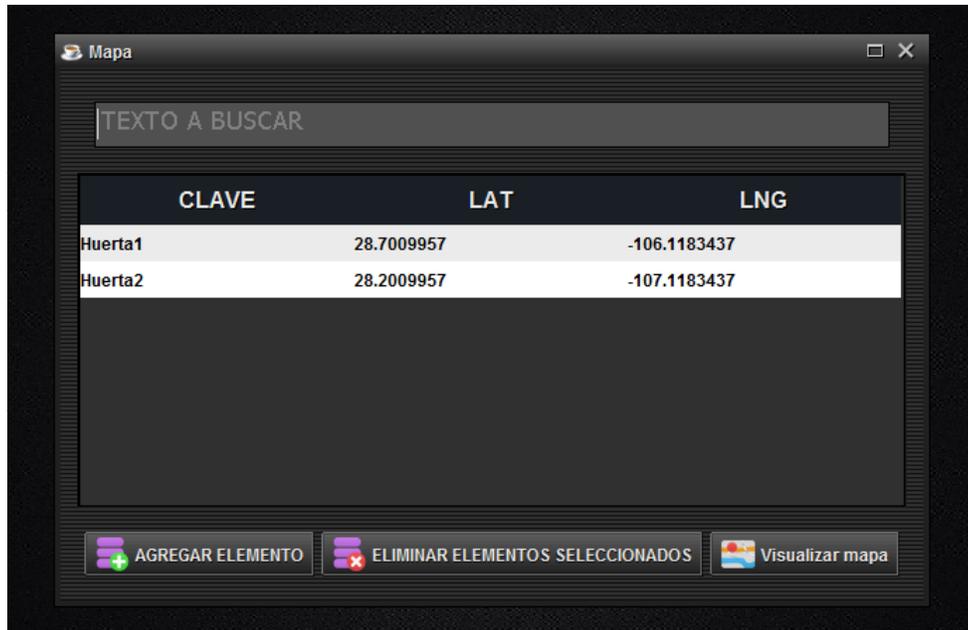


Figura 4.23. Interfaz de configuración de huertas.

## CAPITULO IV. DESARROLLO

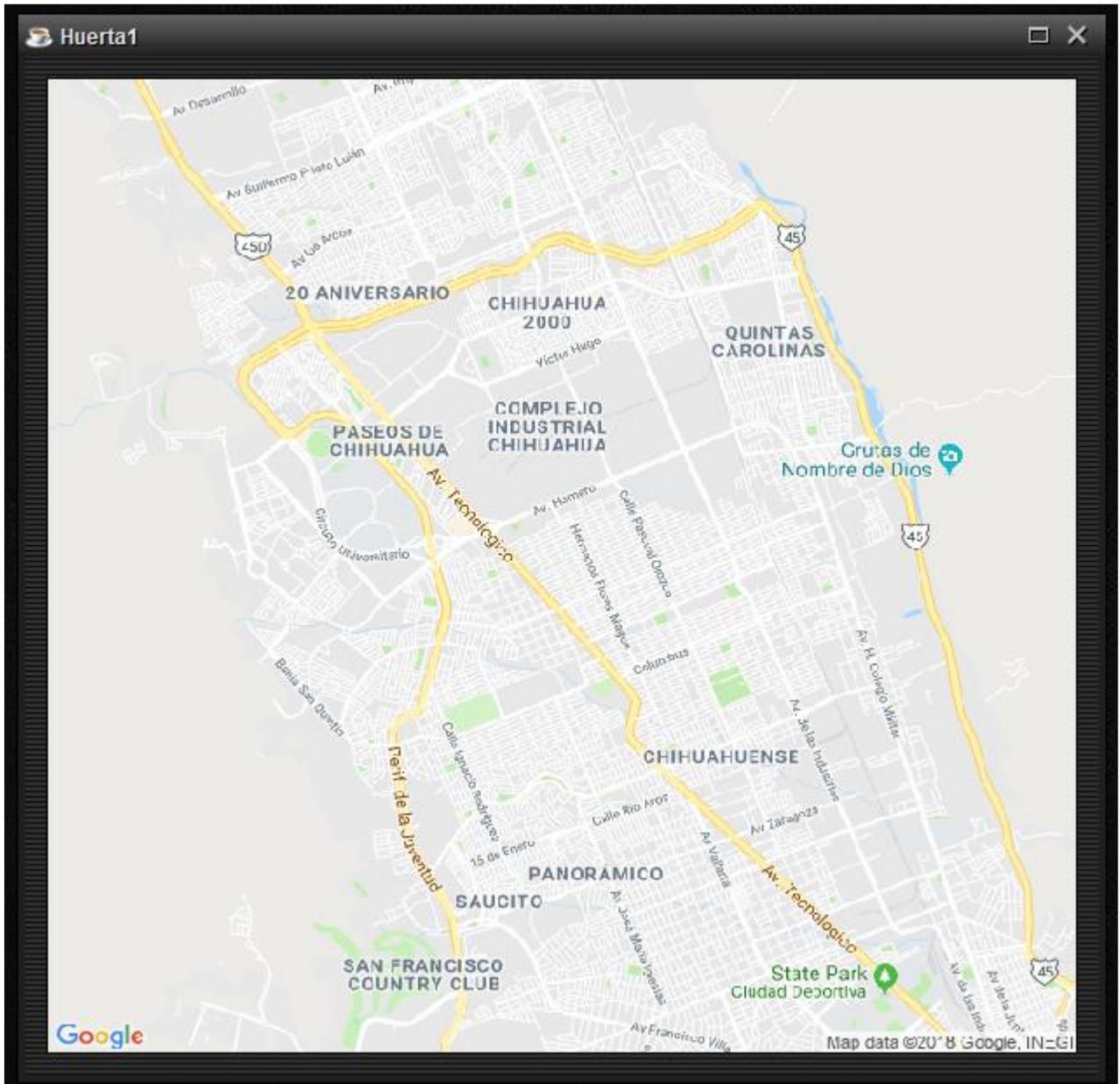


Figura 4.24. Interfaz de visualización de ubicación de huertas.

## CAPITULO IV. DESARROLLO

Login del sistema: Esta interfaz es donde los usuarios se autentifican mediante el uso de un nombre de usuario y una contraseña. (Figura 4.25. Interfaz de login del sistema.).

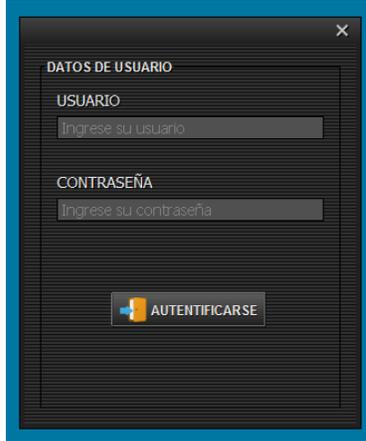


Figura 4.25. Interfaz de login del sistema.

Interfaz de incidencias: Permite registrar de forma manual los eventos que acontecen en los cultivos. (Figura 4.26. Interfaz de incidencias.).

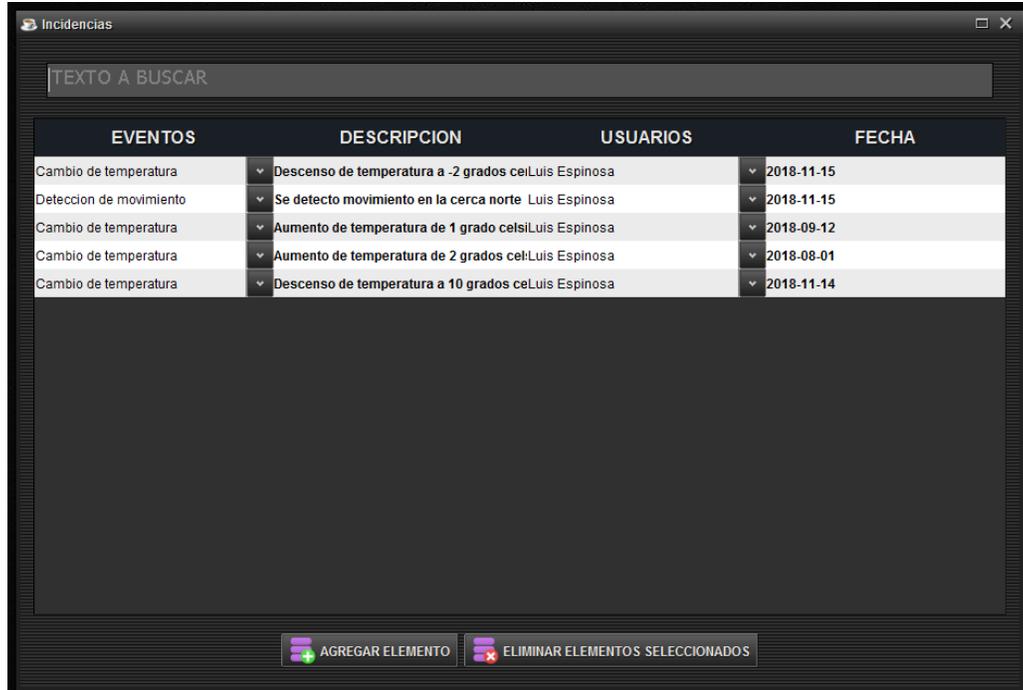


Figura 4.26. Interfaz de incidencias.

## CAPITULO IV. DESARROLLO

Interfaz de permisos de usuario: Permite asignar permisos a las cuentas de usuario. (Figura 4.27. Interfaz de asignación de permisos a usuarios.).

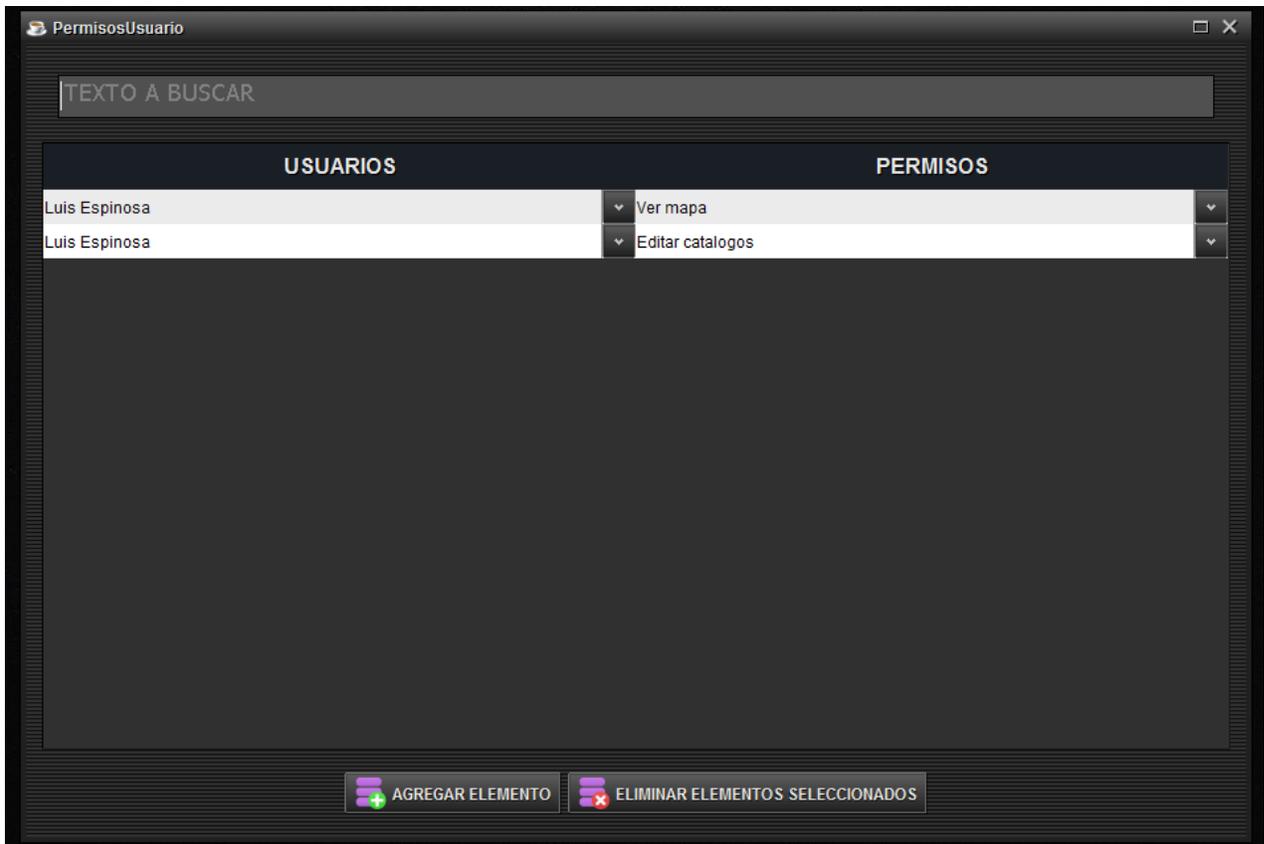
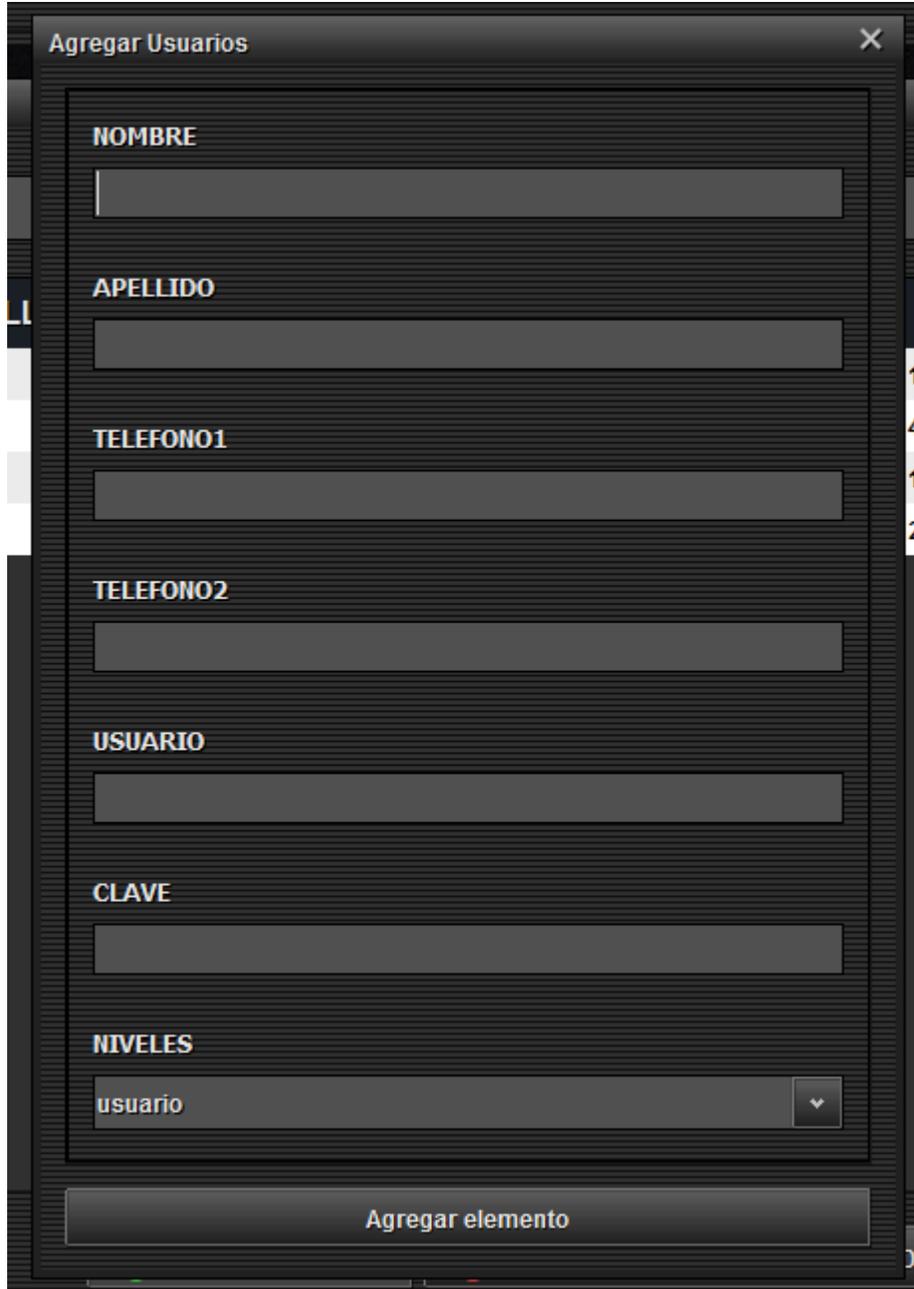


Figura 4.27. Interfaz de asignación de permisos a usuarios.

## CAPITULO IV. DESARROLLO

Interfaz de registro de usuarios: Esta interfaz solo es accesible por un usuario administrador y permite registrar cuentas para usuarios nuevos. (Figura 4.28. Interfaz de registro de usuario.).



The image shows a dark-themed window titled "Agregar Usuarios" with a close button (X) in the top right corner. The window contains several input fields and a dropdown menu, all with a dark gray background and light gray text. The fields are labeled as follows:

- NOMBRE**: A text input field.
- APELLIDO**: A text input field.
- TELEFONO1**: A text input field.
- TELEFONO2**: A text input field.
- USUARIO**: A text input field.
- CLAVE**: A text input field.
- NIVELES**: A dropdown menu with "usuario" selected and a downward arrow icon.

At the bottom of the window is a large button labeled "Agregar elemento".

Figura 4.28. Interfaz de registro de usuario.

## CAPITULO IV. DESARROLLO

Interfaz de listado de usuarios registrados: Esta interfaz le permite al administrador ver, modificar y borrar usuarios registrados en el sistema. (Figura 4.29. Interfaz de lista de usuarios.).

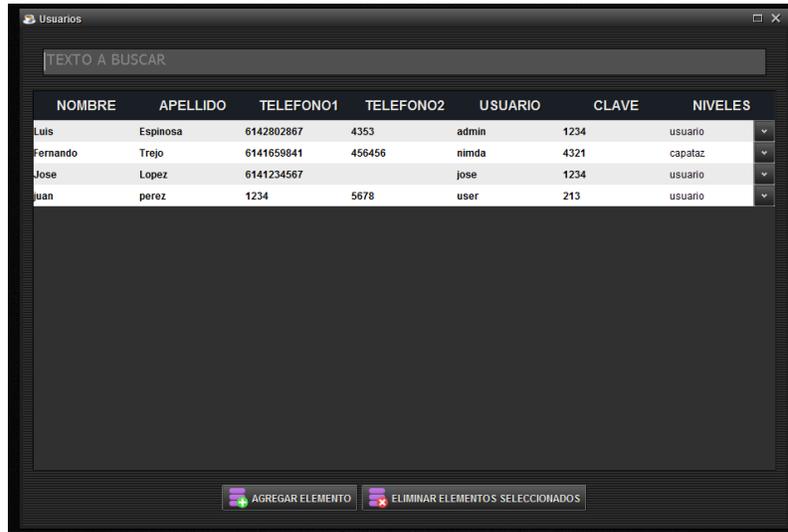


Figura 4.29. Interfaz de lista de usuarios.

Interfaz de cultivos: En esta pantalla se pueden agregar nuevas definiciones de cultivos posibles para el sistema. (Figura 4.30. Interfaz de tipos de cultivos.).

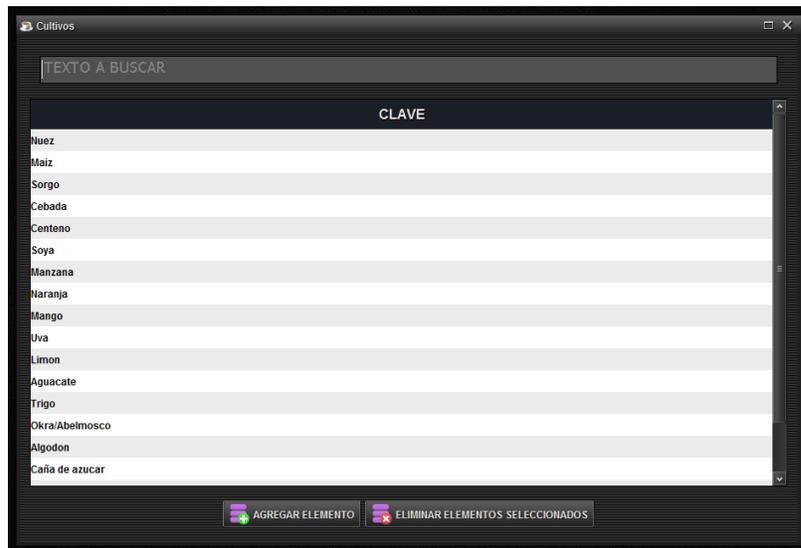


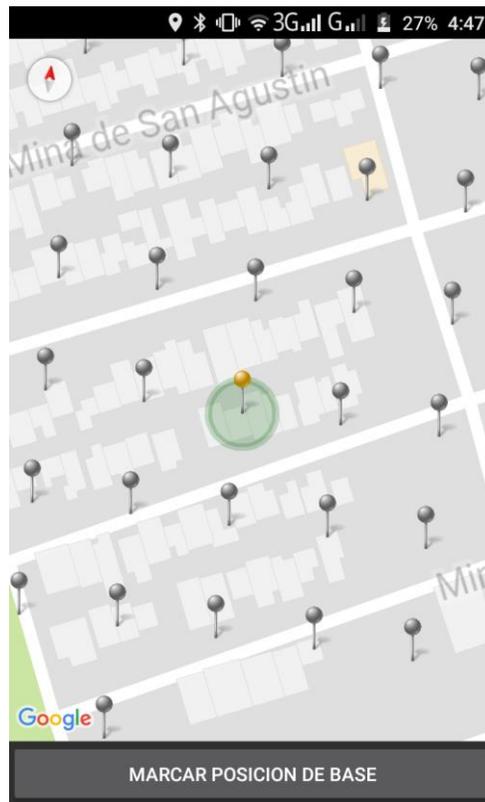
Figura 4.30. Interfaz de tipos de cultivos.

**Pruebas.**

Se desarrolló una aplicación para Android para medir el desempeño de los dispositivos XBEE que permite crear mapas donde se aprecia el alcance de estos dispositivos.

**4.1.7. Aplicación desarrollada para prueba de desempeño.**

La aplicación consiste en una serie de nodos configurables a la redonda de una base xbee, el usuario debe visitarlos uno a uno llevando consigo un nodo-sensor para que la aplicación evalúe la calidad de la señal en esa ubicación. (Figura 4.31. Interfaz de nodos a visitar.).



**Figura 4.31. Interfaz de nodos a visitar.**

Una vez realizado el recorrido, la aplicación genera dos mapas HTML con la información recopilada del desempeño en cada uno de los nodos, el primero es un mapa de paquetes perdidos (Figura 4.33. Mapa de paquetes perdidos.), que permite visualizar el alcance máximo al que puede posicionarse un nodo de otro en condiciones reales.

## CAPITULO IV. DESARROLLO

Se diseñó además un dispositivo que el usuario debe llevar consigo para realizar las pruebas de desempeño, este consiste en un microcontrolador, un sensor y un módulo Bluetooth para comunicarse con la aplicación móvil. (Figura 4.32. Esquema de un dispositivo para la prueba de desempeño.).

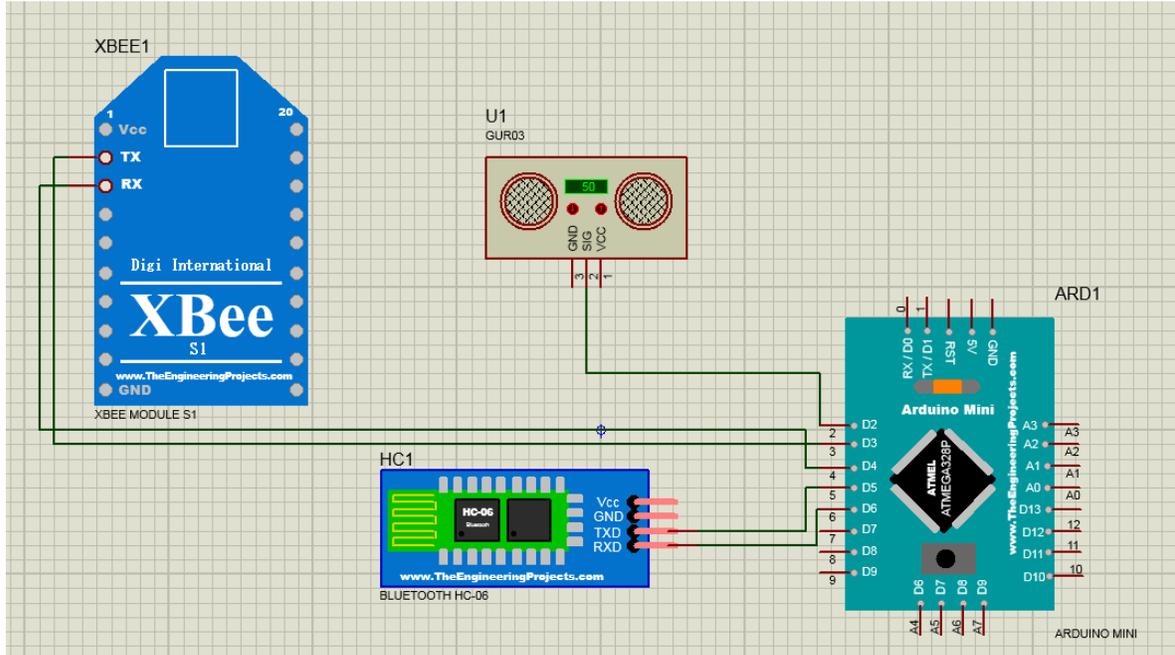


Figura 4.32. Esquema de un dispositivo para la prueba de desempeño.

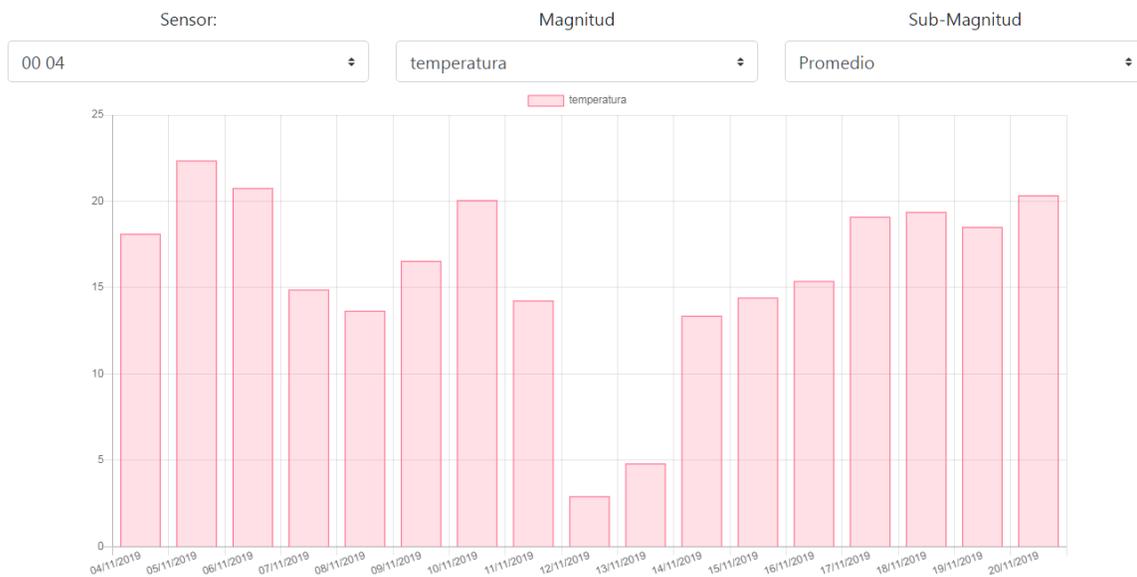




**V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

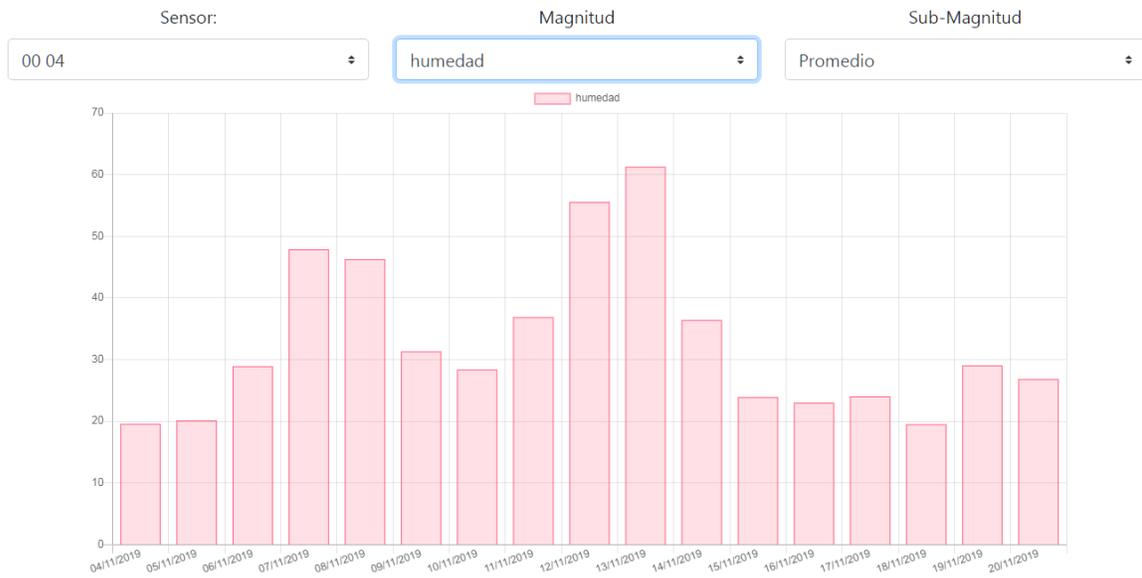
El sistema fue instalado en el edificio de posgrado del ITCH2, posicionando 2 nodos en el mismo, uno en el techo dentro un plafón y otro en la azotea.

Se realizó una prueba del funcionamiento del sistema del 4 al 20 de noviembre de 2019 y se obtuvieron los siguientes datos que al ser visualizados en el sistema aparecen como se observa en las Figura 5.1, Figura 5.2 y Figura 5.3, en las cuales se presentan los registros de valores medidos de las variables de luz, humedad y temperatura.

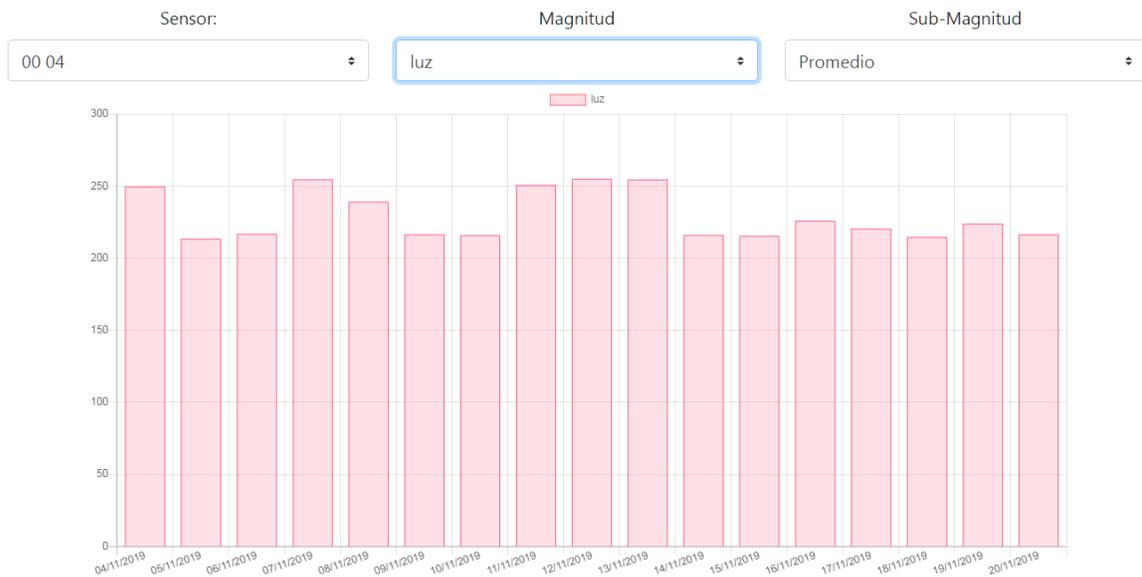


**Figura 5.1. Temperatura promedio.**

## CAPITULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.



**Figura 5.2. Humedad promedio.**



**Figura 5.3. Luz promedio.**

Se realizó la prueba de desempeño de la red de sensores obteniendo los resultados esperados según se había descrito previamente.

## CAPITULO VI. CONCLUSIONES.

### VI. CONCLUSIONES.

Con los resultados obtenidos de las pruebas, se puede concluir que el sistema es funcional y responde adecuadamente a los cambios de variables, se detectaron posibles mejoras debido a que es un prototipo las cuales el siguiente encargado del sistema deberá implementarlas, como puede ser el incluir un sistema de control de actuadores para controlar dispositivos remotos, que el sistema sea compatible con dispositivos móviles mediante una aplicación, etc.

Se realizó la prueba de desempeño a la red mediante la aplicación desarrollada para este fin, la cual obtuvo los mismos resultados antes mencionados.

El siguiente paso es implementarlo en un huerto, donde durante el proceso habrá que solucionar la cuestión energética o en otras palabras, resolver la manera en que se alimentarán los nodos en caso de que en el huerto no existan tomas de energía eléctrica, además de que será necesario proveer de un mecanismo aislante para los componentes electrónicos para protegerlos de los elementos de la naturaleza.

Con los resultados obtenidos se puede concluir que el sistema es capaz de trabajar de forma ininterrumpida por periodos largos de tiempo sin presentar fallas y cumple con su propósito de monitorear de forma remota un lugar designado.

El desarrollo de esta tesis deja al autor como aprendizaje el manejo de redes móviles de sensores, así como algunos conocimientos sobre cultivos (tiempos, tipos, temporadas) y se logró satisfactoriamente comprender la unión de hardware y software en un mismo sistema, tarea nada sencilla debido a que se debe considerar las prestaciones del hardware a la hora de realizar el software.

Además, se tuvo un crecimiento profesional ya que el campo de los sistemas embebidos es bastante prometedor y tiene una gran demanda laboral.

## CAPITULO VII. BIBLIOGRAFÍA.

### VII. BIBLIOGRAFÍA.

- Antachoque Espinoza, E. A. (2011). *Diseño de una red inalámbrica para monitorear un cultivo de platanos en el distrito de Mala, Peru*. Lima, Peru: Pontificia Universidad Católica del Peru.
- Aparicio Urbano-Molano, F. (2013). Redes de Sensores Inalámbricos Aplicadas a Optimización en Agricultura de Precisión para Cultivos de Café en Colombia. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 46-52.
- BeagleBoard.org Foundation. (2017). *BeagleBoard*. Recuperado el 10 de Octubre de 2017, de <http://beagleboard.org>
- Cázar-Ayala, G., López-Macías, C., López-Ruelas, A., García, J. M., Montoya-Enríquez, A., Castillo-Meza, H., y otros. (2011). Diseño de un prototipo didáctico para la implementación de redes de sensores inalámbricos basados en el protocolo ZigBee. *Ra Ximhai*, 315-324.
- Digi International Inc. (1996). *Digi*. Recuperado el 12 de Octubre de 2017, de <https://www.digi.com>
- Ditmyer, M. M., Dye, J., Guirguis, N., Jamison, K., Moody, M., Mobley, C. C., y otros. (2012). Electronic vs. traditional textbook use. *dental students perceptions and study habits. J Dent Educ*, 728-38.
- Faludi, R. (2010). *Building Wireless Sensor Networks: with ZigBee, XBee, Arduino, and Processing*. O'Reilly.
- INFOTEC. (2013). Ciclo de procesos de desarrollo de sistemas embebidos.
- Microchip Technology Inc. (1998). *Microchip*. Recuperado el 4 de Octubre de 2017, de <https://www.microchip.com>

## CAPITULO VII. BIBLIOGRAFÍA.

Raspberry pi foundation. (2017). *Raspberry pi*. Recuperado el 15 de Octubre de 2017, de <https://www.raspberrypi.org>

# Dictamen

Chihuahua, Chih., 27 de enero 2021

**M.C. MARÍA ELENEA MARTÍNEZ CASTELLANOS  
COORDINADORA DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
PRESENTE**

Por medio de este conducto el comité tutorial revisor de la tesis para obtención de grado de Maestro en Sistemas Computacionales, que lleva por nombre "IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS INTELIGENTES PARA SU APLICACIÓN EN MONITOREO Y CONTROL DE VARIABLES", que presenta el C. LUIS FERNANDO ESPINOSA TREJO, hace de su conocimiento que después de ser revisado ha dictaminado la APROBACIÓN de la misma.

Sin otro particular de momento, queda de Usted.

Atentamente  
La Comisión de Revisión de Tesis.



M.C. ARTURO LEGARDA SÁENZ  
Directora de tesis



M.C. RAFAEL SANDOVAL RODRÍGUEZ  
Co-Director



M.I.S.C. JESUS ARTURO ALVARADO GRANADINO  
Revisor



DR. GREGORIO RONQUILLO MAYNEZ  
Revisor