

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIONES**



**RED INALÁMBRICA DE SENSORES A TRAVÉS DE  
6LOWPAN PARA UNA AGRICULTURA DE PRECISIÓN  
APLICADO EN LA HACIENDA CANANVALLE DE LA  
CIUDAD DE IBARRA**

**MAYA OLALLA EDGAR ALBERTO**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
MAGÍSTER EN REDES DE COMUNICACIONES**

**Quito, mayo 2014**

## RESUMEN

La red inalámbrica de sensores a través de 6LoWPAN para una agricultura de precisión, es aplicada en la Hacienda Cananvalle de la ciudad de Ibarra, cuyo objetivo es brindar al sector agrario sistemas de optimización del agua de riego con fines productivos, por la escasez que se presenta en el sector y así poder dotar a los cultivos la cantidad adecuada que necesita para poder sobrevivir y producir. Mejorando el sistema de riego se puede sembrar todo el año incluyendo las épocas de escasez de agua e inclusive regar toda la superficie sembrada.

La red inalámbrica de sensores a través de 6LoWPAN posibilita el uso de IPv6 sobre redes basadas en el estándar IEEE 802.15.4, haciendo posible que los nodos de la red puedan comunicarse directamente con otros dispositivos IP y así facilitar la labor del campo, de esta manera puede controlar y monitorear de forma manual, activando el riego a una determinada hora o dependiendo de los parámetros de las mediciones de los sensores, todo esto con la utilización de cualquier dispositivo ya sea una computadora personal o un dispositivo móvil inteligente.

Para la recolección de las mediciones de la red de sensores inalámbricos se utiliza el estándar 6LoWPAN y se plantea dos arquitecturas: una que es la implementación nodos clientes que recolectan y envían la información y un nodo servidor que recolecta las mediciones por medio del protocolo de transporte UDP; y otra, una implementación de nodos clientes y nodo router-border que permite visualizar el estado actual de los sensores por medio de una página web que se encuentra almacenada en el nodo y utiliza el protocolo transporte TCP.

## **DEDICATORIA**

A Dios por su hermoso regalo de vivir y disfrutar los triunfos junto a mi familia.

A mis Padres Lucy y Edgar, que con entero sacrificio y abnegación, supieron entregar todo de sí, para hacer de mí un ser útil a la Patria y a la sociedad. Y así poder obtener mi anhelado título.

A mis hermanas Mónica y María José, para ellas mi amor y gratitud.

A mi esposa Monny y a mis hijos Agustín y Martín por el sacrificio y amor demostrado.

Al Dr. Gustavo Chafra, Director de Tesis con sus amplios conocimientos técnicos y profesionales.

A mis Revisores por sus amplios conocimientos.

**EDGAR ALBERTO MAYA OLALLA**

# ÍNDICE

RESUMEN.....	i
DEDICATORIA .....	ii
ÍNDICE .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
CAPÍTULO I.....	1
PLAN DE TESIS .....	1
1.1 Tema .....	1
1.2 Justificación .....	1
1.3 Planteamiento del problema.....	4
1.4 Objetivos .....	6
1.5 Marco teórico y conceptual.....	7
1.6 Hipótesis .....	10
1.7 Operacionalización de la investigación.....	11
1.8 Procedimiento - marco metodológico.....	11
CAPÍTULO II .....	13
FUNDAMENTO TEÓRICO .....	13
2.1 Agricultura de precisión. ....	13
2.2 Técnicas de riego por goteo.....	15
2.2.1Componentes de un sistema de riego.....	15
2.2.2Ventajas y desventajas de una sistema de riego .....	17
2.3 Redes inalámbricas de sensores.....	17
2.3.1 Componentes de una red inalámbrica de sensores. ....	18
2.3.2 Topologías de una red inalámbrica de sensores. ....	19

2.3.3	Aplicaciones de las redes de sensores inalámbricos.....	22
2.4	Tipo de sensores aplicados en el sector agrícola .....	23
2.4.1	Sensor de temperatura .....	23
2.4.2	Sensor de humedad relativa.....	23
2.4.3	Sensor de humedad de suelo.....	24
2.4.4	Sensor de luminosidad.....	24
2.4.5	Sensor de lluvia .....	24
2.5	IPv6.....	24
2.5.1	Características.....	25
2.5.2	Paquete IPv6.....	26
2.5.3	Estructura de direcciones IPv6 .....	27
2.5.4	Tipo de direcciones.....	28
2.5.5	Mecanismos de transición de IPv4 e IPv6.....	29
2.6	Estándar 802.15.4 .....	31
2.7	Estándar 6LoWPAN .....	32
CAPÍTULO III.....		36
MATERIALES .....		36
3.1	Hardware.....	36
3.1.1	Parámetros de diseño.....	36
3.1.2	Topología.....	43
3.1.3	Arquitectura del hardware.....	44
3.1.4	Diagrama de bloques .....	49
3.2	Software:.....	51
3.2.1	Especificaciones de los requerimientos del software basado en el estándar ISO/IEC/IEEE 29148-2011.....	51

3.2.2 Arquitectura del software basado en el estándar ISO/IEC/IEEE 42010-2011 .....	58
CAPÍTULO IV .....	73
PROPUESTA: Red inalámbrica de sensores a través de 6LoWPAN para una agricultura de precisión aplicado en la hacienda Cananvalle de la ciudad de Ibarra.	73
4.1 Introducción .....	73
4.2 Implementación del riego por goteo .....	74
4.3 Implementación de la red inalámbrica de sensores basados en 6LoWPAN .....	78
4.3.1 Topología de red física .....	78
4.3.2 Topología lógica .....	85
4.4 Implementación del software del sistema de monitoreo y control del riego por goteo .....	88
5.1 Características de la WSN basada en 6LoWPAN .....	95
5.2 Análisis de resultados .....	96
5.3 Presupuesto referencial .....	102
5.4 Comprobación de la hipótesis .....	105
CAPÍTULO 6 .....	107
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	107
6.1 Conclusiones .....	107
6.2 Recomendaciones .....	109
BIBLIOGRAFÍA .....	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Agricultura de precisión .....	14
Figura 2. Riego por goteo.....	15
Figura 3. Componentes básicos de un sistema de riego por goteo.....	16
Figura 4. Componentes de una WSN.....	19
Figura 5. Topología punto a punto .....	19
Figura 6. Topología en estrella.....	20
Figura 7. Topología en árbol.....	21
Figura 8. Topología en malla .....	22
Figura 9. Campos del paquete IPv6 .....	27
Figura 10. Estructura de dirección IPv6.....	28
Figura 11. Doble pila.....	29
Figura 12. Mecanismo basado en túnel.....	30
Figura 13. Mecanismo de traducción. ....	30
Figura 14. Canales 802.15.4.....	31
Figura 15. Formato de trama MAC 802.15.4.....	32
Figura 16. Comparación de la pila de TCP/IP, OSI y capa de adaptación 6loWPAN .....	33
Figura 17. Cabeceras 6loWPAN.....	34
Figura 18. Parcelas de terreno hacienda.....	36
Figura 19. Módulo CM5000 .....	37
Figura 20. Arduino Uno .....	37
Figura 21. Sensor de humedad relativa y temperatura SHT11 .....	38
Figura 22. Sensor de luminosidad S1087 Series .....	39
Figura 23. Sensor de humedad de suelo LY-69. ....	39
Figura 24. Sensor de lluvia LY-83.....	40
Figura 25. Zona de Fresnel.....	41
Figura 26. Baterías seleccionadas para alimentación.....	42
Figura 27. Topología en malla de la propuesta .....	43

Figura 28. Arquitectura del sistema de monitoreo y control del sistema de riego por goteo a través de UDP-6loWPAN.....	46
Figura 29. Arquitectura del sistema de monitoreo del sistema de riego por goteo a través de HTTP- TCP -6loWPAN.....	48
Figura 30. Diagrama de bloques de nodos clientes sensores internos y servidor .....	49
Figura 31. Diagrama de bloques de nodos clientes sensores externos y servidor.....	50
Figura 33. Estructura de la interfaz de usuario .....	56
Figura 34. Arquitectura del Sistema de Riego Cananvalle-6loWPAN.....	62
Figura 35. Reservorio de agua de riego .....	74
Figura 36. Sistema de bombeo .....	75
Figura 37. Electroválvulas .....	75
Figura 38. Tubería principal.....	76
Figura 39. Cintas de goteo .....	77
Figura 40. Dispositivos de riego por goteo .....	77
Figura 41. Distribución de nodos en el área agrícola.....	79
Figura 42. Propiedades del Mapa - Sector Cananvalle .....	80
Figura 43. Propiedades de la red y sus parámetros .....	81
Figura 44. Topología en malla diseñada en Radio Mobile .....	81
Figura 45. Ubicación de los nodos en Google Earth.....	82
Figura 46. Altura de los nodos .....	83
Figura 47. Área de cobertura de los nodos Servidor y Cliente 1. ....	83
Figura 48. Nodo cliente, sensores externos.....	84
Figura 49. Altura de nodo cliente 1.....	84
Figura 50. Instalación y altura de nodo cliente 3 .....	85
Figura 51. Mensajes de grabación del CM5000.....	86
Figura 52. Recepción en el servidor el estado de los sensores de los clientes.....	87
Figura 53. Autenticación de usuario .....	88
Figura 54. Servidor de control de dispositivos de riego por goteo .....	89
Figura 55. Servidor de Monitoreo WSN-IPv6 .....	89
Figura 56. Servidor de peticiones remotas .....	90
Figura 57. Servidor de Alarmas .....	91
Figura 58. Autenticación de usuario web.....	91

Figura 59. Interfaz de control de actuadores de riego por goteo.....	92
Figura 60. Interfaz de monitoreo de actuadores de riego por goteo.....	92
Figura 61. Interfaz web en nodo cliente.....	94
Figura 62. USB-Dongle UD1000.....	96
Figura 63. Inicialización de parámetros 6LoWPAN.....	97
Figura 64. Inicialización de parámetros de border-router.....	97
Figura 65. Descubrimientos de nodos de la red 6LoWPAN.....	98
Figura 66. Conectividad en el nodo cliente.....	98
Figura 67. Captura de tráfico ICMP por medio de Z-Monitor.....	99
Figura 68. Envío de mensajes UDP al servidor del estado de los sensores.....	99
Figura 69. Recepción de los datos en el servidor.....	100
Figura 70. Captura de tráfico UDP en la comunicación entre nodo cliente y servidor .....	100
Figura 71. Página web con el estado actual de los sensores.....	101
Figura 72. Captura de tráfico TCP en wireshark.....	102

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Direcciones Ipv6 en los nodos cliente y servidor .....	87
Tabla 2. Costo del sistema de riego por goteo .....	102
Tabla 3. Costo de la WSN.....	103
Tabla 4. Costo de equipos .....	103
Tabla 5. Costo de software de desarrollo .....	103
Tabla 6. Costo del desarrollo .....	104
Tabla 7. Costo total del proyecto .....	104

# **CAPÍTULO I**

## **PLAN DE TESIS**

### **1.1. Tema**

En el presente trabajo de investigación se realiza un diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores a través de 6LoWPAN para una agricultura de precisión aplicado en la Hacienda Cananvalle de la ciudad de Ibarra.

### **1.2. Justificación**

#### **Sociales:**

- Las tecnologías de información y comunicación aplicada a una agricultura de precisión garantiza el cumplimiento de los derechos ciudadanos consagrados en la Constitución; en lo referente al acceso justo y equitativo al uso, aprovechamiento y conservación de las fuentes hídricas en el país. (Secretaria Nacional del Agua, 2012)
- El sector agrario genera una gran demanda de sistemas de optimización del agua con fines productivos, destinados a facilitar la disponibilidad de agua para riego a diferentes sectores del país que tienen alta vulnerabilidad a las sequías como uno de los efectos más graves del cambio climático. (Ministerio del Ambiente, 2012)
- Dentro del Plan del Buen Vivir en su planificación 2013-2017, para el cumplimiento de uno de sus objetivos de establecer incentivos para aumentar la eficiencia en el uso de las fuentes hídricas y mejorar la sustentabilidad de

los reservorios de aguas subterráneas y superficiales y así impulsar el acceso seguro y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos, preferentemente producidos a nivel local, en correspondencia con sus diversas identidades y tradiciones culturales, promoviendo la educación para la nutrición y la soberanía alimentaria, y, la política de establecer lineamientos públicos integrales e integrados de conservación, preservación y manejo del agua, con criterios de equidad y racionalidad social y económica. (Senplades, 2013)

**Teóricas:**

- El internet de las cosas presenta la evolución de la Internet con más dispositivos que se conectan a la red con un propósito específico, para poder recopilar, analizar y distribuir datos que se pueden convertir en información y conocimiento. (Dave, 2011)
- IEEE 802.15.4 es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos (low-rate wireless personal área network, LR-WPAN). (802.15.4a-2007, 2007)
- 6LoWPAN es un estándar definido IETF RFC 4919 y 4944 que permite el uso de IPv6 sobre redes inalámbricas de baja potencia, aprovecha el espacio de direcciones IPv6, lo que proporciona conectividad con otras redes IP e interoperabilidad con otros dispositivos, sin el uso de pasarelas complejas como traductores entre protocolos propietarios y el estándar IP; tiene la posibilidad de disponer de varios fabricantes de motes y de diferentes

sistemas operativos open-source, como por ejemplo tinyOS o Contiki; define una pequeña capa de adaptación (llamada LoWPAN adaptation layer) para optimizar IPv6 sobre IEEE 802.15.4. 6LoWPAN tiene la característica de ahorro de energía que se pueden implementar con este protocolo, debido a 802.15.4 que lleva información usando aproximadamente 1% de la potencia que 802.11. (Ravera, 2010)

Las ventajas de 6LoWPAN, al ser un estándar abierto, permiten el intercambio de flujos de información end to end e integración de dispositivos de bajo consumo de manera transparente en internet y permite múltiples opciones de topología. 6LoWPAN con el fin de eliminar los inconvenientes para transportar los paquetes IPv6 por su MTU en 1280 bytes sobre redes inalámbricas de bajo consumo, posee mecanismos para realizar la compresión y fragmentación de cabeceras a 127 bytes y permitir la comunicación IPv6, específicamente en las redes basadas en IEEE 802.15.4. (Gascón, 2010). La aplicación de este protocolo permite la capacidad de interactuar y comunicarse con una red de objetos, permitiendo la interoperabilidad de las redes LowPan e Internet y así optimizar el uso de los estándares de Internet sobre redes inalámbricas de baja potencia. (Barros, 2012)

- Las redes inalámbricas de sensores (WSN), permite la comunicación en forma flexible en tiempo, espacio y autónoma, capaces de obtener información del entorno y enviarla de forma inalámbrica a una central,

ofreciendo la posibilidad de monitorear y controlar un sistema de riego por goteo. (Hernández, 2010)

- La tecnología Web y Móvil permite controlar y monitorear los dispositivos de riego por goteo, desde donde esté y cuando lo desee, la principal característica es que son multiplataforma.

#### **Personales:**

- Se desea aportar, con el tema de la tesis planteada, la innovación de sistemas tecnológicos de optimación de agua de riego para solucionar el problema de la escasez que es evidente en diferentes sectores del país y en el especial al sector de Cananvalle de la ciudad de Ibarra, evitando pérdidas económicas e incrementando la disponibilidad de alimentos a precios más bajos, por la mayor eficiencia en las labores involucradas en su producción. Además por realizar la continuación de la tesis de pregrado que se refería al Control y Monitorización de un sistema de riego por aspersores para un cultivo de hortalizas de la parcela de terreno de la Hacienda Cananvalle mediante el uso de la tecnología Wap y Web. Hoy se desea aportar con la aplicación de una red inalámbrica de sensores a través del estándar 6loWPAN para una agricultura de precisión.

### **1.3. Planteamiento del problema.**

En los últimos años las tecnologías de redes inalámbricas y entre ellas 6loWPAN que ha presentado un acelerado desarrollo permitiendo la incorporación del protocolo IPv6 en la implementación de redes de sensores

inalámbricos (WSN) debido a su bajo consumo de potencia y hace posible que dispositivos como los nodos de una red inalámbrica pueden comunicarse directamente con otros dispositivos IP; es por ello, que este tipo de redes se las puede aplicar en el monitoreo y control de campos de cultivo.

El agua es un recurso natural escaso, y que requiere ser aprovechado de manera razonable y eficiente tomando en cuenta que es un bien social que tiene gran demanda en el sector agropecuario. La escasez de agua de riego en el sector de Cananvalle de la ciudad de Ibarra y las bajas eficiencias de riego constituyen algunas de las características que impiden un mayor y mejor aprovechamiento de las tierras de cultivo. El sector agrario genera necesidades y demandas de sistemas de optimización del agua con fines productivos, para ello se determinan importantes exigencias del uso y manejo. Los cultivos necesitan agua en cantidades adecuadas para poder sobrevivir y producir, para ello el productor debe controlar el suministro y el flujo del agua en la tierra.

Por lo anteriormente expuesto se formula el problema:

Existe una falta de sistemas de optimización del agua de riego que permitan sembrar todo el año incluyendo las épocas de escasez de agua, ya que los cultivos requieren agua en cantidades adecuadas para su crecimiento y producción, promoviendo la soberanía alimentaria.

## **1.4. Objetivos**

### **a) Objetivo general**

Implementar una red de sensores inalámbricos a través de 6LoWPAN para una agricultura de precisión, que permita optimizar el aprovechamiento del agua de riego en el sector de Cananvalle de la ciudad de Ibarra.

### **b) Objetivos específicos**

- Realizar un estudio de las redes WSN, sus características, protocolos, topologías, estándares IEEE 802.15.4 y 6LoWPAN, aplicaciones en la agricultura, características del riego por goteo, para obtener las mejores prestaciones del sistema.
- Diseñar una WSN usando el estándar 6LoWPAN para monitorear la humedad de suelo, humedad relativa y temperatura.
- Diseñar un sistema que permita la recolección de los datos de los sensores y controlar los dispositivos de riego a través de un sitio web y de dispositivos móviles.
- Implementar y verificar el adecuado funcionamiento de la red WSN para el control y monitoreo del sistema de riego por goteo, efectuando las pruebas necesarias.
- Realizar un presupuesto referencial del proyecto que servirá como base para la implementación de una red WSN para el control y monitoreo del sistema de riego por goteo.

## **1.5. Marco teórico y conceptual.**

### **a) Antecedentes o marco referencial.**

La investigación que se formula es un sistema que permita monitorear y controlar las condiciones de terreno de acuerdo a las variables ambientales, abriendo la posibilidad de realizar cultivos durante época de verano y de escasez de agua. En la actualidad estos cambios climáticos se presentan en nuestro país y especialmente en la ciudad de Ibarra. Además el sistema propuesto evitará pérdidas económicas al sector agrario e incrementará la disponibilidad de alimentos y a precios más bajos, por la mayor eficiencia en las labores involucradas en su producción.

Las redes inalámbricas de sensores basadas en 6LoWPAN, son capaces de manejar gran cantidad de variables que facilitan el desarrollo de varios campos en nuestro medio, entre ellas está la agricultura de precisión, permitiendo el manejo de los cultivos de forma más eficiente y la obtención de mayores rendimientos en producción y economía, así como minimizar el impacto ambiental y promoviendo la soberanía alimentaria en la zona norte del Ecuador (Ecuador, 2008).

### **b) Marco teórico**

La agricultura de precisión permite el uso de las tecnologías de información y comunicación para recolectar informes, es de manera precisa sobre la producción de los cultivos. Siendo éste una parte de una agricultura sostenible que mejora la calidad del medio ambiente y de los recursos naturales,

satisfaciendo las necesidades básicas de alimentación humana; es económicamente viable y mejora la calidad de vida de los productores y de la sociedad en general. (Carlos Lago González; Juan Carlos Sepúlveda Peña; Rogelio Barroso Abreu; Félix Óscar Fernández Peña; Francisco Maciá Pérez; Javier Lorenzo, 2011)

Las redes inalámbricas de sensores en la Agricultura, basada en la tecnología inalámbrica IEEE 802.15.4, permitirá realizar la medición, transmisión y registros de los datos de las variables agrícolas: temperatura, humedad relativa, humedad del suelo, luminosidad, permitiéndole el manejo de los cultivos de forma más eficiente y la obtención de mayores rendimientos en producción y economía, así como minimizar el impacto ambiental.

Una red 6LoWPAN está hecha a partir de redes inalámbricas de baja potencia (LoWPANs), y que utiliza un conjunto de nodos que comparten el prefijo de la dirección IPv6 (los primeros 64 bits de la dirección IPv6). 6LoWPAN solo es compatible con IPv6, de tal forma que ha sido definida una pequeña capa de adaptación (llamada LoWPAN adaptation layer) para optimizar IPv6 sobre IEEE 802.15.4. El protocolo de transmisión comúnmente utilizado es user datagram protocol (UDP), que suele comprimirse usando el formato LoWPAN. Por el contrario el transmission control protocol (TCP) no suele usarse debido a razones de complejidad, eficiencia y rendimiento. (Comillas, 2012).

### **c) Marco conceptual**

#### **Redes inalámbricas de sensores.**

Una red de sensores inalámbricos es un sistema formado por nodos que incorporan su capacidad de comunicación utilizando ondas de radio, para enviar los valores medidos a una central, para procesarla y convertirla en información útil. (Chile, 2012)

#### **IEEE 802.15.4.**

El IEEE 802.15.4 es el estándar propuesto para la capa física y MAC en redes de área personal inalámbrica de baja tasa (LR-WPANs). Este estándar se centra en despliegues de bajo costo, complejidad y consumo energético. Además, está diseñado para aplicaciones en WSNs que requieren de comunicaciones de corto rango para maximizar la duración de las baterías. (802.15.4a-2007, 2007)

#### **6LoWPAN.**

IPv6-based Low Power Wireless Personal Area Networks permite la comunicación de paquetes IPv6 sobre una red basada en el estándar IEEE 802.15.4. Los dispositivos de bajo consumo se pueden comunicar directamente con dispositivos IP, utilizando el protocolo IP. Usando 6LoWPAN, los dispositivos de bajo coste tienen todas las ventajas de comunicación y gestión IP. (Zach Shelby, 2009)

Según (Barros, 2012) éste protocolo permite resolver los siguientes desafíos presentados en el uso de IPv6:

- Las versiones del protocolo IP (IPv4/IPv6) asumen que los dispositivos siempre están conectados a la red, a pesar de que no estén transmitiendo. En 6LoWPAN, los dispositivos sólo se conectan a la red cuando deben transmitir información, lo que permite un uso eficiente de la energía necesaria para dicha operación.
- IPv6 requiere de multicast. 6LoWPAN incorpora el uso de este método de transmisión en comunicaciones inalámbricas de baja potencia, lo que anteriormente no era soportado por las tecnologías de comunicación de radio existentes.
- La topología de malla es más eficiente en el uso de la energía.
- 6LoWPAN permite utilizar de manera más fácil este tipo de topología de red con IPv6.
- 6LoWPAN comprime el tamaño de las cabeceras a 7 bytes, disminuyendo el tamaño del frame necesario para transmitir sobre redes de baja potencia, evitando la fragmentación de paquetes mayores a 250 bytes.
- 6LoWPAN optimiza el uso de los estándares de Internet sobre redes inalámbricas de baja potencia.

## **1.6. Hipótesis**

Los Agricultores podrán controlar y monitorizar remotamente el manejo del riego basada en la tecnología WSN a través de 6LoWPAN, para reponer de agua al suelo donde realmente necesitan los cultivos en épocas de verano, inviernos irregulares y escasez de agua. Con ello permitirá obtener una diversificación y optimización de la producción agrícola.

## **1.7. Operacionalización de la investigación**

### **a) Variables**

*Independiente:*

- Reponer de agua al suelo donde realmente necesitan los cultivos en épocas de verano, inviernos irregulares y escasez de agua, optimizando de la producción agrícola.

*Dependientes:*

- Red de Sensores Inalámbricos aplicados a la agricultura de precisión.
- Control y monitoreo de las variables del sistema.
- Costos bajos en la implementación.

### **b) Indicadores**

*Extensión de terreno:*

- Utilización de la red inalámbrica de sensores a través de 6LoWPAN
- Facilidad de implementación

*Capital invertido:*

- Costos bajos en la implementación

## **1.8. Procedimiento - marco metodológico.**

### **a) Metodología**

El proyecto de tesis se aplicará el método deductivo, el cual permite buscar la solución al problema que se plantea. El análisis de la información permitirá realizar el diseño e implementación de la propuesta sustentada.

**b) Técnicas**

Los dos tipos de recolección de información secundarios serán la revisión bibliográfica y las búsquedas electrónicas. Las búsquedas bibliográficas permitirán ofrecer los antecedentes, aclarar las ideas, definir las preguntas de investigación, precisar conceptos, y, las búsquedas electrónicas en fuentes como expertos de la industria, autores independientes de artículos de revistas y periódicos en las que contengan información actualizada que serán aplicadas al estudio. (Joseph F. Hair, Robert P. Bush y David J. Ortinau, 2010)

**c) Universo y/o muestra.**

Para la investigación se aplica el muestreo no probabilístico de tipo discrecional para el desarrollo de la propuesta; permitiendo al investigador a juicio personal y de disponibilidad elegir el área o extensión de terreno a ser implementado. (Francis José Mas Ruiz, 2012).

Para lo cual se toma una muestra dos parcelas de terreno de la hacienda Cananvalle con un área de 160m<sup>2</sup> cada una, para realizar las pruebas e implementación de la propuesta.

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTO TEÓRICO**

#### **2.1 Agricultura de precisión.**

La tecnología de agricultura de precisión incluye el uso de computadoras, sensores y otras tecnologías de información para automatizar el viejo concepto del manejo sitio específico de cultivos. (Ecuared, 2013).

La agricultura de precisión aplica la cantidad correcta de insumos, en el momento adecuado y en el lugar exacto, permitiendo el uso de la tecnología de información para adecuar el manejo del suelo y cultivos; logrando satisfacer el manejo óptimo de grandes extensiones de cultivos para el rendimiento de las cosechas en cantidad y calidad, y en la reducción de cantidad de insumos. (agriculturadeprecision.org, 2013).

Una de las herramientas que se utiliza para el manejo de la agricultura de precisión es la utilización de sensores, la cual permite obtener información en tiempo real y con la ayuda de las redes de comunicación transferir los datos a una central, que posteriormente debe ser tratada la información para una toma de decisión en los cultivos, gracias a la ayuda del software que se le proporciona al agricultor para el monitoreo y control de las variables del campo.

Según el sitio web (agriculturadeprecision.org, 2013) se puede describir cuales con sus ventajas y desventajas de la agricultura de precisión:

**Ventajas:**

- Automatizar la gestión de los cultivos en el lugar adecuado y en el momento oportuno usando las TICs.
- Menor impacto medioambiental.
- Productos con mayor valor nutritivo.

**Desventajas:**

- El costo del hardware y software no está disponible para todos los agricultores, porque la inversión inicial es alta, pero sin que se analice cuáles son sus ventajas y recuperación de la inversión.
- Se requiere conocimientos informáticas para la implantación de estos sistemas.
- Poca innovación en el sector, sin conocer cuales con los beneficios que pueden darle la agricultura de precisión.



**Figura 1. Agricultura de precisión**

Fuente: <http://goo.gl/ahNshK>

## **2.2 Técnicas de riego por goteo.**

El riego por goteo aplica un conjunto de técnicas que permiten dar un óptimo nivel de humedad en la zona radicular de la planta, aprovechando de mejor manera el agua de riego. El agua llega a la planta por unas tuberías de conducción y a través de unos goteros proporciona la humedad a la planta, la descarga de los emisores fluctúa en un rango de 2 a 4 litros por hora por goteo (Ruiz, 2000)



**Figura 2. Riego por goteo**

Fuente: <http://goo.gl/sTw644>

### **2.2.1. Componentes de un sistema de riego**

Los elementos que forman parte de un sistema de riego por goteo son los siguientes:

- *Fuente de agua:* puede tener cualquier origen: río, acequias, pozos, estanques y reservorios, este último es el que actualmente se está construyendo e implementando.
- *Unidad de bombeo:* este sistema que incluye una motobomba impulsa el agua desde la fuente hasta las tuberías y posteriormente a los goteros, la potencia de la motobomba depende del área de regar.
- *Cabezal de abastecimiento y regulación:* Éste es un conjunto de accesorios que permiten suministrar agua al sistema con un nivel adecuado de limpieza, caudal y presión, además permite incorporar fertilizantes. (Cadena, 2012)
- *Red de tuberías para la conducción:* material compuesto de PVC que permiten el flujo de agua hacia los goteros.
- *Tubería de emisión o goteros:* cintas de plástico que contiene goteros para proporcionar el agua a la planta.



**Figura 3. Componentes básicos de un sistema de riego por goteo**

Fuente: <http://goo.gl/KgvAXs>

### **2.2.2. Ventajas y desventajas de una sistema de riego**

Según (Gurovich, 2000), el sistema de riego por goteo presenta diferentes ventajas y desventajas que a continuación se enumeran:

#### **Ventajas:**

- Ahorro de agua de riego
- Menos maleza porque el regadío es en una zona específica.
- Pocos problemas de compactación de tierra
- Ideal para exteriores o bajo cubierta plástica
- El sistema de riego no es afectada por el viento, ventaja importante para el sistema de aspersión.

#### **Desventajas:**

- Costo inicial de la inversión demasiado alto
- Sensibilidad a los taponamientos de los goteros
- Requiere un conocimiento previo para el manejo del riego por goteo.

### **2.3 Redes inalámbricas de sensores**

“Una red inalámbrica de sensores está compuesta por una cantidad de pequeños dispositivos, autónomos, distribuidos físicamente, llamados nodos de sensores, instalados alrededor de un fenómeno para ser monitoreado, con la capacidad de almacenar y comunicar datos en una red en forma inalámbrica.” (Vásconez, 2013).

Según (Antonio Ruiz, José Molina, 2010) una WSN se lo define como un sistema distribuido de sensado, constituido por dispositivos de bajo consumo de energía con la capacidad de adquirir datos de sensores y enviar de forma inalámbrica a una estación base para el tratamiento de información.

### **2.3.1 Componentes de una red inalámbrica de sensores.**

(Vásconez, 2013) describe los componentes que forman parte de una red inalámbrica de sensores la cual se basa en:

- Sensores: de distintos tipos y tecnologías los cuales toman del medio la información y la convierten en señales eléctricas.
- Nodo sensor: dispositivos con capacidad de procesamiento y almacenamiento que toma los datos del sensor a través de sus puertas de datos, y envían la información de forma inalámbrica a la estación base.
- Gateway: Elementos para la interconexión entre la red de sensores y una red TCP/IP.
- Estación base: Recolector de datos de los nodos para tratamiento de información.
- Red inalámbrica: Típicamente basada en el estándar 802.15.4.

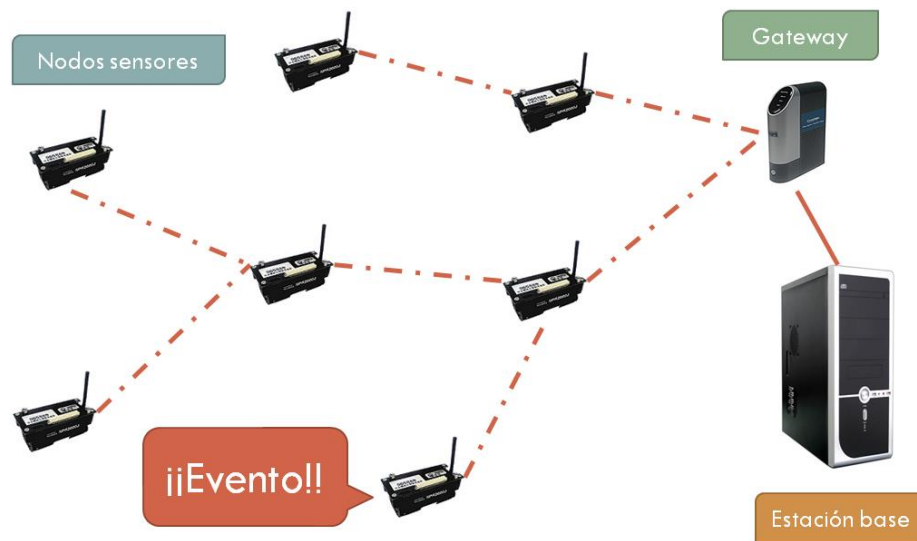


Figura 4. Componentes de una WSN

Fuente: <http://goo.gl/2Oes1c>

### 2.3.2 Topologías de una red inalámbrica de sensores.

Las topologías de las redes inalámbricas de sensores permiten que los datos recolectados de los sensores elijan caminos lógicos para que éstos sean transportados, mediante la comunicación inalámbrica, hacia una estación base o hacia otro nodo.

Las topologías que pueden implementarse pueden ser:

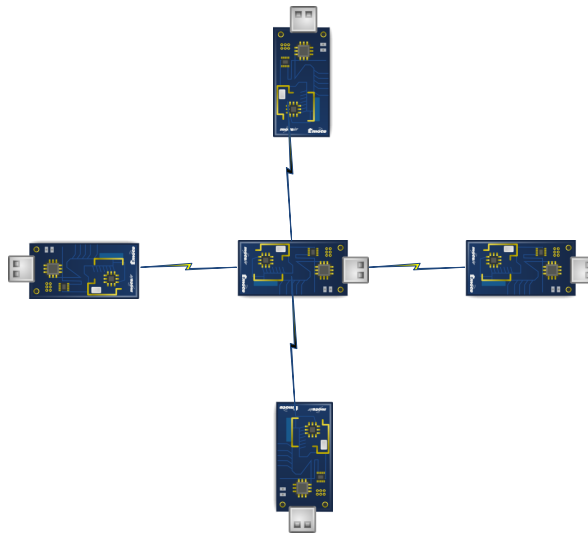
- *Punto a punto*: la comunicación es más sencilla por ser nodo a nodo; pero uno debe ser coordinador para establecer la comunicación.



Figura 5. Topología punto a punto

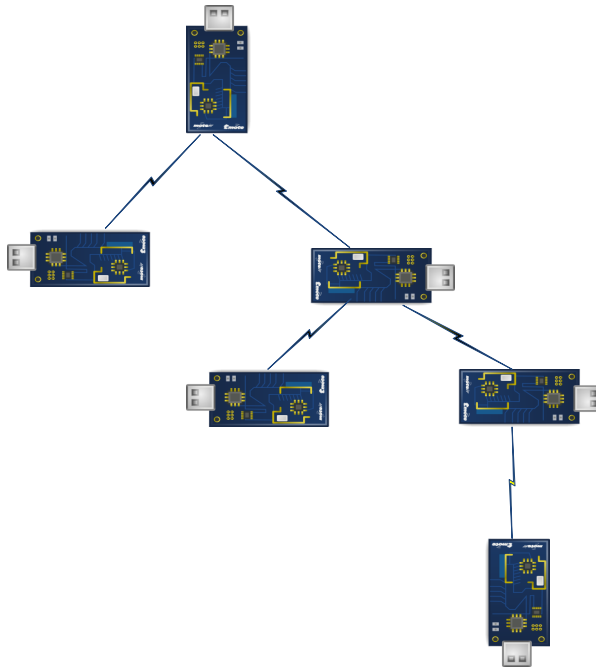
- *Estrella*: el coordinador se sitúa en el centro y los nodos alrededor de éste para establecer una comunicación, tomando en cuenta que los nodos

finales no se comunican directamente, sino a través del nodo central; la ventaja de éste es que consume menos energía pero al contrario limita la distancia de comunicación.



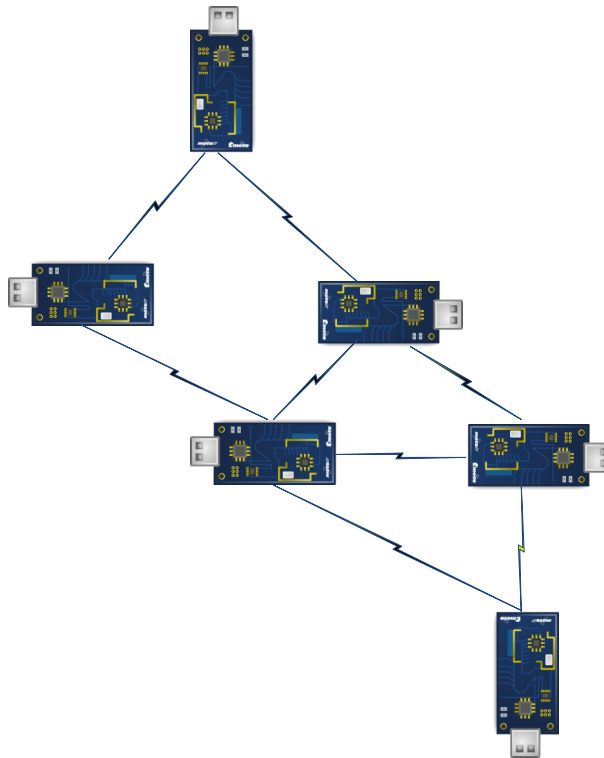
**Figura 6. Topología en estrella**

- *Árbol*: cada nodo mantiene una sola trayectoria de comunicación directa al coordinador pero puede usar otros nodos para enrutar sus datos a esa trayectoria. Esta topología tiene un problema que si el nodo ruteador falla, todos los nodos que dependen de éste también pierden sus trayectorias de comunicación con el coordinador. (Cianca, 2012).



**Figura 7. Topología en árbol**

- *Malla*: los nodos mantienen múltiples trayectorias de comunicación al coordinador, si algún nodo ruteador falla, la red automáticamente enruta los datos a través de una trayectoria diferente. La topología de malla, aunque es muy confiable, sufre de incremento de latencia de red ya que los datos deben hacer múltiples saltos antes de llegar al coordinador. (Cianca, 2012).



**Figura 8. Topología en malla**

### **2.3.3 Aplicaciones de las redes de sensores inalámbricos.**

(Cianca, 2012) especifica que las redes de sensores inalámbricas pueden aplicar en diferentes áreas como:

- *Eficiencia energética:* redes de sensores que se utiliza para controlar el uso eficaz de la energía.
- *Seguridad:* existen lugares que requieren altos niveles de seguridad para evitar ataques terroristas, centrales nucleares, aeropuertos, edificios del gobierno de paso restringido, las cuales pueden detectar situaciones que con una cámara sería imposible.

- *Sensores ambientales*: el monitoreo de temperatura, humedad, fuego, actividad sísmica así como otras, pueden ayudar a expertos a diagnosticar o prevenir desastres naturales.
- *Automoción*: son el complemento ideal a las cámaras de tráfico, ya que pueden informar de la situación del tráfico en ángulos muertos que no cubren las cámaras y también pueden informar a conductores de la situación.
- *Medicina*: mejorar la calidad de vida de pacientes que tengan que tener controlada sus constantes vitales (pulsaciones, presión, nivel de azúcar en sangre, etc.), podrá mejorar sustancialmente.
- *Domótica*: ideal para monitorear y controlar el hogar ofreciendo comodidad.

## **2.4 Tipo de sensores aplicados en el sector agrícola**

### **2.4.1. Sensor de temperatura**

Los sensores de temperatura permiten controlar un sistema de riego, ya que se puede determinar cuáles son las condiciones ambientales óptimas de cuando regar; porque no se debe regar en condiciones de heladas ni en excesivas temperaturas puesto que pueden verse afectados los cultivos. Medición de 0° a 100 ° centígrados.

### **2.4.2. Sensor de humedad relativa**

Permite la medición de la humedad o cantidad de vapor de agua en el ambiente y es considerado también como uno de los parámetros que permite

activar/desactivar el sistema de riego; los valores que se miden es de 0 a 100%.

#### **2.4.3. Sensor de humedad de suelo**

Cuando la tierra tiene un nivel de humedad que necesitan los cultivos, puede activarse o detenerse el sistema de riego, permitiendo la optimización de agua. Dependiendo del tipo de sensor que se aplique puede ser medido de 0 a 100% o medir la conductividad eléctrica de 0 a 1000.

#### **2.4.4. Sensor de luminosidad**

Este tipo de sensores permiten determinar cuál es la condición óptima de cuando regar, ya que cuando existe mayor luminosidad puede llegar a quemar los cultivos por el reflejo del agua; además pueden también aplicarse en los cultivos de flores controlando la luminosidad ya que éstos requieren luz por 16 horas.

#### **2.4.5. Sensor de lluvia**

Para este tipo de sensores su aplicación es muy sencilla, ya que al detectar lluvia se desactiva el sistema de riego.

### **2.5 IPv6**

IPv6 es un protocolo de nueva generación que proporciona un espacio de direcciones de 128 bits a diferencia de 32 que utiliza IPv4, esto

aproximadamente 340 sextillones de direcciones que pueden ser asignados a los usuarios finales. (Martínez, 2012)

(Pittman, 2013), menciona en su artículo que la transición a IPv6 es importante por el aumento de dispositivos conectados a Internet, que está creando un nuevo entorno de información, Cada dispositivo que se conecta a Internet requiere una dirección IP, y se ha previsto que para el 2020 habrá 50.000 millones de dispositivos habilitados para Internet en el mundo, haciendo que el protocolo IPv4 no pueda soportar este crecimiento. Unidad de transmisión máxima en IPv6 es de 1280 bytes.

### **2.5.1. Características**

De acuerdo con (Martínez, 2012) las principales características de IPv6 son las siguientes:

- *Mayor espacio de direcciones:* IPv6 proporciona 128 bits de direcciones para ser asignadas.
- *Auto-configuración y re-configuración sin servidores:* fácil conectar automáticamente cualquier dispositivo a la red, sin que se haya instalado un servidor DHCP.
- *Movilidad:* los usuarios y dispositivos tienen la tendencia a movilizarse para consumir recursos sin la utilización de cables.
- *Seguridad:* la comunicación de extremo a extremo con autenticación y encriptación embebidas en la capa IP, con la uso del protocolo IPSec.

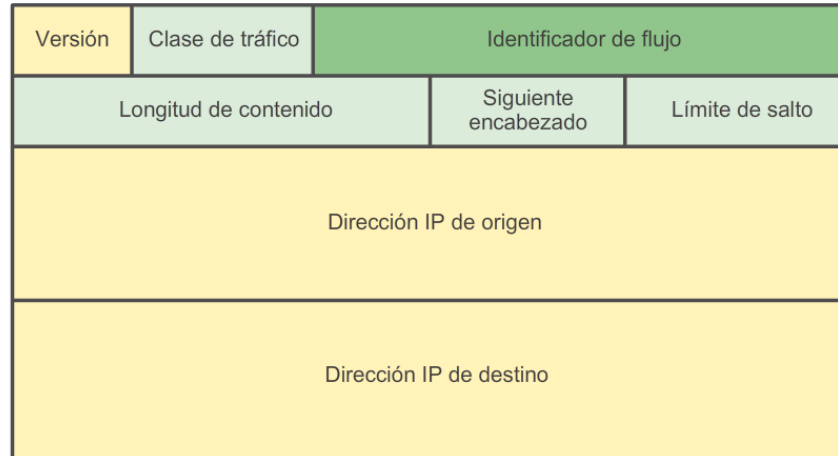
- *Cabecera mejorada:* con formato de cabecera mejorado e identificación de flujos permitiendo la calidad de servicio en Internet, eliminando campos redundantes.
- *Soporte multidifusión:* soporte mejorado de multidifusión o multicast para la implementación de distribuciones de contenido.
- *Extensibilidad:* diseñado teniendo en cuenta su crecimiento y flexibilidad para añadir nuevas características sin tener que modificar el paquete y sea transparente para el usuario.

### 2.5.2. Paquete IPv6




(Minoli, 2012), hace la descripción del paquete IPv6 el cual especifica que está compuesto por 40 bytes (320 bits) y se encuentra formada por los siguientes campos:

- *Versión:* 4 bits para campo que lleva el valor de 6.
- *Clase de tráfico:* 8 bits para la prioridad del paquete`.
- *Identificación de flujo:* 20 bits para el manejo de calidad de servicio.
- *Longitud de contenido:* 16 bits para el payload de IPv6.
- *Siguiente encabezado:* 8 bits que identifica el protocolo que tiene en su nivel inmediatamente superior.
- *Límite de salto:* 8 bits que especifican el tiempo de vida y se utiliza para evitar que el paquete exista indefinidamente y sea descartado.
- *Dirección origen:* 128 bits correspondientes a las direcciones origen.
- *Dirección destino:* 128 bits correspondientes a las direcciones destino.

### Encabezado de IPv6



**Leyenda**

-  - Se conservan los nombres de campo de IPv4 a IPv6
-  - Cambian el nombre y la posición en IPv6
-  - Nuevo campo en IPv6

**Figura 9. Campos del paquete IPv6**

Fuente: Currículo Cisco – CCNA 1 V5.0

### 2.5.3. Estructura de direcciones IPv6

(John Rullan, Stephen Lynch, 2013), especifican la estructura que una dirección IPv6, el cual utiliza un formato hexadecimal de 128 bits que se representa de 0 a 9 y de A a F; representados en 8 campos numéricos hexadecimales llamados hextetos de 16 bits cada uno separados por dos puntos.

La estructura de una dirección IPv6 tiene las siguientes partes:

- *Prefijo del sitio*: son los tres primeros hextetos o los 48 bits de la dirección. Lo asigna el proveedor de servicios.
- *Topología de sitio*: o identificador de subred, cuarto hexteto de la dirección.

- *Identificación de interfaz:* son los cuatro hextetos o los 64 bits de la dirección. Se asigna de forma manual o dinámica.



**Figura 10. Estructura de dirección IPv6**

Fuente: Currículo Cisco – CCNA 1 V5.0

#### 2.5.4. Tipo de direcciones

(John Rullan, Stephen Lynch, 2013), identifican los siguientes tipos de direcciones en IPv6:

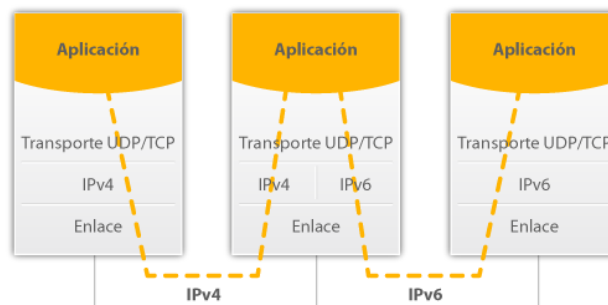
- *Dirección unicast:* identifica de forma única una sola interfaz en un dispositivo IPv6. Dentro de esta categoría existen estos tipos de direcciones:
  - Link-Local: solo se puede utilizar localmente, para comunicarse con los otros dispositivos en el mismo enlace local; utiliza el formato FE80::/64
  - Unique-Local: se utilizan para el direccionamiento local dentro de un sitio o entre una cantidad limitada de sitios, similares a las direcciones privadas para IPv4. Están en el rango de FC00::/7 a FDFF::/7.
  - Global: globalmente enrutables, similares a las direcciones IPv4 públicas.

- Loopback: utilizada por los host para enviarse paquetes a sí mismos; no se puede asignar a una interfaz física. Con formato ::1/128 o ::1
- No específica: no puede asignarse a una interfaz y solo se utiliza como dirección de origen, con formato ::/128.
- *Dirección multicast*: identifica un grupo de interfaces. Toda dirección multicast se identifica mediante un rango de dirección reservado FF00::0/8.
- *Dirección anycast*: identifica múltiples interfaces, los paquetes anycast sólo se entregan a una interfaz.

### 2.5.5. Mecanismos de transición de IPv4 e IPv6

(Vives, 2011), en su informe destaca que los mecanismos de transición permiten la integración o interacción de sistemas IPv4 e IPv6, facilitando la transición y coexistencia con IPv6, y estos tienen la siguiente clasificación:

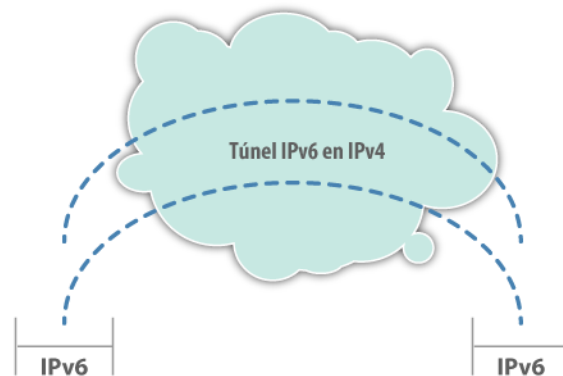
- *Doble pila*: para permitir la coexistencia de IPv4 e IPv6 en el mismo dispositivo y redes, evitando costos adicionales.



**Figura 11. Doble pila**

Fuente: <http://goo.gl/KUDKQa>

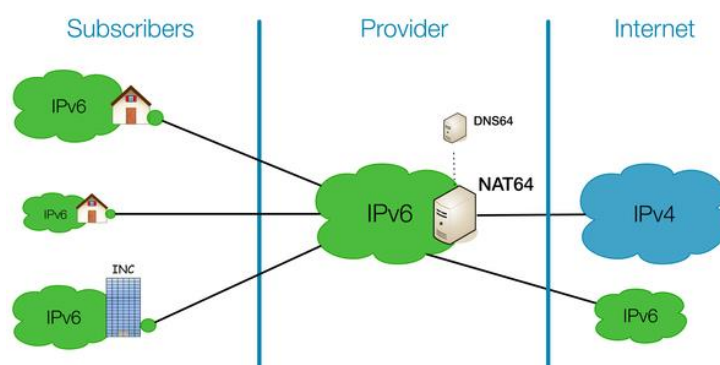
- *Tunelización IPv6*: encapsula los paquetes IPv6 dentro de paquetes IPv4, para proporcionar conectividad IPv6 en redes que solo tiene soporte IPv4. Los métodos que establecen mecanismos tipo túnel pueden ser 6in4, 4in6, túnel bróker, 6-over-4, 6-to-4.



**Figura 12. Mecanismo basado en túnel**

Fuente: <http://goo.gl/tGJFO1>

- *Traducciones*: para permitir la comunicación entre dispositivos que son sólo IPv6 y aquellos que son sólo IPv4. NAT64 es un mecanismo que permite que hosts que solamente tienen conectividad IPv6 puedan comunicarse con hosts que solamente tienen conectividad IPv4.



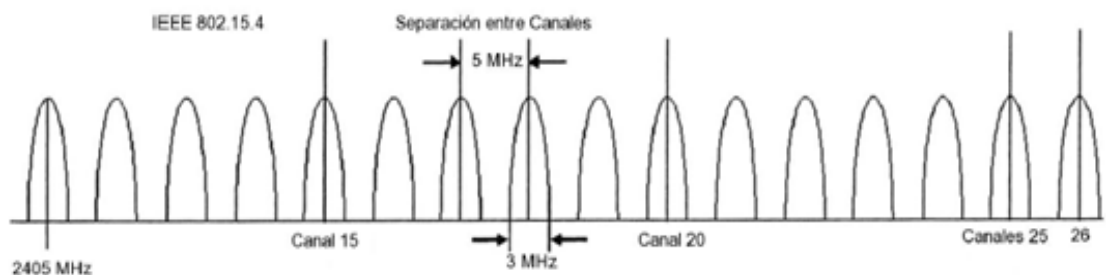
**Figura 13. Mecanismo de traducción.**

Fuente: <http://goo.gl/W9vv70>

## 2.6 Estándar 802.15.4

(Caprile, 2009), define el estándar IEEE 802.15.4 como la norma que regula el nivel físico y el control de acceso al medio de las comunicaciones de redes de área personal inalámbricas; ocupa poca potencia de procesamiento y bajo consumo de energía.

En el nivel físico las bandas de frecuencia sobre la cual operan son 868MHz, 915MHz y 2.4GHz, siendo esta última la más utilizada por usar frecuencias no licenciadas en la mayor parte del mundo. El estándar en la frecuencia 2.4GHz especifica 16 canales, denominados del 11 al 26 y está separado cada 5MHz, desde 2405MHz hasta 2480MHz. Para la confiabilidad de los dispositivos utiliza control de errores, acuse de recibo y retransmisiones; la comunicación se lo realiza harf-dúplex, se puede enviar-recibir pero no al mismo tiempo. Los dispositivos que operan en la banda de 2.4GHz tiene una velocidad de 250Kbps, el ancho de banda efectivamente utilizado en el canal es de 2MHz. (Caprile, 2009)



**Figura 14. Canales 802.15.4**

Fuente: <http://goo.gl/yq5Gtl>

En el nivel de enlace o capa MAC (Control de Acceso al Medio), se encarga de que la información llegue al otro extremo garantizando su integridad. Los campos de la trama que transmiten incluyen: encabezado (header), que transmite información de control (2 bytes), número de secuencia (1 bytes) e información de dirección (0 a 20 bytes); Payload, variable en longitud que no debe pasar 127 bytes de información; footer, que transporta información de detector de errores (FCS – 2 bytes). La evasión de colisiones lo realiza mediante CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance o Acceso Múltiple con Detección de Portadora y Prevención de Colisiones), si el medio está libre y desea transmitir, envía una notificación a través del medio sobre su intención de utilizarlo. (Caprile, 2009).

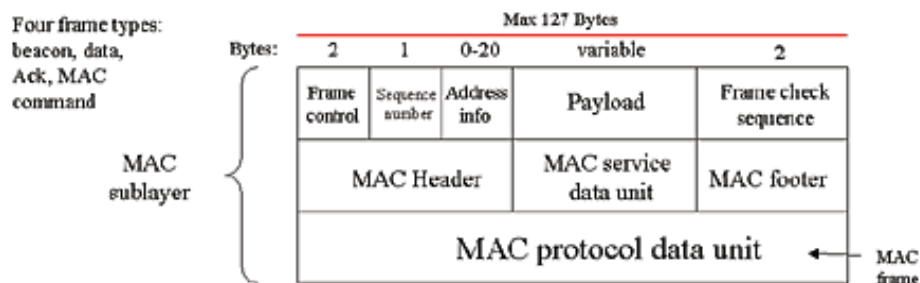


Figura 15. Formato de trama MAC 802.15.4

Fuente: <http://goo.gl/HW3AfD>

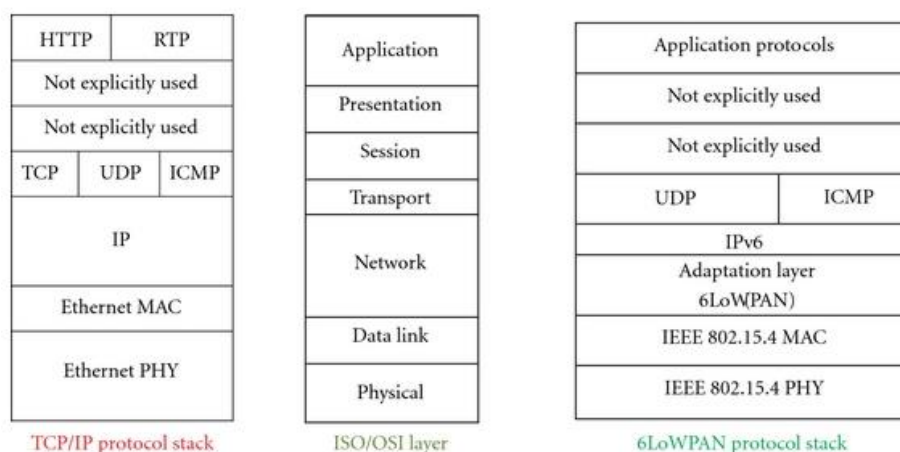
## 2.7 Estándar 6LoWPAN

El estándar 6LoWPAN se basa en IETF (Internet Engineering Task Force), el cual habilita el uso eficiente de IPv6 en redes inalámbricas de área personal de

bajo consumo de energía, utilizando el estándar IEEE 802.15.4, posibilitando la comunicación IP directamente con otros dispositivos. (Zach Shelby, 2009).

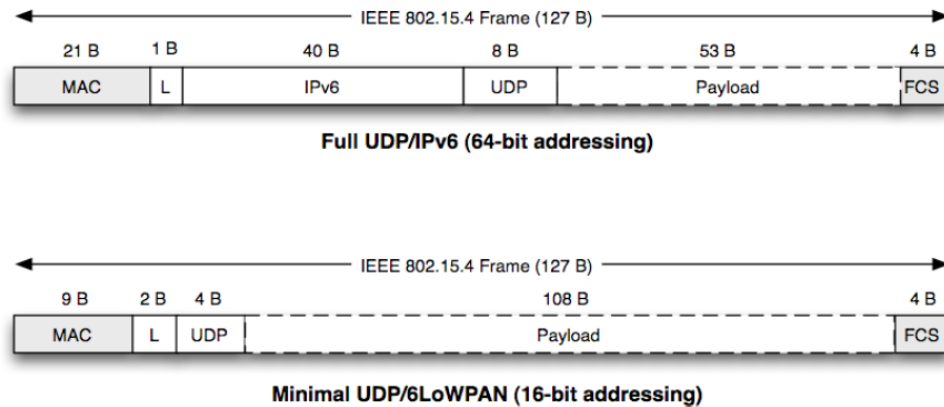
Los beneficios de 6LoWPAN se encuentran: el fácil uso por ser un estándar abierto, confiable y estandarizado; integración transparente con internet, escalabilidad global, flujo en-to-end, el uso existente de la infraestructura de internet, uso mínimo de código y memoria, entre otros. (Diedrichs, 2013)

(Diedrichs, 2013), especifica una adaptación en el formato de cabecera IPv6, permitiendo el uso de en redes inalámbricos de bajo consumo, la compresión de cabecera IPv6 y compresión de cabecera UDP. Las características del estándar permite el direccionamiento de 64 bits y 16 bits usado en 802.15.4, autoconfiguración de la red usando neighbor discovery, soporte para unicast, compresión multicast y mapeado broadcast, fragmentación de 1280 bytes MTU de IPv6 a 127 bytes en 802.15.4 y soporte para IP routing RPL.



**Figura 16. Comparación de la pila de TCP/IP, OSI y capa de adaptación 6LoWPAN**

Fuente: <http://goo.gl/YYl6qM>



**Figura 17. Cabeceras 6LoWPAN**

Fuente: (Zach Shelby, 2009)

La capa de adaptación proporciona mecanismos de fragmentación y reensamblaje requiere que las capas inferiores descompongan los paquetes IPv6 con un MTU de 1280 bytes, en fragmentos más pequeños de 127 bytes definidos en el estándar 802.15.4, para que puedan ser transportados por la capa de enlace de manera transparente a IPv6. Además proporciona compresión de cabeceras cuando no puedan ajustarse a la carga útil de la MAC. (Ara, 2012)

(Ara, 2012) determina que el protocolo Neighbor Discovery (ND) es de nivel de red que emplea mensajes de ICMPv6 (Internet Control Message Protocol for IPv6), ya que sus principales objetivos son llevar a cabo funciones para la configuración automática y mantenimiento de redes locales que utilizan IPv6. Las funciones que lleva a cabo este protocolo son: llevar a cabo el descubrimiento de routers, prefijos y parámetros de red; la auto-configuración de direcciones; resolución de direcciones de la capa de enlace (Address

Resolution); los procedimientos para determinación de siguiente salto (Next-hop Determination); detección de vecinos inaccesibles (Neighbor Unreachability Detection, NUD); detección de direcciones duplicadas (Duplicate Address Detection, DAD); y redirección (Redirect).

(Alejandro Cama, Emiro De la Hoz, Dora Cama, 2012) en su informe especifican que el estándar 6LoWPAN y IEEE 802.15.4 no proporcionan protocolos de enrutamiento, es por ello que la IETF define un protocolo de enrutamiento RPL(Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks), para proporcionar diferentes caminos.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES

#### 3.1. Hardware.

##### 3.1.1. Parámetros de diseño

Para el diseño de la red inalámbrica de sensores a través de 6LoWPAN será aplicado en la Hacienda Cananvalle de la ciudad de Ibarra para una agricultura de precisión y se considera los siguientes parámetros:

- *Situación actual del entorno agrario:* la ubicación del área de trabajo está en la ciudad de Ibarra en la hacienda Cananvalle. Para la implementación se consideran dos parcelas una de 180 m<sup>2</sup> y otra de 200 m<sup>2</sup>, dedicadas a la siembra de hortalizas, como se indica en la figura.



Figura 18. Parcelas de terreno hacienda

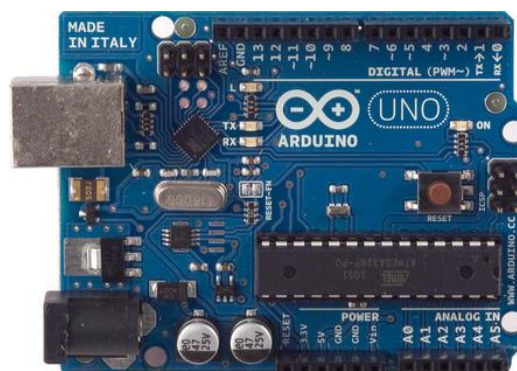
Fuente: Mapa de Google Earth.

- *Sistema embebido*: servirá para la recepción de los datos de los sensores, procesamiento, envío de datos inalámbricamente a un servidor y que soporte el estándar 6LoWPAN; se utiliza el módulo MSP-CM5000 con características similares a TelosB que incluye un microcontrolador MSP430F1611, y disposición de radio y antena CC2420 de Texas Instruments. Para la implementación de la aplicación se utiliza 3 nodos cliente, 1 servidor y un border-router. Para la recolección de los datos de los sensores externos se utiliza el módulo Arduino Uno que incluye un microcontrolador ATmega328 y para posteriormente ser enviado mediante la comunicación serial-UART al módulo CM5000.



**Figura 19. Módulo CM5000**

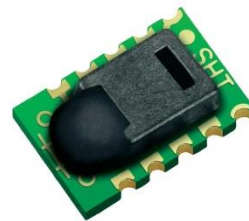
Fuente: <http://goo.gl/kiOVRc>



**Figura 20. Arduino Uno**

Fuente: <http://goo.gl/zrB9h>

- *Análisis de los sensores:* estos están destinados a la recolección de datos para una agricultura de precisión, que serán enviados a una estación central de forma inalámbrica o visualizados localmente en el nodo cliente a través de su dirección IPv6; para esta actividad se aplica los siguientes sensores con sus características:
  - Sensor de temperatura y humedad relativa: destinado a la medición de la temperatura y humedad relativa permitiendo el control automático del sistema de riego en intervalos adecuados, evitando daños en la planta; para ello se utiliza el sensor digital Sensirion SHT11 de alta precisión, permitiendo la mediciones de humedad relativa y temperatura con una medición de 0% a 100% RH y de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $123.8^{\circ}\text{C}$  respectivamente.



**Figura 21. Sensor de humedad relativa y temperatura SHT11**

Fuente: <http://goo.gl/mwxDuU>

- Sensor de luminosidad: nos permite monitorear el porcentaje de radiación solar total y radiación fotosintéticamente activa, determinando cuándo regar por la influencia del sol y además hace referencia de actividad fotosintética en las plantas y otros organismos fotosintéticos como microalgas y bacterias, ya que puede llegar a quemar a la planta por el reflejo del sol en el

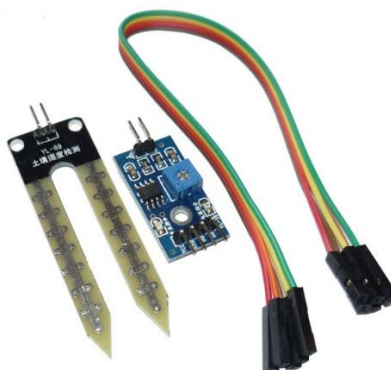
agua; para esta actividad se utiliza los sensores Hamamatsu S1087 y S1087-01.



**Figura 22. Sensor de luminosidad S1087 Series**

Fuente: <http://goo.gl/RZZWCw>

- Sensor de humedad de suelo: para el control automático del sistema de riego por goteo uno de los parámetros principales es el monitoreo de la humedad de la tierra, ya que dependiendo del porcentaje se activa o desactiva el riego, proporcionando la cantidad necesaria de agua a la planta; se aplica un sensor de humedad de suelo YL-69 analógico, determinando la cantidad de humedad presente en el suelo.



**Figura 23. Sensor de humedad de suelo LY-69.**

Fuente: <http://goo.gl/XmDkC9>

- Sensor de lluvia: el sistema de riego por goteo por estar en el exterior se debe determinar la percepción de lluvia, por lo tanto nos ayuda a desactivar el sistema de riego por la presencia de lluvia; se aplica un sensor de lluvia analógico Sensor Module Rain Detection LY-83.



**Figura 24. Sensor de lluvia LY-83**

Fuente: <http://goo.gl/qaE5uc>

- *Sistema Operativo de red para hardware:* el sistema operativo de red para la WSN se basa en Contiki OS, está basado en código abierto y se adapta a microcontroladores con limitada capacidad de memoria permitiendo conectarse al Internet con soporte para IPv4 e IPv6.
- *Zona de Fresnel:* determina la ubicación y cobertura de las antenas de comunicación de la WSN con el objetivo de que no exista pérdidas y así optimizar el consumo de la potencia de los dispositivos ya que debe estar libre de obstáculos. La implementación de las parcelas de terreno es en el

área externa y existe visión directa, donde no hay problemas de obstáculos de árboles u otros objetos que interfieran la señal. Entonces, para calcular la primera zona de fresnel se aplica la siguiente fórmula:

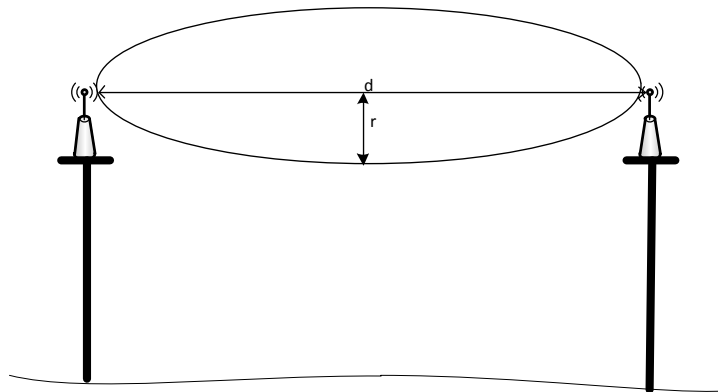


Figura 25. Zona de Fresnel

$$r_m = 17.32 \sqrt{\frac{d_{Km}}{4f_{Ghz}}}$$

Dónde:

$r_m$  = Radio óptimo

$d_{Km}$  = 50 metros

$f_{Ghz}$  = 2.4 Ghz

$$r_m = 17.32 \sqrt{\frac{(0,05)Km}{4(2.4)Ghz}} = 1,24 \text{ metros}$$

Por lo tanto, reemplazando los valores en la fórmula se obtiene que para en la comunicación no exista interferencias y esté libre de obstáculos debe estar a una altura ideal de la antena de 1,24 metros y se asegura el 60% de la potencia de la señal.

- *Direccionamiento IPv6*: las direcciones IPv6 permiten asignar a los nodos para su comunicación y tienen el siguiente direccionamiento:

Stateless Address Autoconfiguración (SAA) = Prefix (64 bits) + Subfix (64bits)

- Prefix: prefijo `aaaa::`
- Link-Local: prefijo `fe80::`
- Subffix: basado en dirección MAC

Nodo id	Device	MAC Address	Link-Local	IPv6-Address (aaaa:: subnet)
1	Cliente 1	00:12:74:00:13:CC:1f:ed	fe80::212:7400:13cc:1fed	aaaa::212:7400:13cc:1fed
2	Cliente 2	00:12:74:00:13:cb:0a:92	fe80::212:7400:13cb:a92	aaaa::212:7400:13cb:a92
3	Cliente 3	00:12:74:00:13:cc:01:70	fe80::212:7400:13cc:170	aaaa::212:7400:13cc:170
	Server	00:12:74:00:13:cb:f8:8c	fe80::212:7400:13cb:f88c	aaaa::ff:fe00:1
	Router-border			aaaa::b5:5aff:fe0b:114

- *Alimentación de energía*: para la alimentación y funcionamiento de la red inalámbrica de sensores se aplica una alimentación de 3.0V para los nodos con módulos MSP-CM5000 que se puede funcionar con dos baterías AA alcalinas y para los nodos con sensores externos baterías alcalinas de 9v, ya que debe alimentar a los sensores externos, al módulo arduino y al MSP-CM5000.



**Figura 26. Baterías seleccionadas para alimentación.**

Fuente: <http://goo.gl/8CRZTx>

### 3.1.2. Topología

Para el diseño de la red inalámbrica de sensores se basa en una topología en malla, dado que 6LoWPAN proporciona protocolos de enrutamiento IP como RLP (IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks), en donde cada nodo cliente envían la información del estado de los sensores al nodo servidor para el procesamiento de los datos, además pueden retransmitir mensajes a sus vecinos y utilizar enlaces más eficientes hasta llegar al servidor destino. Esta topología permite la reparación automática de sus enlaces debido una falla de algún nodo cliente, de que exista interferencia o se incorporen nuevos nodos a la topología, en consecuencia permite usar múltiples vías disponibles para llegar a su destino permitiendo ser una red escalable, robusta y fiable. El esquema general se muestra en la Figura:

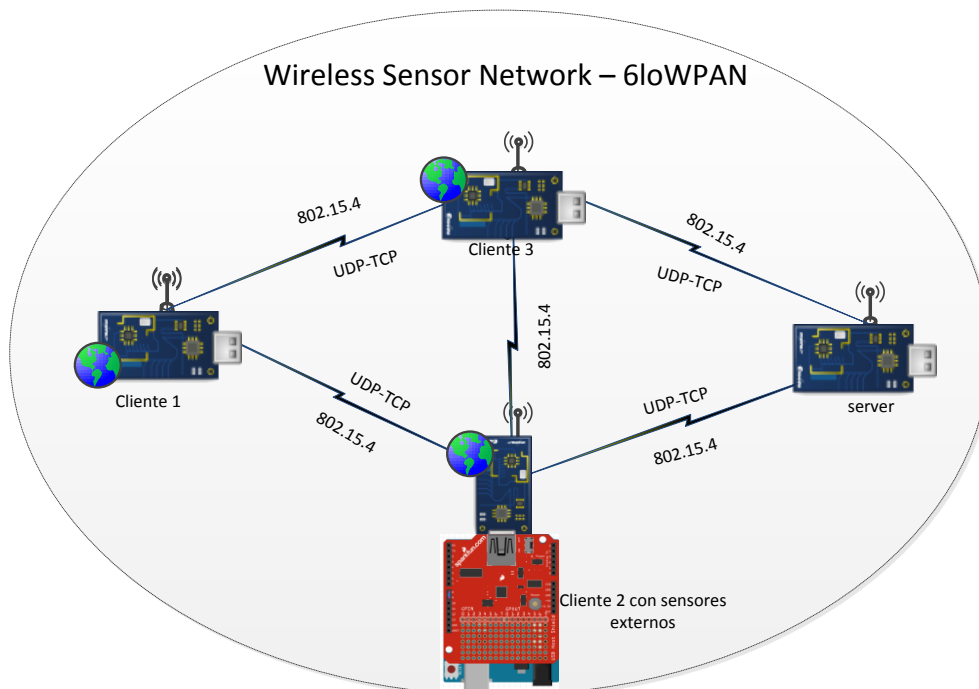


Figura 27. Topología en malla de la propuesta

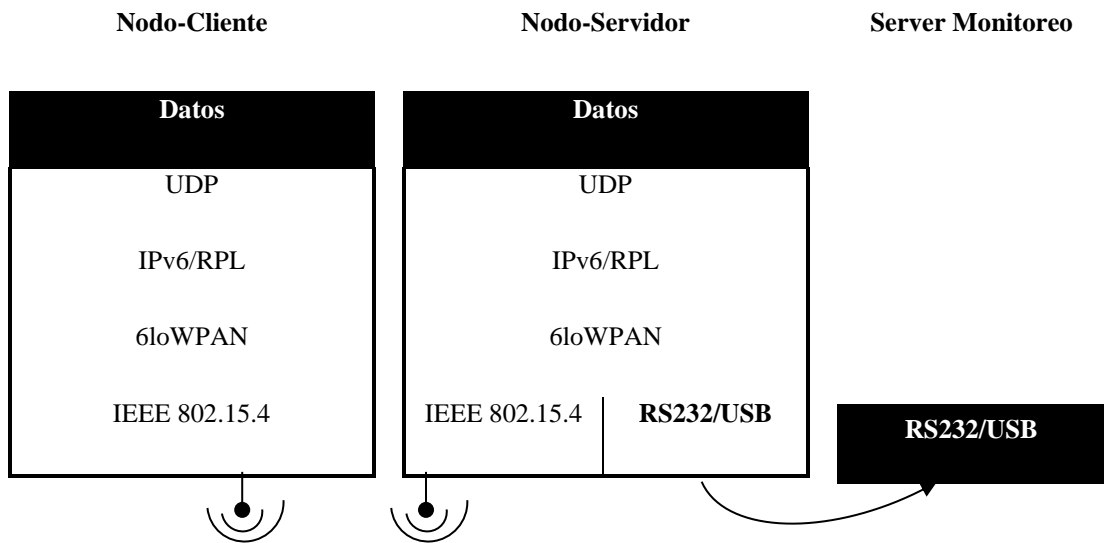
### **3.1.3. Arquitectura del hardware.**

Con los parámetros analizados anteriormente, se construye una aplicación que permita monitorear y controlar un sistema de riego por goteo para racionalizar el uso del agua en la producción agrícola, considerando que ésta debe ser escalable y ser lo más óptima posible para ser implementada en más extensiones de terreno. Se presenta dos arquitecturas que a continuación se detallan:

- 1.** La primera arquitectura permite la recolección de los datos de los sensores de los nodos clientes en forma de trama y enviados a través del protocolo UDP y los radios 802.15.4 al servidor para posteriormente controlar en forma automática dependiendo de los parámetros de los sensores la activación o desactivación del riego; cada nodo cliente y servidor dispone de una dirección IPv6. La seguridad de los datos de los nodos clientes al ser enviados por los radios 802.15.4 se utiliza una encriptación simétrica XOR, se elige este tipo ya que los datos no son tan confidenciales y por disminuir el procesamiento de los microcontroladores y así ahorrar consumo de la energía, el nodo servidor los descifra con una llave única y posteriormente los procesa.

El nodo servidor también está equipado con sensores y a través de una comunicación RS-232 envía a una aplicación denominada servidor de monitoreo para el tratamiento de la trama que posteriormente debe ser enviada a la base de datos, en donde a través de un página web los clientes ya sea una PC, laptop, Tablet o teléfono inteligente pueden

visualizar el monitoreo o control el sistema de riego por goteo. A continuación se presenta las figuras de la arquitectura de comunicaciones y la arquitectura de primera aplicación:



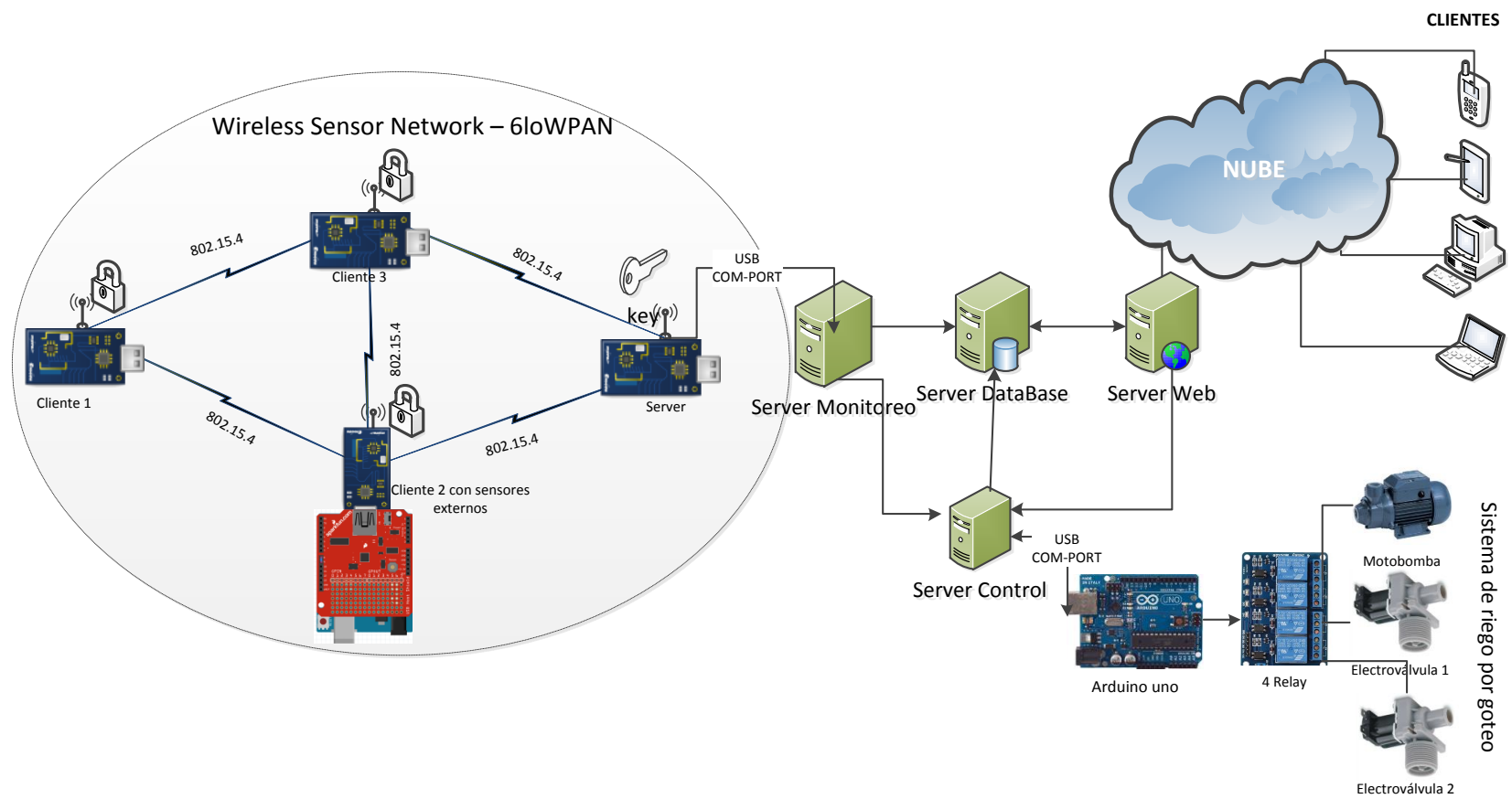
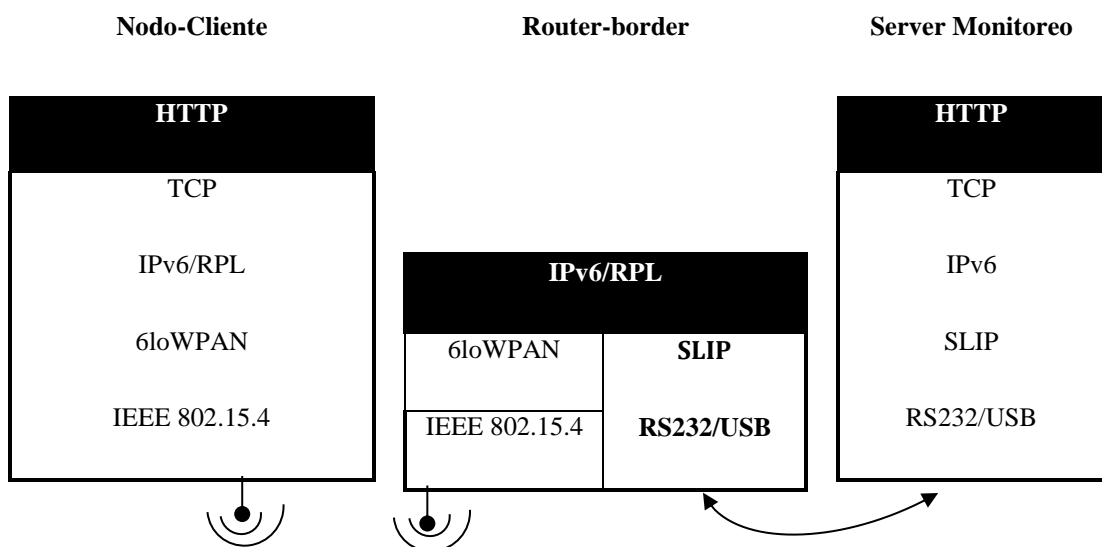
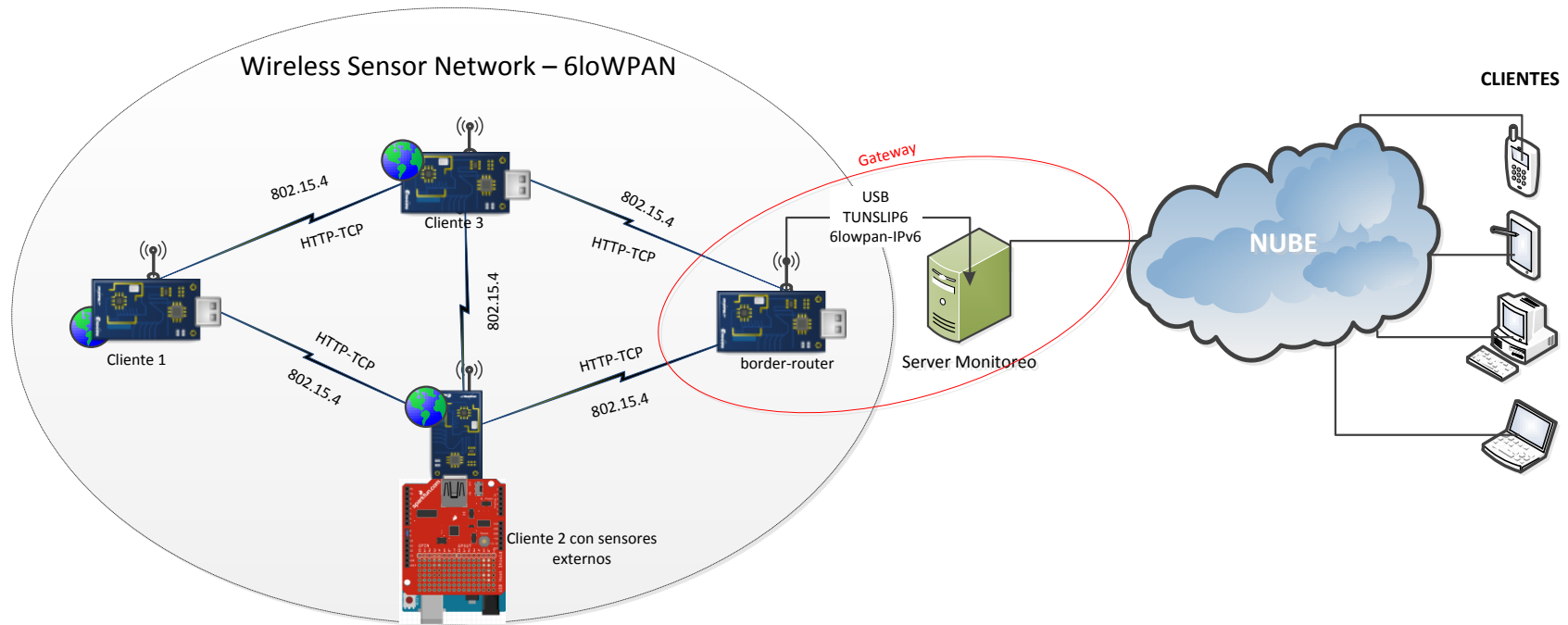


Figura 28. Arquitectura del sistema de monitoreo y control del sistema de riego por goteo a través de UDP-6LoWPAN

2. En la segunda arquitectura los nodos clientes disponen de un servidor web en donde a través de una página web pueden los clientes PC, laptop, Tablet, teléfono inteligente pueden monitorear el estado actual de los sensores directamente en el microcontrolador; cada nodo cliente dispone de una dirección IPv6 para poder demostrar el concepto del internet de las cosas, el envío de los datos los realiza por medio de los radios 802.15.4 y la capa de transporte mediante el protocolo de TCP. El router-border se encarga de la interconexión de los dispositivos de la WSN-6LoWPAN y la red de área local IPv6.

A continuación se presenta las figuras de la arquitectura de comunicaciones y la arquitectura de primera aplicación:





**Figura 29. Arquitectura del sistema de monitoreo del sistema de riego por goteo a través de HTTP- TCP -6LoWPAN**

### 3.1.4. Diagrama de bloques

Se presenta una descripción en forma gráfica la funcionalidad de la arquitectura propuesta por medio de los diagramas de bloques, la codificación del hardware CM5000 en el Sistema Operativo Contiki se especifica en el ANEXO 1 y la de los arduinos en el ANEXO 2, a continuación se detalla:

- *Diagrama de bloque de la transmisión de los nodos cliente y servidor:* en el monitoreo el nodo cliente y servidor utilizan el módulo CM5000, está incorporado con sensores internos de temperatura, humedad relativa y de luminosidad, los leds internos sirven para visualizar el tipo de actividad en el proceso de comunicación; y el servidor recibe la datos para ser enviados a la aplicación Server Monitoreo.

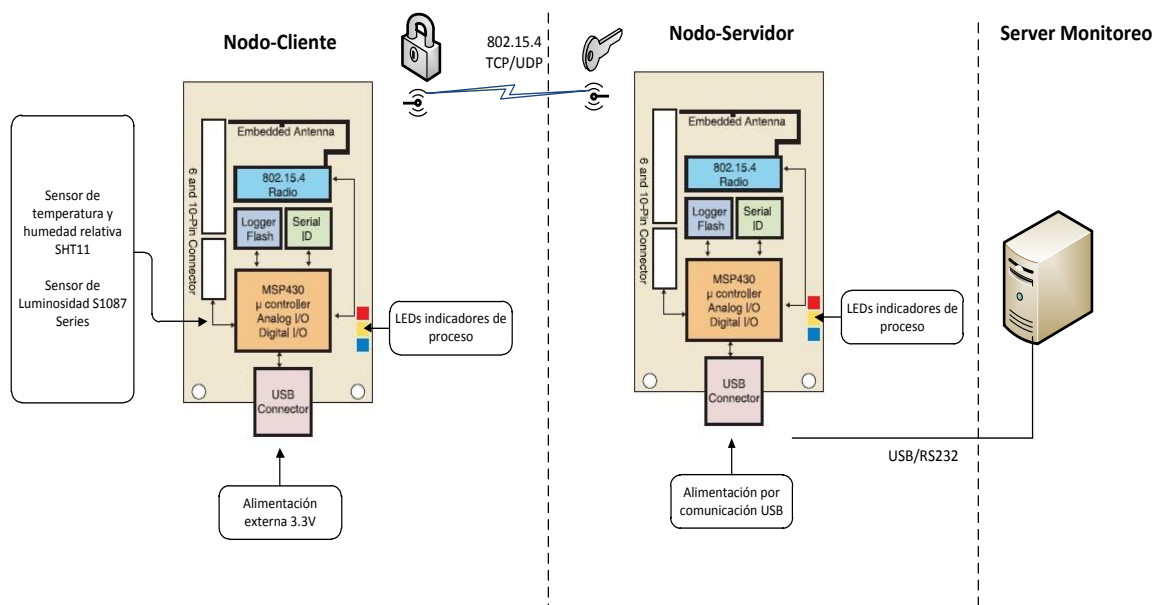


Figura 30. Diagrama de bloques de nodos clientes sensores internos y servidor

- *Diagrama de bloque de la transmisión de los nodos cliente con sensores externos y servidor:* el nodo cliente utiliza el módulo CM5000, pero para

la adquisición de datos de los sensores externos, como el sensor de humedad de suelo y lluvia lo realiza en el módulo Arduino, para la comunicación entre el Arduino y el CM5000 utiliza un Shield USB 2.0, para posteriormente ser enviado al nodo servidor por el radio 802.15.4.

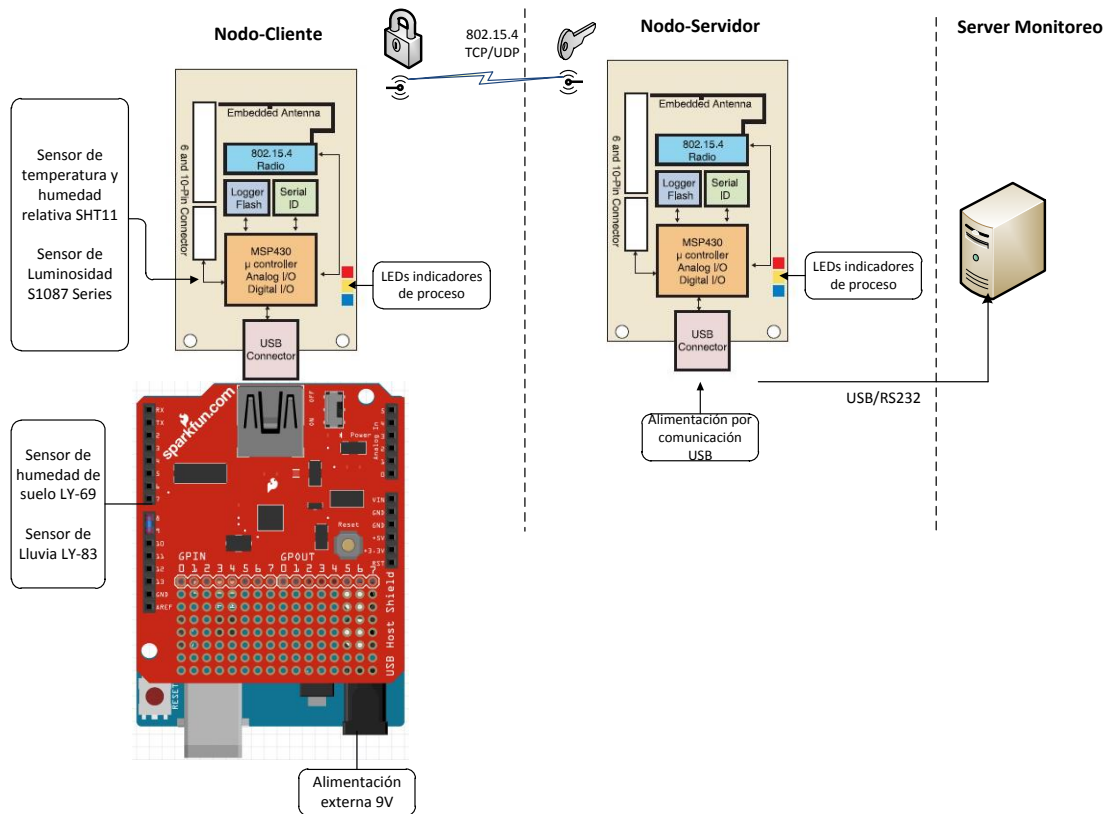
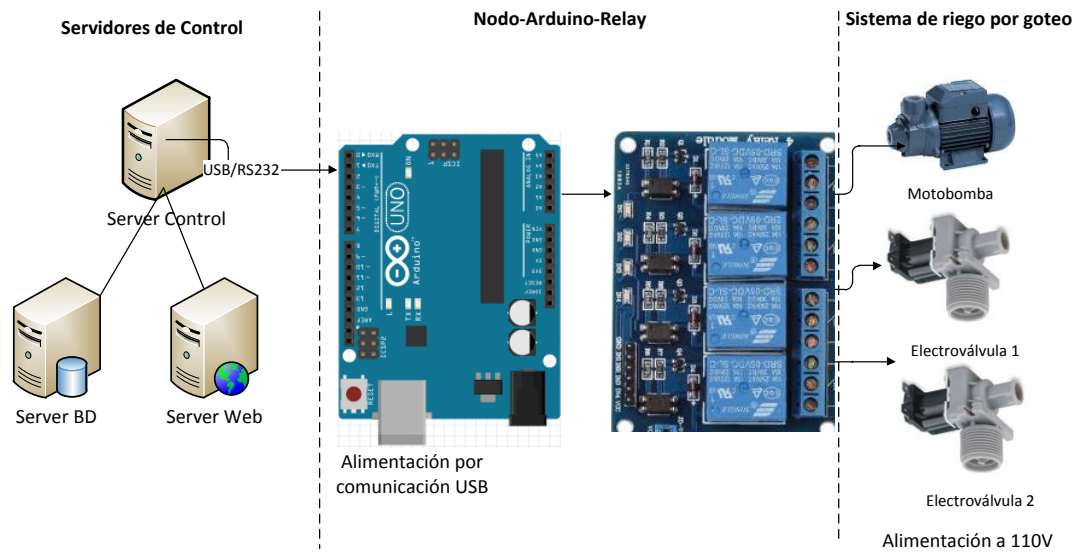


Figura 31. Diagrama de bloques de nodos clientes sensores externos y servidor

- *Diagrama de bloques del módulo actuadores:* para el control del sistema de riego se utiliza un módulo arduino y una placa de relés que sirven para activar o desactivar el sistema; puede manipularse en forma manual, automática o por el estado del monitoreo de los sensores.



**Figura 32. Diagrama de bloques del control del riego por goteo**

### 3.2. Software:

#### 3.2.1. Especificaciones de los requerimientos del software basado en el estándar ISO/IEC/IEEE 29148-2011.

Para las especificaciones de los requerimientos del software a desarrollar se pone en práctica el estándar ISO/IEC/IEEE 29148-2011, que reemplaza a la norma IEEE 830 y se detalla los pasos a continuación:

#### 1. Introducción

Se presenta la elaboración de los requerimientos de software para el desarrollo de una aplicación que permita el control del sistema de riego por goteo y el monitoreo de las mediciones de los sensores que fueron recolectados desde el nodo servidor de la red inalámbrica de sensores a través de 6LoWPAN.

##### a. Propósito

El propósito del documento pretende obtener los requisitos que debe cumplir el Sistema para un correcto diseño, desarrollo e implementación, en donde el control y monitoreo sea confiable.

#### **b. Ámbitos del sistema**

El software a desarrollar está dividido en dos partes, la primera el Servidor Cananvalle encargado de gestionar las peticiones de control de los usuarios externos o locales en donde pueden activar o desactivar el riego de forma manual o por la programación de alarmas, además la recolección de los datos del estado actual de los sensores de la red inalámbrica 6loWPAN, todas estas actividades se guardarán en una base de datos; y la segunda un sitio web denominado Cananvalle-6loWPAN que presenta una interfaz gráfica en donde los clientes PC, laptop, Tablet o dispositivo móvil puedan controlar y monitorear el sistema de riego por medio de la web y aplicando diferentes filtros puedan visualizar las mediciones en forma de tabla o gráficamente.

#### **c. Acrónimos**

**WSN:** Red inalámbrica de sensores.

**6loWPAN:** IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks

**SQL:** Structured Query Language

**HTTP:** Hypertext Transfer Protocol

**HTTPS:** Hypertext Transfer Protocol Secure

**USB:** Universal Serial Bus

**API:** Interfaz de Programación de Aplicaciones

**IPv6:** Protocolo de Internet versión 6

**RS232:** Interfaz de comunicación serial

#### **d. Referencias**

Systems and software engineering — Life cycle processes —

Requirements engineering. ISO/IEC/IEEE 29148

Especificación de Requisitos según el estándar de IEEE 830

<http://www.fdi.ucm.es/profesor/gmendez/docs/is0809/ieee830.pdf>

#### **e. Visión general del documento**

El documento presenta tres secciones, la primera la describe el propósito y ámbitos del proyecto; la segunda descripción general del sistema especificando su prospectiva, funciones del sistema y características de los usuarios; la tercera la descripción específica de los requisitos de la aplicación.

## **2. Descripción general**

### **a. Perspectiva del producto**

La aplicación permite el almacenamiento en una base de datos de la adquisición de las mediciones de los sensores de la red inalámbrica 6LoWPAN y dependiendo del estado de estos activar o desactivar el sistema de riego por goteo en forma automática. Un sitio web que se encarga de la interfaz visual del control de forma manual o por alarmas,

del monitoreo de los sensores y filtrado de los datos que realicen los clientes.

#### **b. Funciones del producto**

Las funciones de la aplicación comprenden:

- Función de control del riego
- Función de monitoreo de sensores 6LoWPAN
- Función de peticiones remotas
- Función de alarmas
- Función de almacenamiento en la base de datos
- Función de consultas, visualización en forma gráfica del filtrado de las mediciones.
- Función de control de acceso

#### **c. Características de los usuarios**

Los usuarios están en la capacidad de monitorear la red inalámbrica de sensores y controlar el sistema de riego por goteo. Los usuarios deben estar registrados en el sistema para poder acceder a la manipulación por medio de un login y password; y los que no estén registrados no podrán acceder al sistema.

#### **d. Restricciones**

La implementación se lo realiza en dos parcelas y una red local para su demostración, pero el proyecto es escalable y puede adaptarse a más extensiones de terreno y publicarse en la nube.

Los usuarios deben poseer conocimientos de electrónica e informática para poder administrar y gestionar los nodos clientes, nodo servidor y las aplicaciones.

#### **e. Suposiciones y dependencias**

El servidor debe disponer de al menos 3 puertos USB para la comunicación RS232 de la placa de control, nodo servidor y del router-border.

El sistema operativo debe soportar las aplicaciones y base de datos a desarrollar.

La plataforma de desarrollo se lo realizará en el framework .NET, utilizando el lenguaje de programación es visual basic, HTML5 y jquerys para la interfaz gráfica del usuario, generado de manera productiva aplicaciones con seguridad y multiplataforma.

El almacenamiento de los datos utilizando la base de datos relacional MS SQL Server, ofreciendo una solución integrada de administración, análisis de datos y seguridad de la información.

La publicación del sitio web se lo realiza en un servidor con soporte para el framework .NET y HTTPS como es el caso de Internet Information Server.

Las herramientas de .NET se utilizan versiones express, por ser de carácter gratuito para uso personal.

#### f. Requerimientos futuros

En el futuro puede desarrollarse la aplicación con software y base de datos libre en su totalidad con los requerimientos analizados.

### 3. Requisitos específicos

#### a. Interfaces Externas

Los usuarios pueden acceder mediante el uso de la Pc, laptop, Tablet o dispositivo inteligente y utilizando sus cuentas de usuario pueden monitorear la información recolectada por la red inalámbrica de sensores 6loWPAN y controlar el sistema de riego por goteo. El sistema permite al usuario una interactividad amigable mediante una interfaz visual, intuitiva y fácil de utilizar.

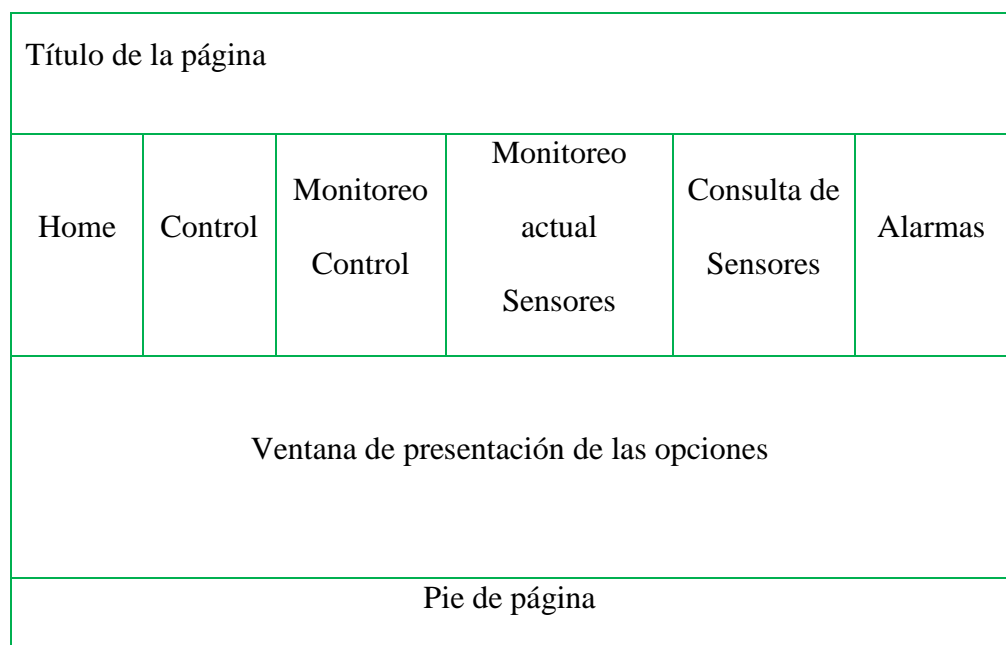


Figura 33. Estructura de la interfaz de usuario

## **b. Funciones**

- *Función de control del riego:* permite la activación local o remota del sistema de riego por goteo, de forma manual, por alarmas o dependiendo de los parámetros del monitoreo de los sensores.
- *Función de monitoreo de sensores 6LoWPAN:* permite el tratamiento de los datos del nodo sensor por medio del puerto USB-RS232 hacia la aplicación Server Monitoreo.
- *Función de peticiones remotas:* con la utilización de sockets nos permite la comunicación con clientes externo y así controlar de forma remota el sistema de riego por goteo.
- *Función de alarmas:* permite la programación en intervalos de tiempo para activar y desactivar el sistema de riego por goteo.
- *Función de almacenamiento en la base de datos:* todas las actividades de control y monitoreo son registrados en la base de datos para su posterior tratamiento.
- *Función de consultas, visualización en forma gráfica del filtrado de las mediciones:* puede el usuario consultar el estado actual los dispositivos del riego, las alarmas generadas, los estados actuales de los sensores, graficar los datos censados en tiempo real de cada nodo cliente o de acuerdo con un intervalo de tiempo.
- *Función de control de acceso:* permitir el acceso a los clientes registrados al sistema.

**c. Requisitos de rendimiento**

El sistema debe estar en capacidad de recibir las peticiones remotas de los clientes para gestionar el sistema. Debe estar en la capacidad de agregar nuevas funciones, por lo tanto debe ser escalable.

**d. Restricciones de diseño**

Las herramientas de diseño y desarrollo se utilizan versiones express, éstas tienen limitaciones en el soporte de hardware o si se desea utilizar funciones más complejas.

**e. Atributos del sistema**

Para disponer de integridad en los datos debe contar con mecanismos de seguridad para el acceso al servidor, vías como HTTPS, encriptación y autenticación de usuario.

**3.2.2. Arquitectura del software basado en el estándar ISO/IEC/IEEE 42010-2011**

En la definición de la arquitectura del software para el desarrollo de la aplicación de la red inalámbrica de sensores a través de 6LoPWAN se aplica el estándar ISO/IEC/IEEE 42010-2011 que se está basado en el estándar IEEE 1471 el cual se resume en los siguientes pasos:

**1. Introducción**

**a. Propósito**

El presente documento describe la arquitectura del software, que permite controlar los dispositivos del riego por goteo y monitorear las

mediciones de la red inalámbrica de sensores a través de 6LoWPAN usando diferentes vistas para representar la arquitectura.

#### **b. Alcance**

El documento contiene el diseño elaborado del Sistema del Servidor Cananvalle donde recibe las peticiones de los clientes para el control y monitoreo, y del Sitio Web donde proporciona una visualización de los dispositivos de riego y consultas del estado de los sensores para su gestión.

El documento está organizado en tres ideas principales:

- Las características generales del diseño
- Los requisitos atendidos por el diseño
- Los modelos y vistas que lo detallan

Para el sistema se modela a través de UML utilizando la herramienta Microsoft Visio, con el objetivo de representar en notaciones gráficas los diagramas o vistas del Servidor Cananvalle y el Sitio Web. Además sirve para la documentación del sistema.

#### **c. Usuarios interesados**

Para que se desarrolle y se implemente la Arquitectura de Software, los usuarios interesados son los administradores de la hacienda Cananvalle, facilitando su trabajo y producción.

#### **d. Recomendaciones de conformidad con esta práctica**

N/A.

#### **2. Referencias**

- Estándar ISO/IEC/IEEE 42010-2011
- Documento de Arquitectura de Software IEEE-1471-2000 - Proyecto Sistema Restaurant
- Modelo 4+1 de Kruchten

#### **3. Abreviaturas, definiciones**

**UML:** Lenguaje Unificado de Modelado

**HTTP:** Hypertext Transfer Protocol

**HTTPS:** Hypertext Transfer Protocol Secure

**TCP/IP:** Protocolo de control de transmisión/Protocolo de Internet

**WSN:** Red inalámbrica de sensores.

**6LoWPAN:** IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks

**SQL:** Structured Query Language

**USB:** Universal Serial Bus

**API:** Interfaz de Programación de Aplicaciones

**IPv6:** Protocolo de Internet versión 6

**RS232:** Interfaz de comunicación serial

**STAKEHOLDER:** Participante, inversor, accionista

#### **4. Framework conceptual**

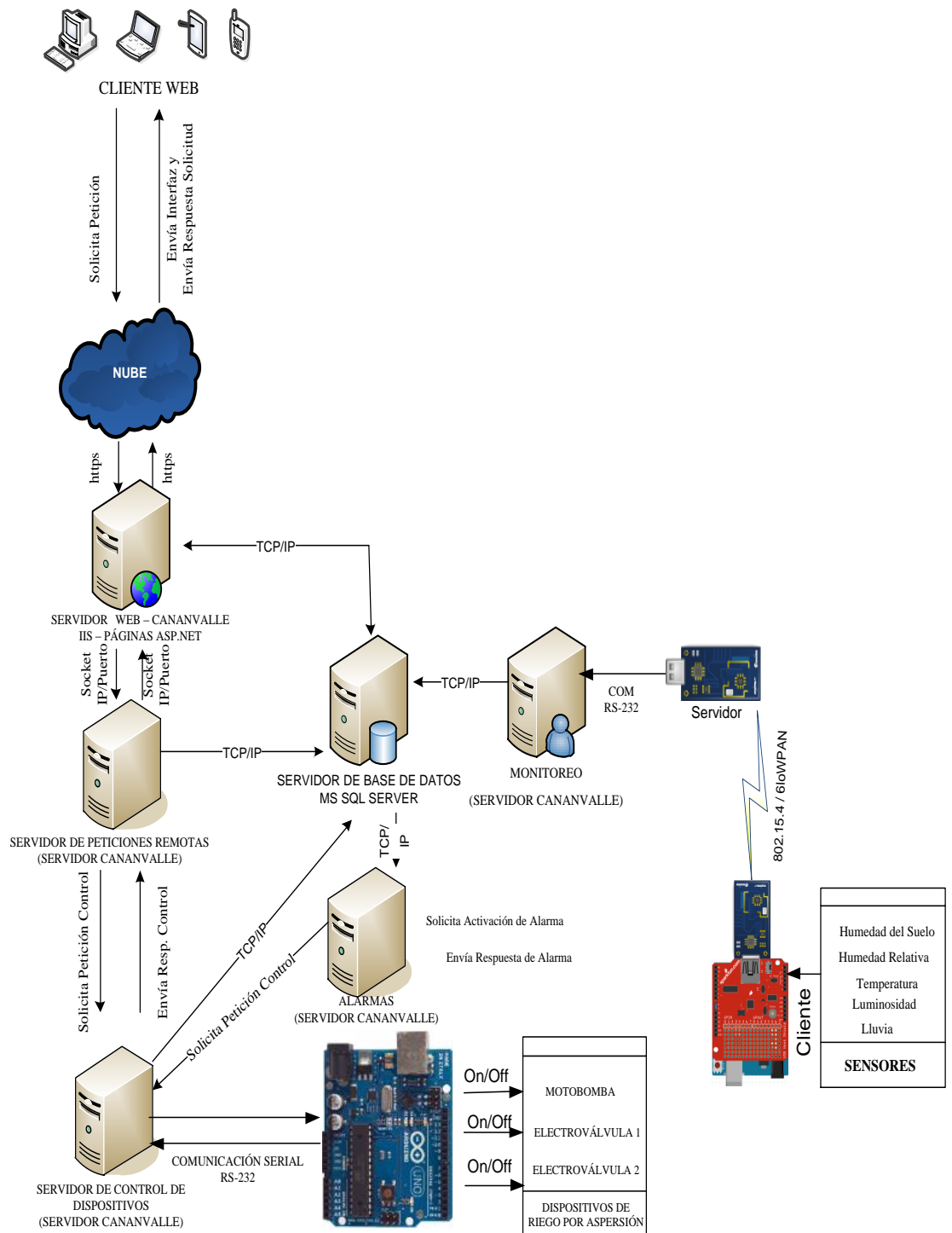
##### **a. Descripción de la arquitectura en concepto**

El cliente web por medio de una aplicación adaptable a cualquier tipo de dispositivo o resolución de pantalla que puede ser PC, Laptop, Tablet o teléfono inteligente, éste puede monitorear las mediciones de los sensores o controlar de forma manual o por alarmas los dispositivos de riego.

Cuando el cliente quiera controlar el riego se presenta una aplicación web de control, estableciendo una conexión vía sockets al Servidor de Peticiones, especificando la dirección IP y puerto, se va a conectar para que las solicitudes de control puedan ser enviadas al Servidor de Control para su activación o desactivación de los dispositivos de riego. Los estados de los dispositivos de riego son guardadas en una base de datos para poder monitorear el estado actual de los dispositivos de riego. Además el Servidor de Control puede gestionar automáticamente el riego por los parámetros de las mediciones que realicen los sensores a través de la red inalámbricas 6LoWPAN.

Al Cliente Web también se le presentan visualizaciones en tiempo real del estado de los sensores, o realizar filtros del historial que se encuentran almacenadas en la base de datos y presentar gráficamente las mediciones.

En la presente figura presenta la arquitecta del software y sus aplicaciones:



**Figura 34. Arquitectura del Sistema de Riego Cananville-6LoWPAN**

**b. Stakeholders y sus roles**

Representa la identificación de Stakeholders y sus roles, para este caso serían los administradores y dueños de la hacienda Cananvalle a partir de la interpretación de los casos de uso del Negocio.

**c. Actividades de arquitectura en el ciclo de vida**

N/A.

**d. Uso de las descripciones de arquitectura**


Las descripciones de la arquitectura se usan para referenciar el diseño.

**5. Descripciones prácticas de arquitectura**

**a. Documentación de la arquitectura**

La documentación de la arquitectura se basa en el modelo propuesto 4+1 de Kruchten, donde especifica la documentación de la vista de escenarios, la vista lógica, la vista de desarrollos, la vista física, la vista de procesos.

**b. Identificación de los Stakeholders y sus responsabilidades**

Stakeholder	Descripción	Escenario	Vistas
 Usuario - Administrador	El usuario que es el administrador, interactuar con la aplicación, y puede controlar y monitorear el sistema de riego	-Escenario de negocios Servidor-Cananvalle -Escenario diseño Servidor-Cananvalle	- lógica 1.- diagrama de clases de diseño - desarrollo 1.- diagrama de componentes 2.- diagrama de componentes en capas

- física
- 1.- diagrama de despliegue
- procesos
- 1.- diagramas de secuencia.

**c. Selección de los puntos de vista de la arquitectura**

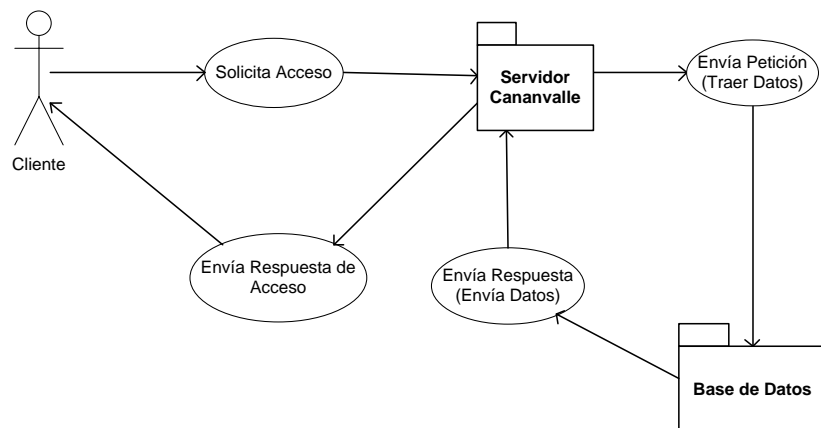
<b>Vistas</b>	<b>UML</b>
Escenarios	Casos de uso
Lógica	Clases
Desarrollo	Componentes
Física	Despliegue
Procesos	Secuencia

**d. Vistas de la arquitectura**

**Vistas.- escenarios**

**Diagrama.- Caso de uso de diseño**

**INGRESO AL SERVIDOR CANANVALLE**



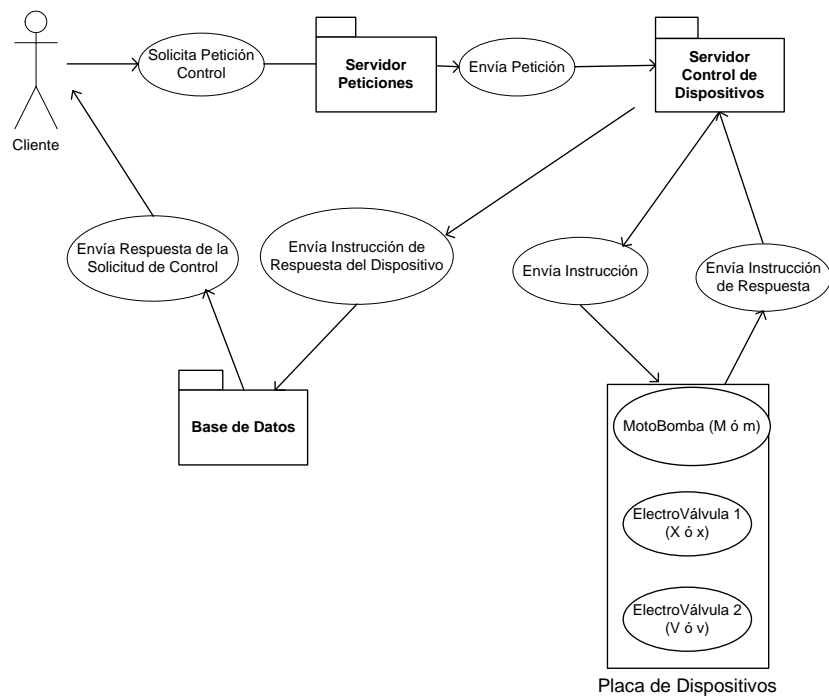
*Actores:* Cliente, Servidor Cananvalle.

*Tareas:* Solicitar Acceso al Sistema.

*Descripción:* El Cliente solicita acceso al Servidor Cananvalle, realizando una solicitud de acceso, el servidor envía una petición de

extracción de la información a la Base de Datos donde envía la información al Servidor que comprueba la solicitud del cliente para determinar si tiene acceso al Sistema.

### CONTROL DE DISPOSITIVOS DE RIEGO POR GOTEO



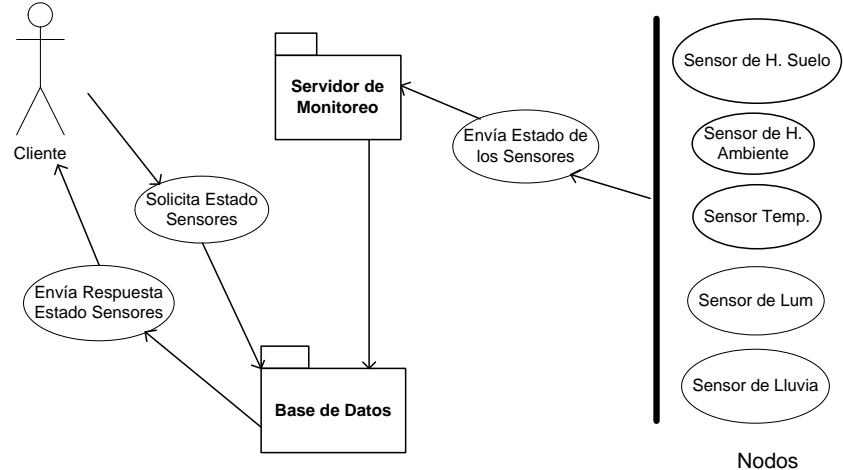
*Actores:* Cliente, Servidor de Peticiones, Servidor de Control de Dispositivos.

*Tareas:* Control de los dispositivos de riego por goteo.

*Descripción:* El cliente solicita una petición de control al Servidor de Peticiones Remotas y las envía al Servidor de Control de Dispositivos, el cual envía la instrucción a la Placa de Control - Arduino, ya sea para el encendido o el apagado de la motobomba, o cada una de las electroválvulas. Una vez enviada la instrucción de respuesta de la

Placa de Dispositivos, el Servidor de Control almacena el estado actual de los Dispositivos en la Base de Datos; la respuesta de la solicitud de control del Cliente se toma de la información almacenada del estado actual de la Base de Datos.

## MONITOREO DE SENSORES



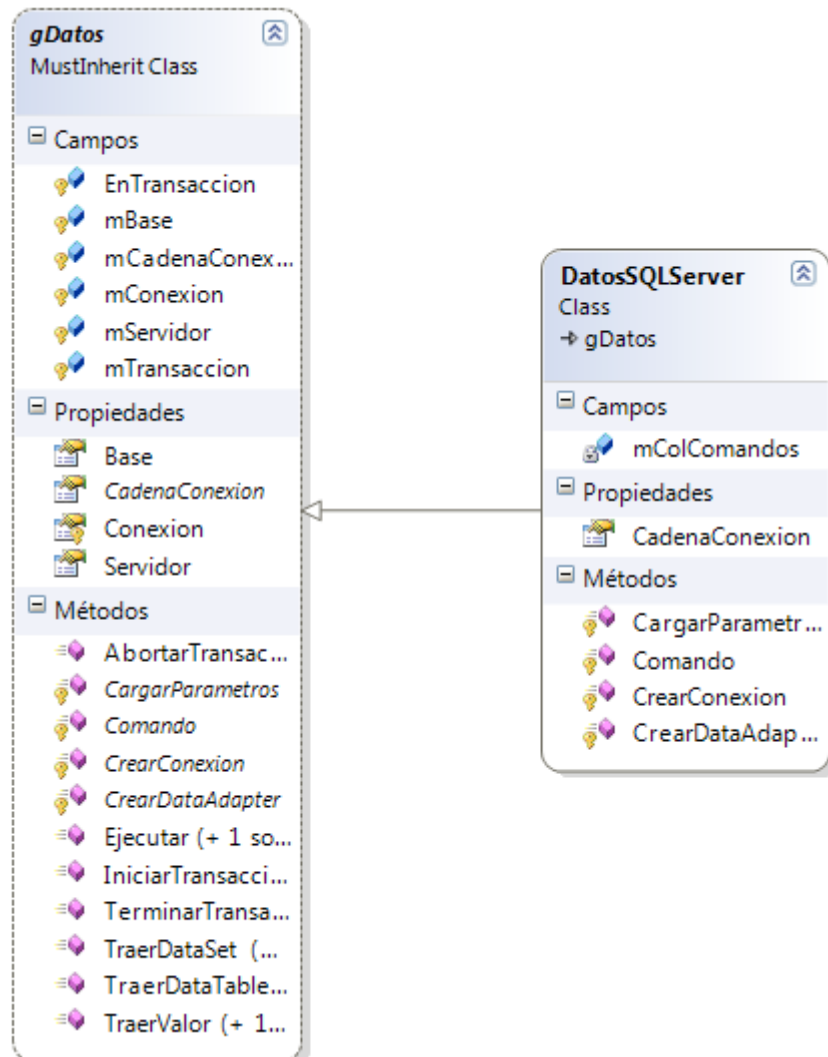
*Actores:* Cliente, Servidor de Monitoreo

*Tareas:* Monitorear el estado actual de los sensores.

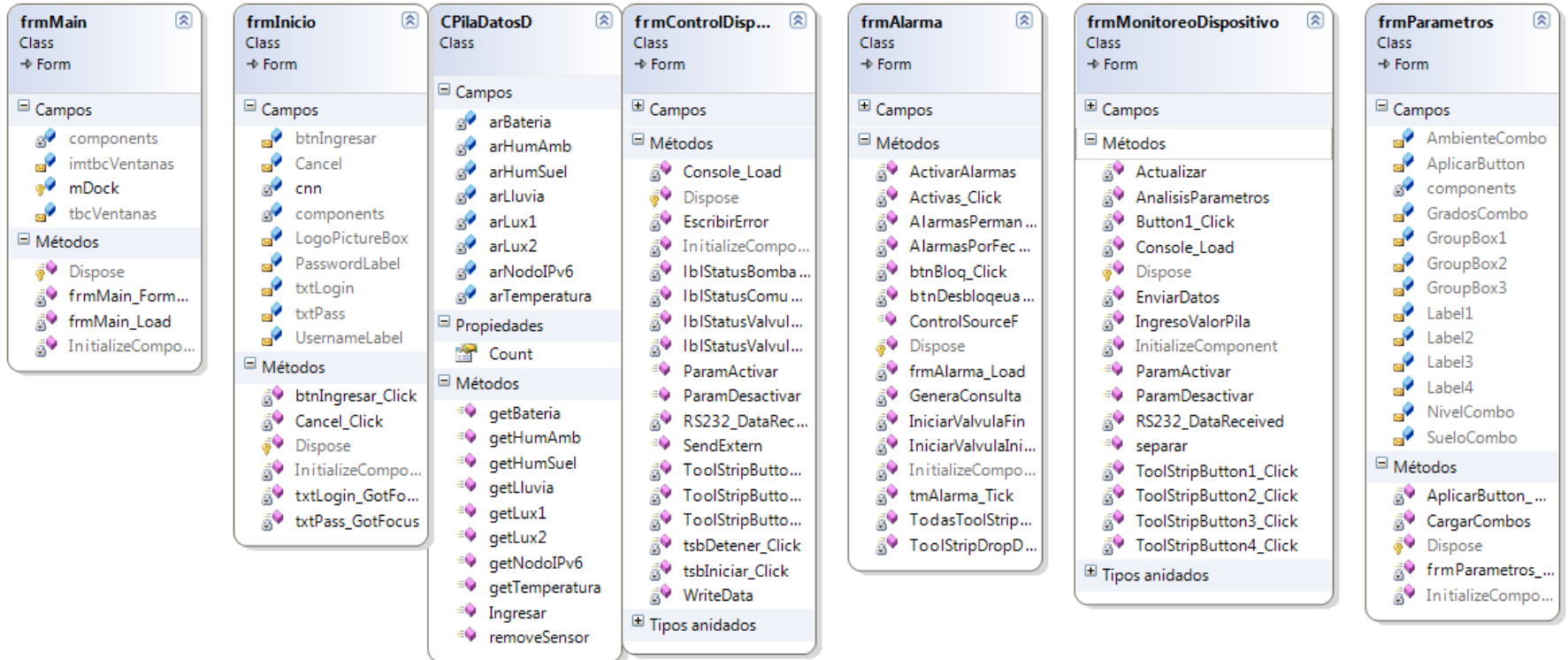
*Descripción:* Los nodos de la red inalámbrica de sensores a través de 6LoWPAN envían, cada 3 minutos, el estado (Sensor de Humedad del Suelo, Humedad del Ambiente, Temperatura, Luminosidad y de Lluvia), hacia el Servidor de Monitoreo, el cual envía toda esta información hacia la Base de Datos para su almacenamiento. Una vez almacenado las mediciones, el Cliente puede solicitar el estado de los sensores.

## Vistas. Escenarios

## Diagrama. Clases

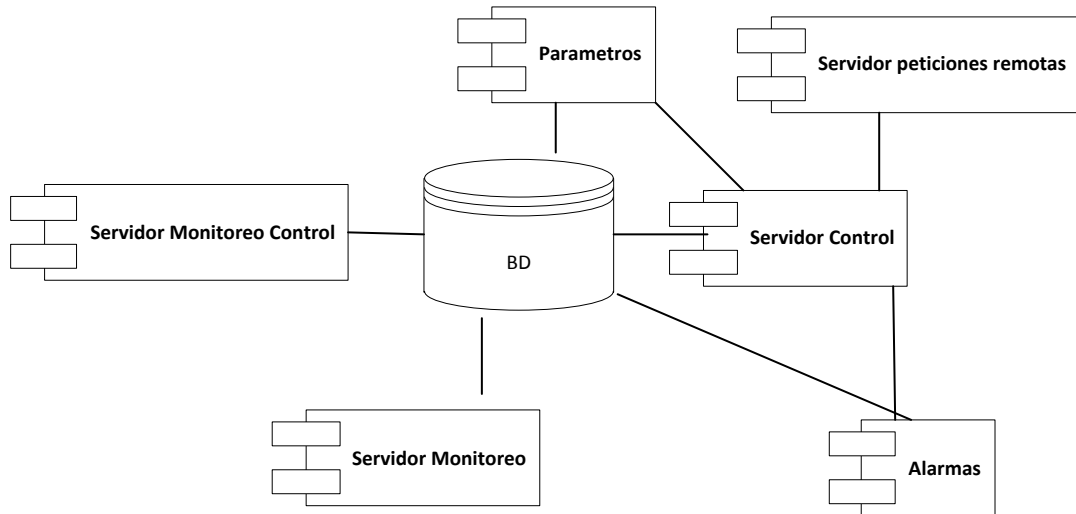


## Diagrama. Clases



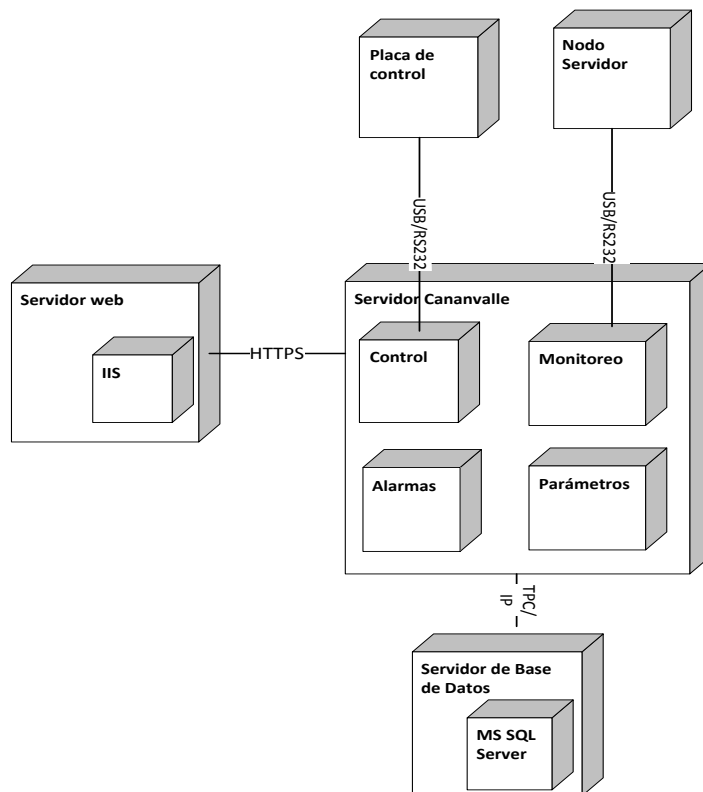
## Vista. Desarrollo

### Diagramas. Componentes



## Vista. Física

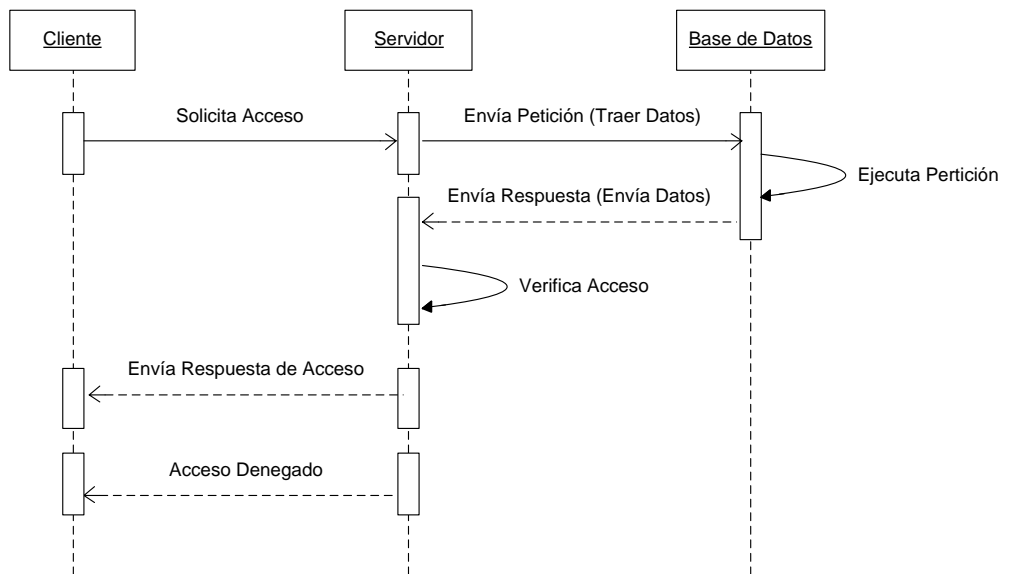
### Diagrama. Despliegue



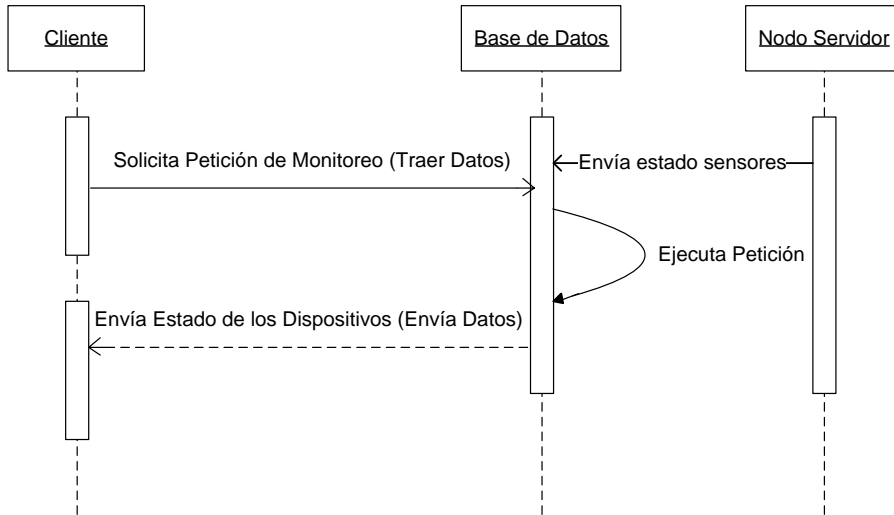
## Vista. Procesos

## Diagrama. Secuencia

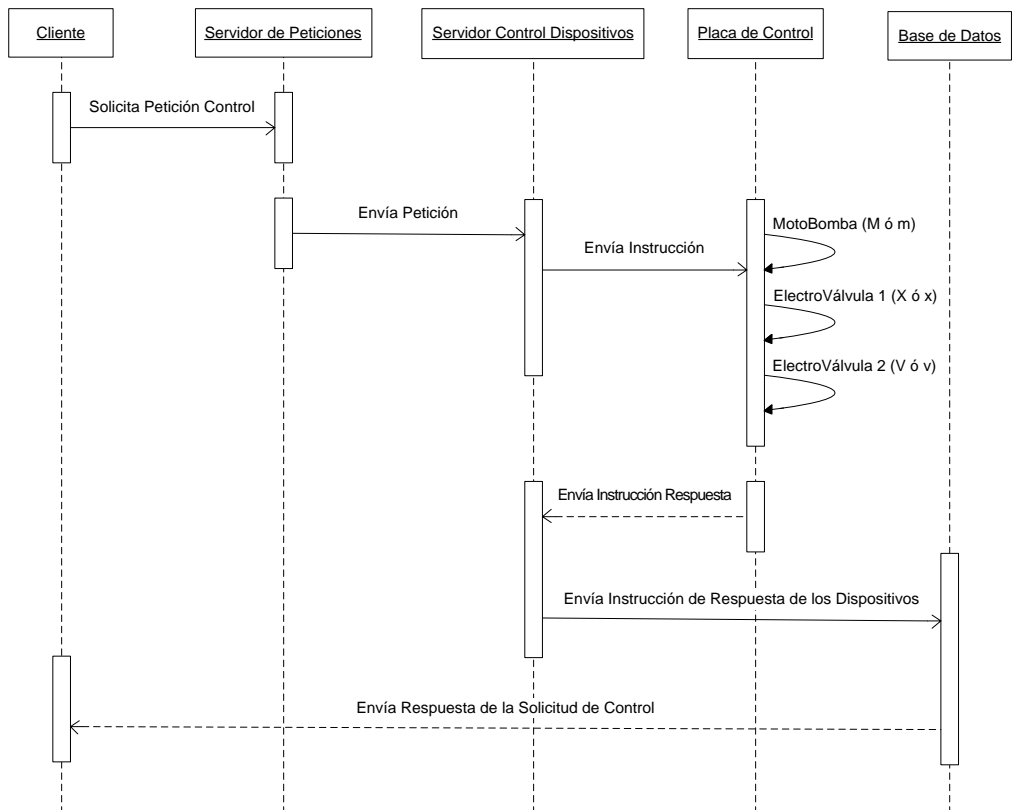
### INGRESO AL SERVIDOR CANANVALLE



## MONITOREO DEL SENSORES


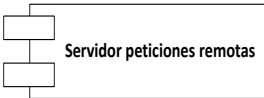


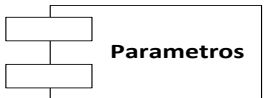
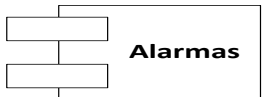
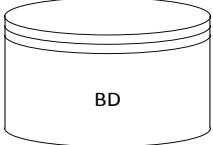


## CONTROL DISPOSITIVOS DEL RIEGO POR GOTEO



**e. Consistencia en la cantidad de vistas de la arquitectura**

## Descripción de los componentes

Nombre del componente	descripción	Componentes relacionados
 <p><b>Servidor Control</b></p>	Componente que permite el control de los dispositivos del sistema de riego por goteo y luego ser enviado el estado a la base de datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Servidor Control</li> <li>- Servidor de base de datos</li> </ul>
 <p><b>Servidor peticiones remotas</b></p>	Componente que actúa receptando las peticiones de los usuarios para el control manual o por alarmas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Servidor Control</li> <li>- Servidor de peticiones remotas</li> </ul>
 <p><b>Servidor Monitoreo Control</b></p>	Componente que interactúa con la base de datos para obtener el estado actual de los dispositivos de riego.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Servidor de base de datos</li> </ul>
 <p><b>Servidor Monitoreo</b></p>	Componente que recolecta la información del estado actual de los sensores.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Servidor de monitoreo</li> <li>- Servidor de base de datos</li> </ul>
 <p><b>Parametros</b></p>	Componente activa o desactiva los dispositivos de riego dependiente de los parámetros de los sensores.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Servidor Control</li> <li>- Servidor Parámetros</li> <li>- Servidor de base de datos</li> </ul>
 <p><b>Alarmas</b></p>	Componente que se encarga activa o desactiva los dispositivos de riego dependiente de los intervalos de tiempo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Servidor Control</li> <li>- Alarmas</li> <li>- Servidor de base de datos</li> </ul>
 <p><b>BD</b></p>	Componente que se almacenan todas las actividades de control y monitoreo del sistema.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Todos los componentes</li> </ul>

## **CAPÍTULO IV**

### **PROPUESTA: Red inalámbrica de sensores a través de 6LoWPAN para una agricultura de precisión aplicado en la Hacienda Cananvalle de la ciudad de Ibarra**

#### **4.1. Introducción**

En este capítulo se detallan todos los pasos a seguir para el ensamblaje e instalación de la propuesta, brindando al usuario un sistema que permite controlar y monitorear el riego por goteo desde cualquier lugar donde se encuentre a través de las nuevas tecnologías de información y comunicación como es el estándar 6LoWPAN. Además para tomar decisiones de control según los parámetros ambientales como: temperatura, humedad del ambiente, humedad del suelo, luminosidad lluvia e integrar más sensores, para activar o desactivar el riego en la zona donde requieran los cultivos, permitiendo optimizar el agua de riego, puesto que en el sector agrícola es escaso. De esta manera, abre la posibilidad de producir durante todo el año y en inviernos irregulares, evitando la pérdida en los cultivos y así incrementando la disponibilidad de alimentos.

El proceso para comprobar el adecuado funcionamiento de la red inalámbrica de sensores a través de 6LoWPAN para una agricultura de precisión, aplicado en la Hacienda Cananvalle de la ciudad de Ibarra, se divide en 3 fases:

- a. Implementación del riego por goteo
- b. Implementación de la red inalámbrica de sensores basados en 6LoWPAN

- c. Implementación del software del sistema de monitoreo y control del riego por goteo.

#### 4.2. Implementación del riego por goteo

El sistema de riego por goteo de la propuesta está ubicada en la hacienda Cananvalle y se consideró 2 parcelas de terreno de 180m<sup>2</sup> y otro de 200m<sup>2</sup> como se definió en el literal 3.3.1 Para esto se consideran los siguientes elementos:

1. *Reservorio de agua:* debido a la escasez de agua de riego en el sector de Cananvalle, se han implementado reservorios de almacenamientos para su posterior distribución en diferentes parcelas.



**Figura 35. Reservorio de agua de riego**

2. *Sistema de bombeo:* encargado de absorber el agua de riego del reservorio y distribuir en las tuberías principales. Para la implementación de las dos parcelas se utiliza una motobomba de 0.5 HP, monofásico 110V y esta debe contener válvulas de pie y filtros para que no se taponen las cintas de goteo.



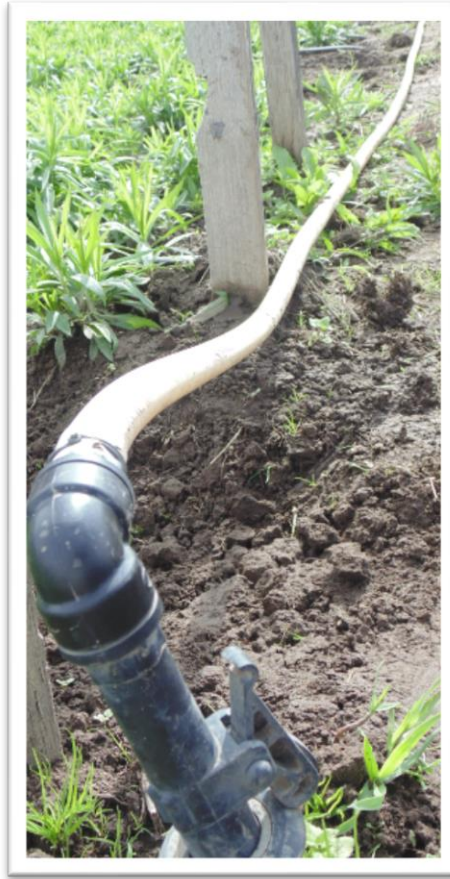
**Figura 36. Sistema de bombeo**

3. *Electroválvulas*: permite la activación o desactivación de paso de agua de riego hacia las tuberías principales, por lo tanto el funcionamiento del riego por goteo. Para la implementación se utiliza electroválvulas vía 90° que funcionan a 110v.



**Figura 37. Electroválvulas**

4. *Tubería principal*: tubería de PVC enterrada, que permite el paso del agua de riego hacia las cintas de goteo.



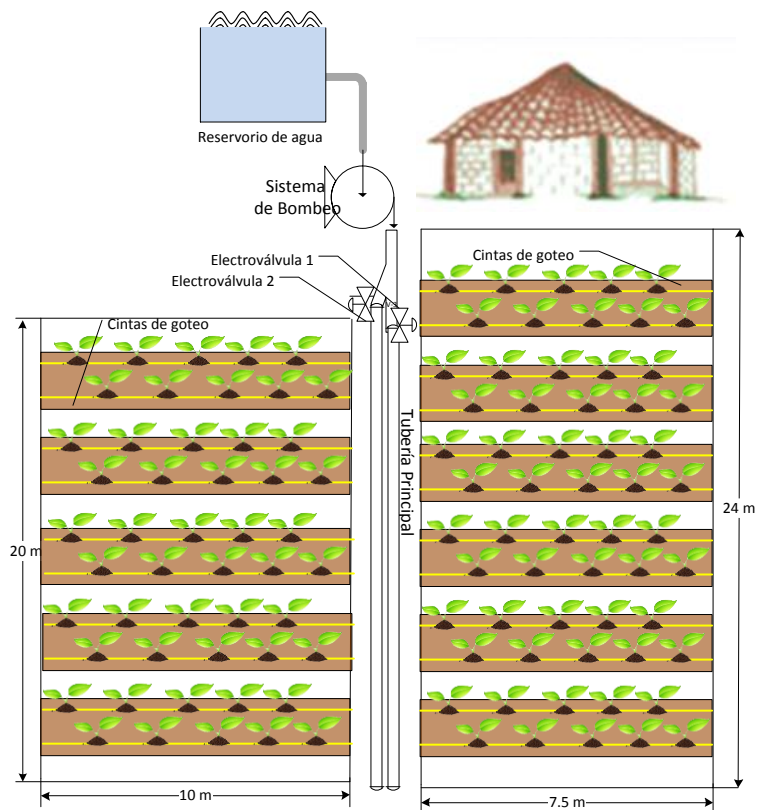
**Figura 38. Tubería principal**

5. *Cintas de goteo*: proporciona el agua de riego en forma de gotas a las plantas a cultivar, permitiendo el ahorro significativo de agua.



**Figura 39. Cintas de goteo**

6. *Plano del sistema de riego por goteo:* permite visualizar los elementos del sistema de riego por goteo.



**Figura 40. Dispositivos de riego por goteo**

### **4.3. Implementación de la red inalámbrica de sensores basados en 6LoWPAN**

La implementación de la red inalámbrica de sensores a través de 6LoWPAN toma como base los parámetros analizados en el literal 3.1.1 y se compone de 3 nodos clientes, 1 nodo servidor y router-border.

Se describe la topología física y lógica para la implementación:

#### **4.3.1. Topología de red física**

##### **Posicionamiento de los nodos en parcelas.**

La topología seleccionada para la WSN a través de 6LoWPAN es una red en malla, de esta manera los nodos garantizan siempre la cobertura, y el envío y recepción de mensajes.

En el posicionamiento de los nodos se ha buscado mantener un área de cobertura óptima por cada uno de los nodos, permitiendo obtener un tipo de red escalable y redundante, de tal manera que la información recolectada por los sensores viaje a través de la red hasta llegar al nodo Servidor sin que haya ningún tipo de pérdida de información que pueda afectar a un adecuado y correcto monitoreo de los sensores del área agrícola.

Tomando en cuenta que el alcance en exteriores de los nodos CM5000 es de 120 metros es conveniente no exceder esta distancia entre el nodo Servidor y Clientes, por tal motivo se ha distribuido los nodos de la siguiente manera:

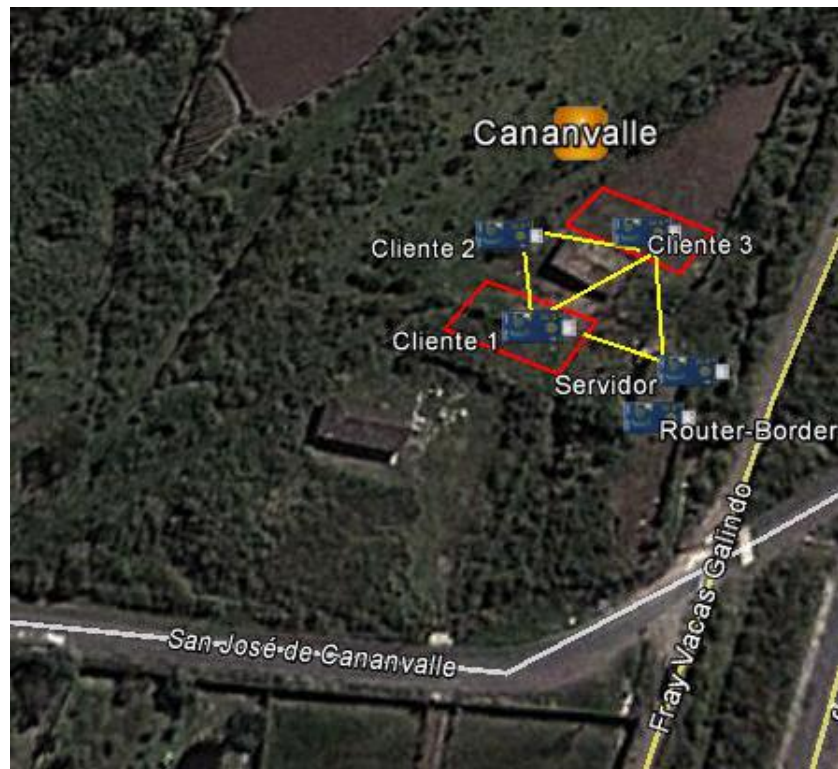


Figura 41. Distribución de nodos en el área agrícola

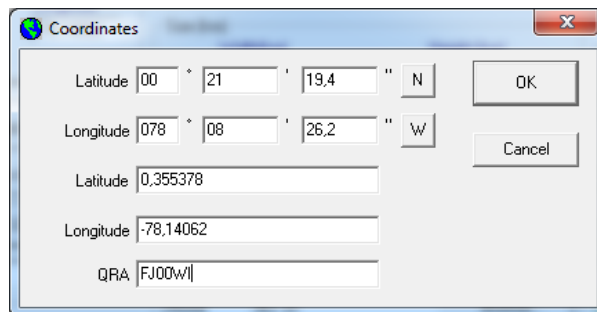
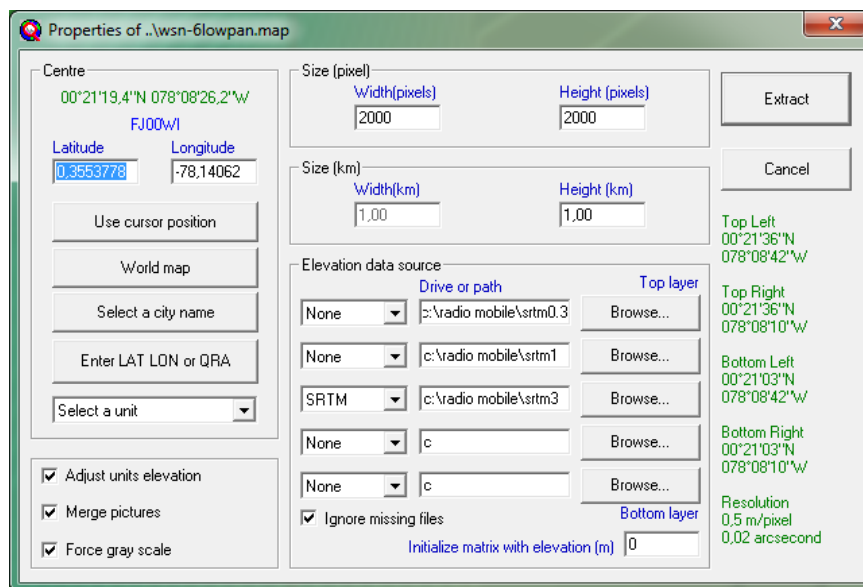
NODO	LATITUD	LONGITUD
Sector Cananville	0°21'19.36"N	78° 8'26.23"O
Servidor	0°21'17.86"N	78° 8'25.38"O
Cliente 1	0°21'18.13"N	78° 8'26.30"O
Cliente 2	0°21'18.72"N	78° 8'26.56"O
Cliente 3	0°21'18.73"N	78° 8'25.74"O

### Estudio de cobertura con Radio Mobile.

En este punto se analizará en nivel de cobertura de cada uno de los nodos, a fin de garantizar una comunicación, transmisión y recepción de la información entre los nodos clientes y el servidor.

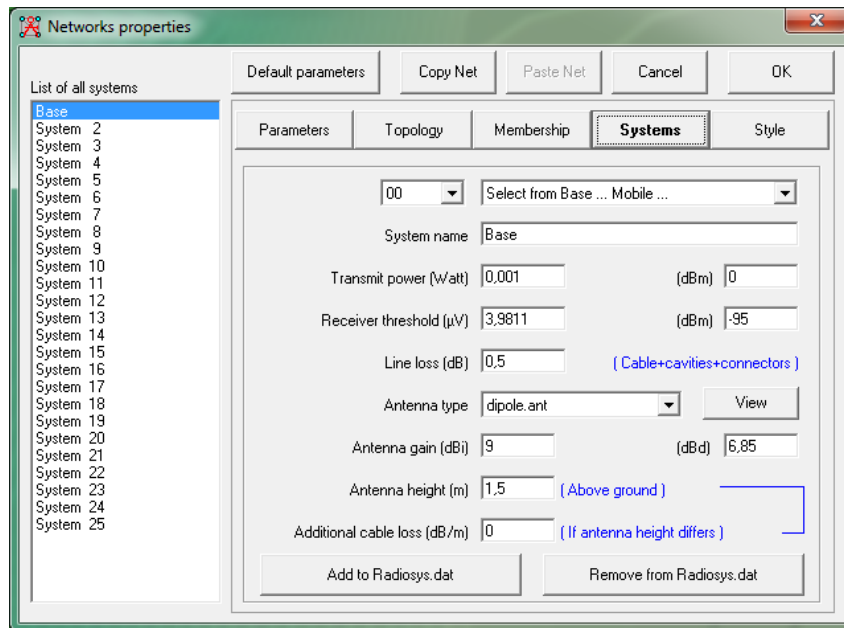
Para ello vamos a utilizar un software de simulación como es el Radio Mobile, el cual nos permite conocer y entender cómo se comportará el espectro radioeléctrico que irradiará cada uno de los nodos, siendo las variables a considerarse la ubicación

con los parámetros de latitud y longitud de cada nodo. Para ello se debe extraer los mapas del sector de Cananville, modificando las propiedades y colocando las coordenadas del sitio donde se ubicaran los nodos:



**Figura 42. Propiedades del Mapa - Sector Cananville**

Para la configuración de las antenas en el software, se deben considerar los parámetros del datasheet de los módulos CM5000: la ganancia de las antenas tipo dipole de 9dBi, potencia de transmisión configurable de -25 dBm a 0 dBm, umbral de recepción de -95dBm. La frecuencia de operación que utiliza el canal 26 según especificaciones de 802.15.4 es entre 2.4775 GHz y 2.4825 GHz y la polarización vertical.



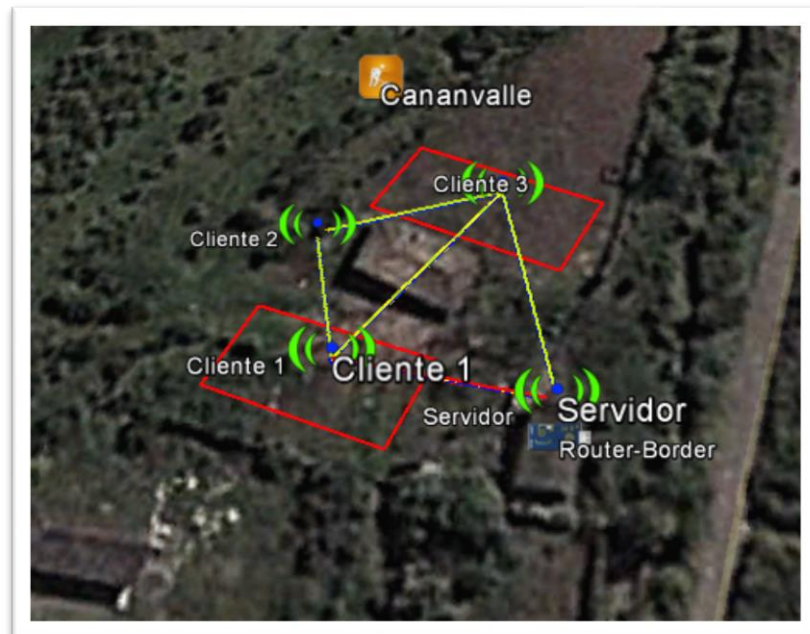
**Figura 43. Propiedades de la red y sus parámetros**

Una vez realizada la ubicación de los nodos con la ayuda de la herramienta de Google Earth que nos proporciona las coordenadas de altitud y longitud de donde irán los nodos, se puede observar la figura de la topología en malla como iría físicamente en Radio Mobile.



**Figura 44. Topología en malla diseñada en Radio Mobile**

Una vez diseñado la ubicación en Radio Mobile, se exporta la topología a Google Earth para ver el posicionamiento de los nodos clientes y servidor.



**Figura 45. Ubicación de los nodos en Google Earth**

La altura de los ubicación de los nodos se aplica 1.24 metros definidas en el cálculo de la Zona Fresnel visto en el literal 3.1.1, además habrá que tener en consideración la elevación del terreno para disminuir las interferencias y aumentar la calidad de la señal, para asegurar el envío y recepción de los datos de los sensores.

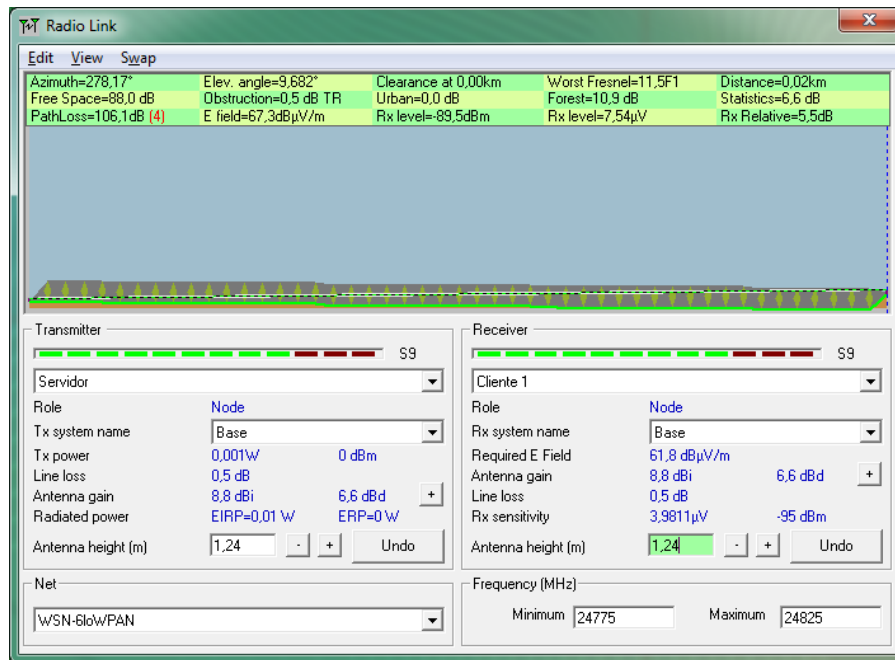


Figura 46. Altura de los nodos

Para poder determinar la cobertura entre todos los nodos, el software permite visualizar en forma gráfica el radio de cobertura de las antenas y la comunicación entre el Servidor y los clientes.

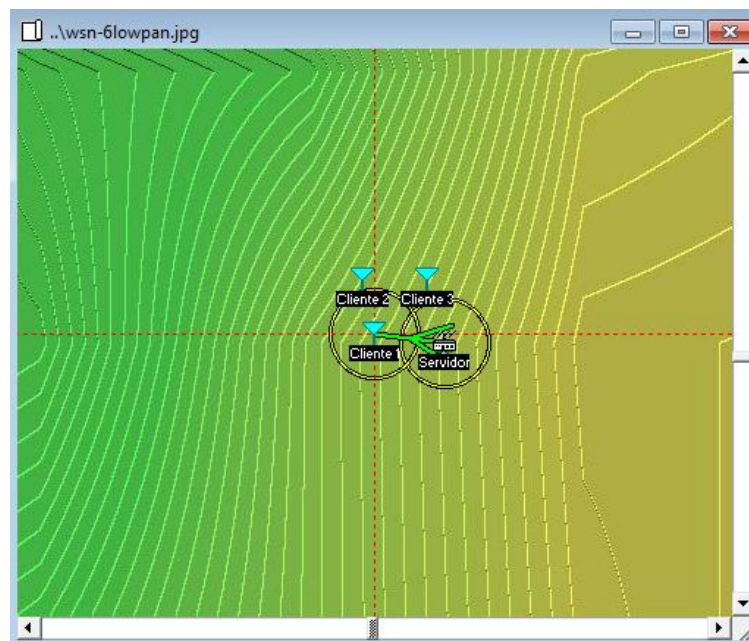


Figura 47. Área de cobertura de los nodos Servidor y Cliente 1.

Una vez analizada y determinada la ubicación de manera distribuida, se procede a la instalación de los nodos cliente, servidor y sensores externos de humedad de suelo y lluvia.

### Instalación de nodo cliente 1 - Sensores externos

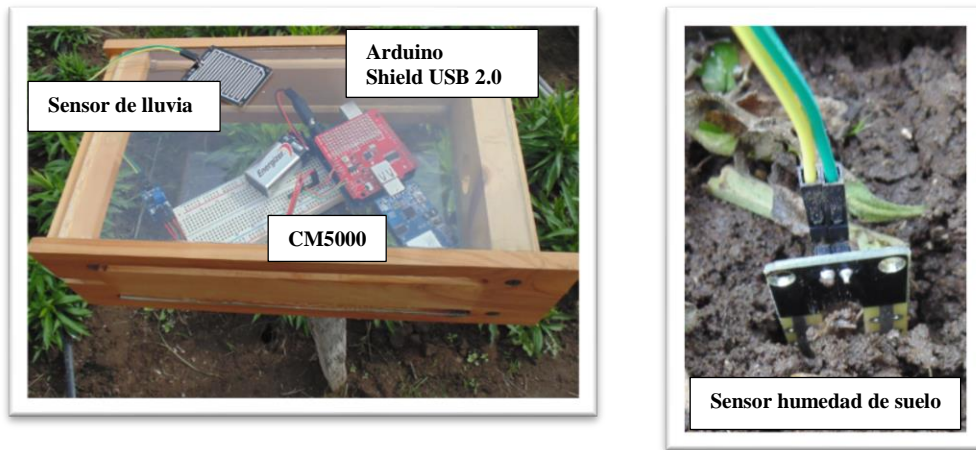


Figura 48. Nodo cliente, sensores externos

### Altura de nodo cliente 1 - Sensores externos



Figura 49. Altura de nodo cliente 1

### Instalación y altura del nodo cliente 3 - Sensores internos

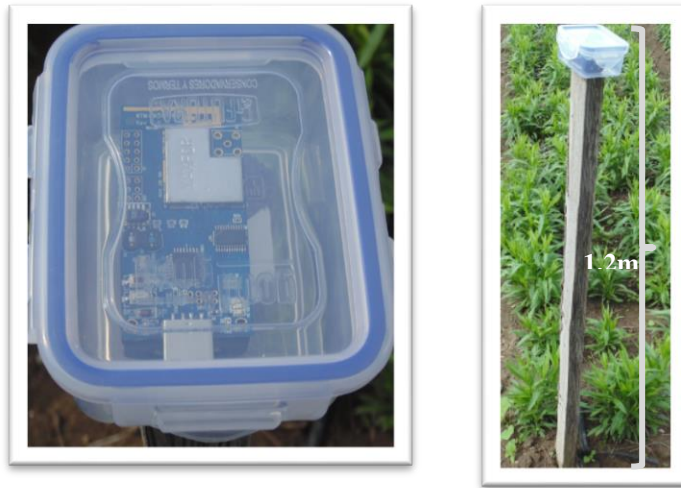


Figura 50. Instalación y altura de nodo cliente 3

#### 4.3.2. Topología lógica

##### Direccionamiento


En base a la tabla de direccionamiento del literal 3.1.1 el nodo servidor será el encargado de recolectar a través la información del estado de los sensores de los nodos cliente de la red y utilizando el Sistema Operativo Contiki se procede a la carga del desarrollo del firmware en los nodos CM5000 el cual asigna la IPv6 como se muestra en la siguiente tabla:

```

user@instant-contiki: ~/contiki-2.7/examples/ipv6/rpl-udp
File Edit View Search Terminal Help
dp-server-rpl2.upload
make: msp430-gcc: Command not found
msp430-objcopy udp-server-rpl2.sky -O ihex udp-server-rpl2.ihex
make IHEXFILE=udp-server-rpl2.ihex sky-reset sky-upload
make[1]: msp430-gcc: Command not found
make[1]: Entering directory `/home/user/contiki-2.7/examples/ipv6/rpl-udp'
make -k -j 20 sky-reset-sequence
make[2]: msp430-gcc: Command not found
make[2]: Entering directory `/home/user/contiki-2.7/examples/ipv6/rpl-udp'
../../tools/sky/msp430-bsl-linux --telosb -c /dev/ttyUSB6 -r
MSP430 Bootstrap Loader Version: 1.39-telos-7
Use -h for help
Reset device ...
Done
make[2]: Leaving directory `/home/user/contiki-2.7/examples/ipv6/rpl-udp'
make -j 20 sky-upload-sequence
make[2]: msp430-gcc: Command not found
make[2]: Entering directory `/home/user/contiki-2.7/examples/ipv6/rpl-udp'
++++ Erasing /dev/ttyUSB6
MSP430 Bootstrap Loader Version: 1.39-telos-7
Use -h for help
Mass Erase...
Transmit default password ...
++++ Programming /dev/ttyUSB6
MSP430 Bootstrap Loader Version: 1.39-telos-7
Invoking BSL...
Transmit default password ...
Current bootstrap loader version: 1.61 (Device ID: f16c)
Changing baudrate to 38400 ...
Program ...
44777 bytes programmed.
++++ Resetting /dev/ttyUSB6
MSP430 Bootstrap Loader Version: 1.39-telos-7
Use -h for help
Reset device ...
Done

```

Figura 51. Mensajes de grabación del CM5000

NODO	DIRECCIÓN IPv6 – CONTIKI OS	FOTO
Servidor	<pre> MAC 00:12:74:00:13:cb:f8:8c Contiki 2.6 started. Node id is not set. CSMA ContikiMAC, channel check rate 8 Hz, radio channel 26 Tentative link-local IPv6 address fe80:0000:0000:0000:0212:7400:13cb:f88c Starting 'UDP server process' UDP server started created a new RPL dag Server IPv6 addresses: aaaa::212:7400:13cb:f88c aaaa::ff:fe00:1 fe80::212:7400:13cb:f88c Created a server connection with remote address :: local/remote port 5678/8765 </pre>	

<b>Cliente 1</b>	<pre>MAC 00:12:74:00:13:cc:1f:ed Contiki 2.6 started. Node id is not set. CSMA ContikiMAC, channel check rate 8 Hz, radio channel 26 Tentative link-local IPv6 address fe80:0000:0000:0000:0212:7400:13cc:1fed Starting 'UDP client process' 'Sense Web' 'Web server Cananvalle' UDP client process started aaaa::212:7400:13cc:1fed fe80::212:7400:13cc:1fed Created a connection with the server aaaa::ff:fe00:1 local/remote port 8765/5678</pre>	
<b>Cliente 2</b>	<pre>MAC 00:12:74:00:13:cb:0a:92 Contiki 2.6 started. Node id is not set. CSMA ContikiMAC, channel check rate 8 Hz, radio channel 26 Tentative link-local IPv6 address fe80:0000:0000:0000:0212:7400:13cb:0a92 Starting 'UDP client process' 'Sense Web' 'Web server Cananvalle' UDP client process started aaaa::212:7400:13cb:a92 fe80::212:7400:13cb:a92 Created a connection with the server aaaa::ff:fe00:1 local/remote port 8765/5678</pre>	
<b>Cliente 3</b>	<pre>MAC 00:12:74:00:13:cc:01:70 Contiki 2.6 started. Node id is not set. CSMA ContikiMAC, channel check rate 8 Hz, radio channel 26 Tentative link-local IPv6 address fe80:0000:0000:0000:0212:7400:13cc:0170 Starting 'UDP client process' 'Sense Web' 'Web server Cananvalle' UDP client process started aaaa::212:7400:13cc:170 fe80::212:7400:13cc:170 Created a connection with the server aaaa::ff:fe00:1 local/remote port 8765/5678</pre>	

**Tabla 1. Direcciones IPv6 en los nodos cliente y servidor**

```
user@instant-contiki: ~/contiki-2.6/examples/ipv6/rpl-udp
File Edit View Search Terminal Help
Hello_from_the_server!_(191)
client{1,24,6203,0,962,3229,0,3}
Hello_from_the_server!_(192)
client{2,25,5891,0,944,3160,0,3}
Hello_from_the_server!_(193)
client{3,23,6438,0,925,3109,0,3}
Hello_from_the_server!_(194)
client{3,23,6430,0,925,3109,0,3}
Hello_from_the_server!_(195)
client{1,25,6111,0,960,3224,0,3}
Hello_from_the_server!_(196)
client{2,26,5718,0,941,3146,0,3}
Hello_from_the_server!_(197)
client{1,25,6074,0,961,3224,0,3}
Hello_from_the_server!_(198)
client{2,26,5626,0,938,3146,0,3}
Hello_from_the_server!_(199)
client{3,23,6430,0,925,3109,0,3}
Hello_from_the_server!_(200)
client{1,25,6096,0,958,3220,0,3}
Hello_from_the_server!_(201)
```

**Figura 52. Recepción en el servidor el estado de los sensores de los clientes**

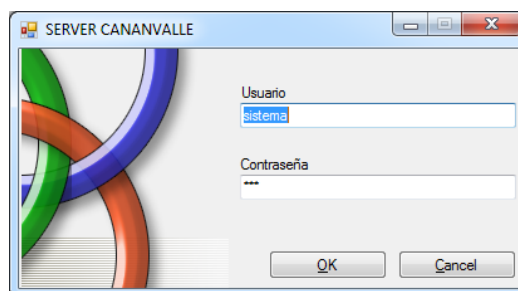
#### **4.4. Implementación del software del sistema de monitoreo y control del riego por goteo.**

Se presenta las interfaces de las dos arquitecturas analizadas en el literal 3.1.3, donde se puede observar la implementación del software que se desarrolló y permite al Usuario de la Hacienda Cananvalle, monitorear o controlar el sistema de riego por goteo a través de 6loWPAN:

##### **1. Arquitectura del sistema de monitoreo y control del sistema de riego por goteo a través de UDP-6loWPAN.**

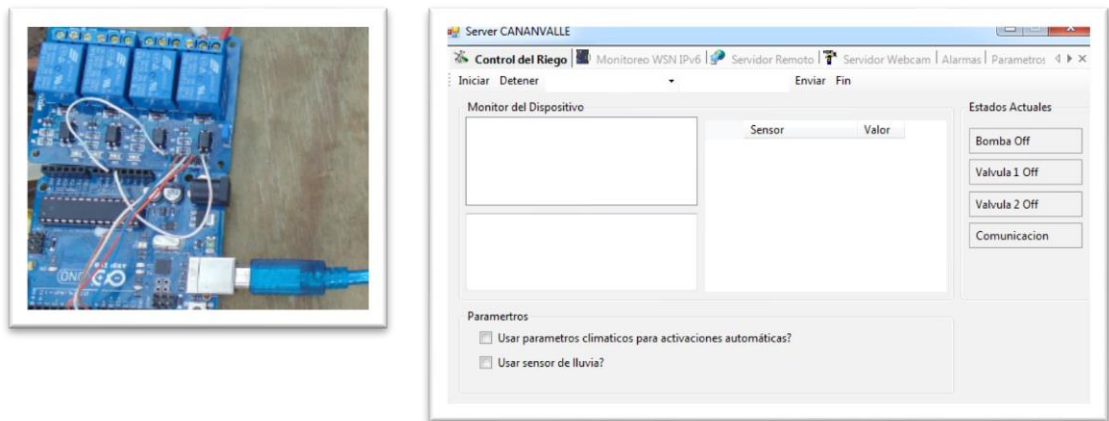
En la primera arquitectura se desarrolla una aplicación basada en las definiciones del estándar ISO/IEC/IEEE 42010-2011, en el que se denomina Servidor Cananvalle, este es el encargado de gestionar las peticiones de los clientes, permitiendo la gestión de control del sistema de riego por goteo sea de forma manual o programado en diferentes alarmas; y permitiendo observar el monitoreo del estado actual de los sensores o del historial del almacenamiento de éstos en la base de datos.

El ingreso al Servidor Cananvalle, se lo realiza con la autenticación de usuario y contraseña:



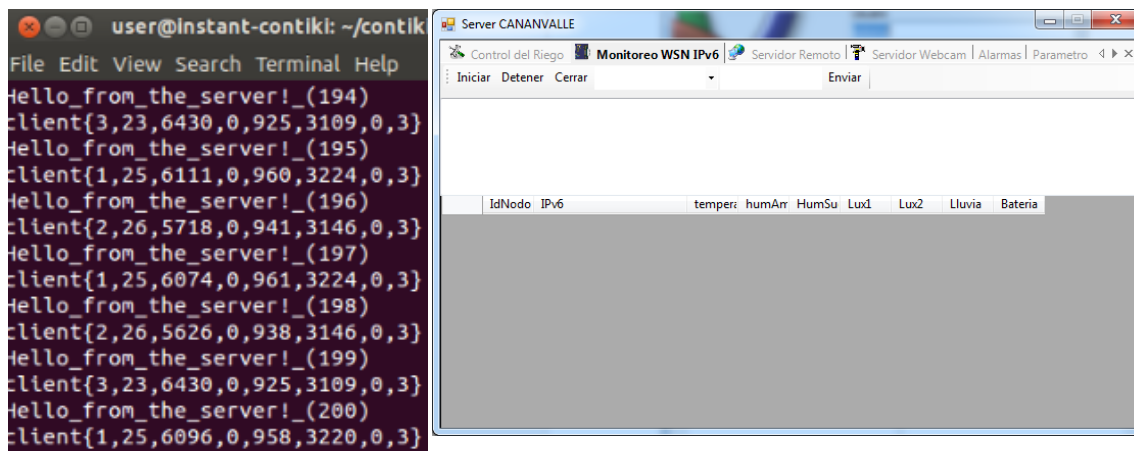
**Figura 53. Autenticación de usuario**

Dentro de la aplicación del Servidor Cananvalle se presenta un módulo denominado Servidor de Control de Dispositivos, encargado de enviar y recibir las peticiones de control, que por medio del Arduino Uno y la comunicación RS-232 activar o desactivar los dispositivos del sistema de riego por goteo.



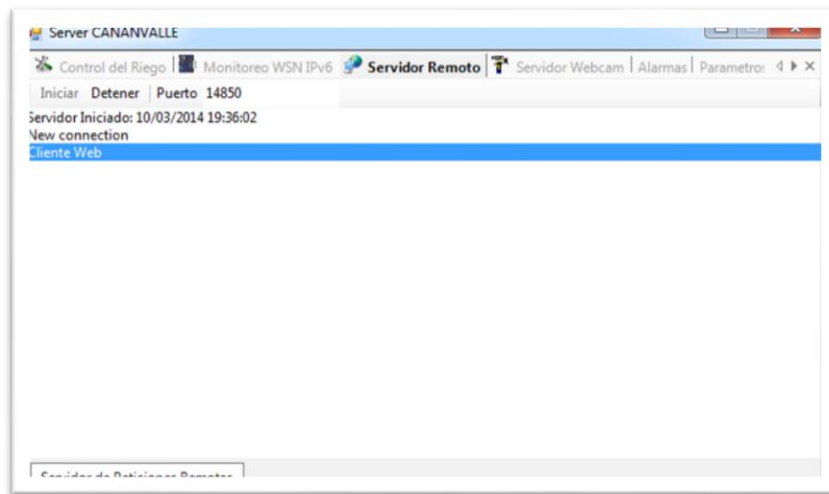
**Figura 54. Servidor de control de dispositivos de riego por goteo**

El monitoreo de los sensores que receipta el nodo servidor, se lo presenta y almacena a la base de datos a través del Servidor de Monitoreo WSN-IPv6.



**Figura 55. Servidor de Monitoreo WSN-IPv6**

Las peticiones de los clientes que por medio de una página web deseen controlar remotamente los dispositivos de riego por goteo, el Servidor de Peticiones Remotas a través de sesiones sockets. Los sockets establecen los mecanismos de comunicación entre el Cliente externo y el Servidor Cananvalle, permitiendo la recepción de la información de control, para luego ser enviado al Servidor de Control de Dispositivos para su activación o desactivación del riego.



**Figura 56. Servidor de peticiones remotas**

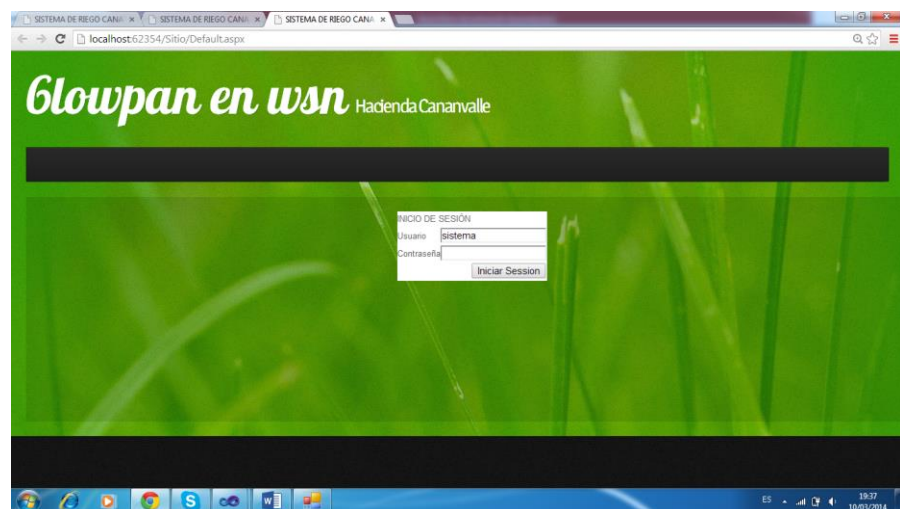
El Servidor de Alarmas permite la configuración de parámetros de tiempo para la activación como: hora de inicio, hora de finalización, fecha, el dispositivo de riego que va activar; todas estas se guardan en la base de datos y el Servidor de Alarmas está constantemente monitoreando para activar o desactivar la alarma y posteriormente el sistema de riego por goteo; permite también la aplicación bloquear la alarma si no lo desea.

	Codigo	Hora de Inicio	Hora de Finalizacion	Fecha	Bloqueada	Valvula	Tipo de Alarma
*					<input type="checkbox"/>		

**Figura 57. Servidor de Alarmas**

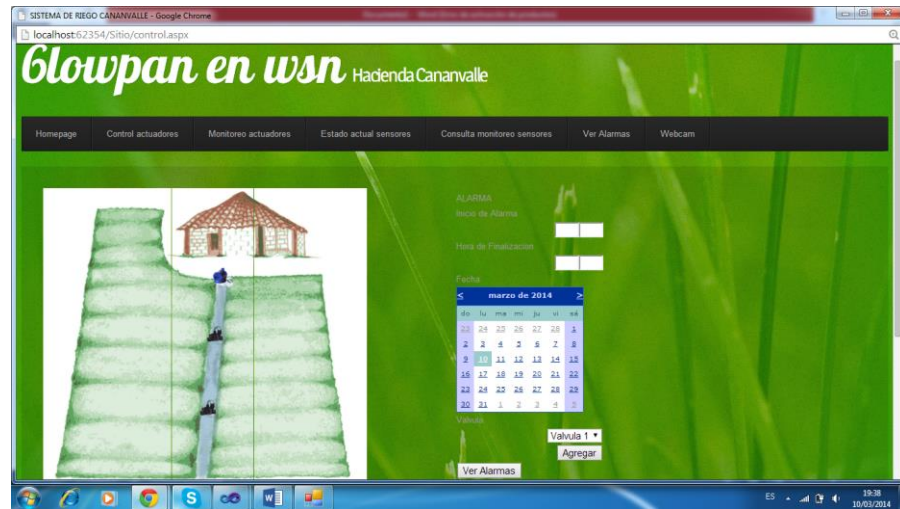
Los clientes que accedan por medio de una página web, disponen de una interfaz gráfica del plano de las parcelas que es adaptable a cualquier dispositivo sea Pc, laptop, Tablet o dispositivo inteligente. Las opciones de control y monitoreo se las describe a continuación:

- *Autenticación:* acceden solo el usuario registrados en el sistema para la gestión.



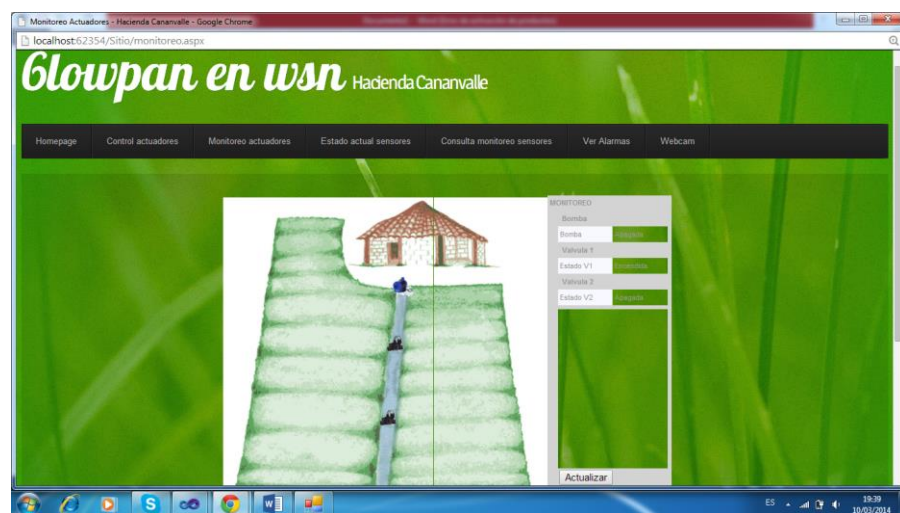
**Figura 58. Autenticación de usuario web**

- *Control actuadores*: controlan los dispositivos de riego por goteo visualizados en forma manual o por la programación de alarmas.



**Figura 59. Interfaz de control de actuadores de riego por goteo**

- *Monitoreo actuadores*: permite monitorear el estado actual de los dispositivos de Riego.



**Figura 60. Interfaz de monitoreo de actuadores de riego por goteo**

- *Monitoreo estado actual de sensores*: permite extraer de la base de datos el estado actual de la medición de los sensores, permitiendo ser filtrados

por su dirección IP o Id de Nodo, y ser visualizados en una interfaz desarrollada con plugin Google Charts.



- *Consulta historial de mediciones de sensores:* permite consultar en la base de datos y presentar informes del historial de las mediciones de los sensores, para una posterior toma de decisiones.



## 2. Arquitectura del sistema de monitoreo del sistema de riego por goteo a través de HTTP- TCP -6loWPAN.

En los dispositivos embebidos CM 5000, se programó una arquitectura que permita el usuario de la hacienda Cananvalle, monitorear el estado actual de los sensores directamente en el nodo. El nodo cuenta con el servidor web y muestra una página con el estado actual de las mediciones; para acceder a los nodos clientes se debe contar con un dispositivo border-router, permitiendo la comunicación entre una terminal IPv6 y la red inalámbrica de sensores a través de 6loWPAN, esto direcciona los paquetes IPv6 de la WSN-6loWPAN al internet.

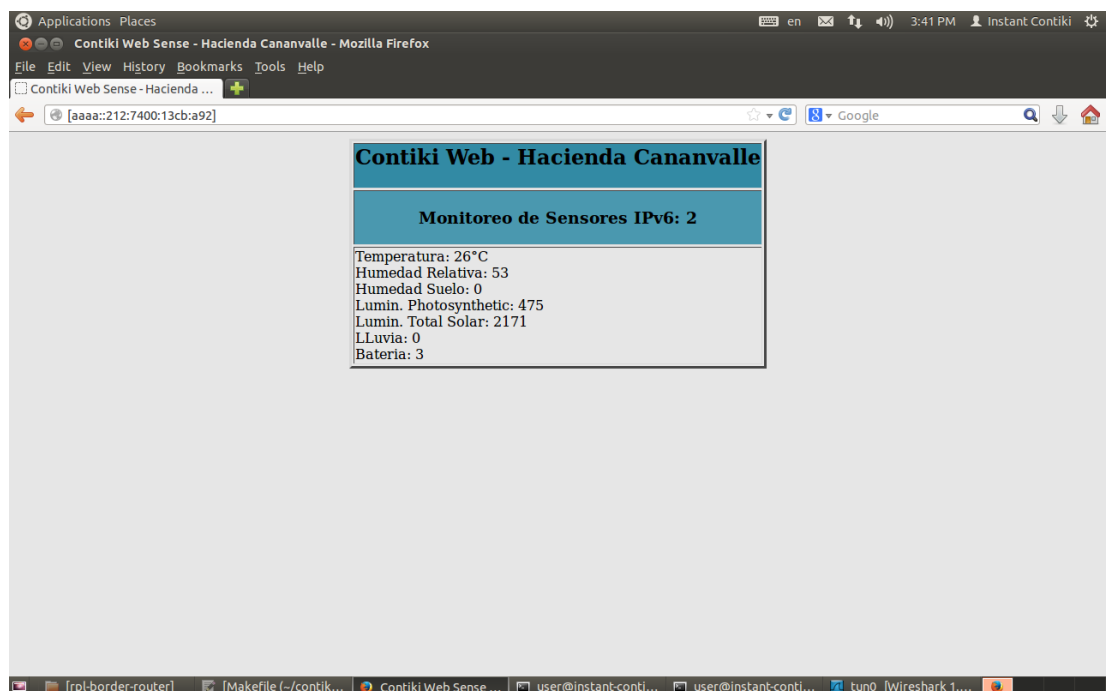


Figura 61. Interfaz web en nodo cliente

## CAPÍTULO 5

### ANÁLISIS DE LA WSN A TRAVÉS DE 6LoWPAN

#### 5.1 Características de la WSN basada en 6LoWPAN

Una vez realizada y demostrada la implementación se describe las siguientes características de las redes inalámbricas de sensores a través de 6LoWPAN:

- El estándar 6LoWPAN permite la integración entre las redes inalámbricas de sensores y las redes TCP/IP, ya que permite recolectar información del estado de los sensores enfocado a la agricultura y posteriormente ser presentados de manera más directa al usuario o administrador mediante redes TCP/IP.
- Empleando el sistema operativo de tiempo real apoyado en software libre como es el caso de Contiki, los dispositivos embebidos que soportan el estándar 6LoWPAN se integran a las redes basadas en IPv6, permitiendo conectividad y gestión de la red inalámbrica de los sensores.
- Al ser un estándar 6LoWPAN permite integrarse al Internet con el objetivo de ser una plataforma escalable e interoperable, ya que proporciona una capa de adaptación para formar parte de las redes IPv6.
- Una de las topologías que se puede implementar es de tipo mesh, ya que por medio del protocolo de enrutamiento RPL, el cual construye una tabla de enrutamiento para conocer los caminos que debe seguir para llegar su nodo raíz, éste es implementado en redes de bajo consumo de energía y mínimos recursos de memoria.

- El estándar 6LoWPAN hace que los dispositivos empleados en la red inalámbrica se alimenten y funcionen por medio de baterías, ya que permite un bajo consumo de energía.

## 5.2 Análisis de resultados

Para el análisis de los resultados obtenidos en la implementación de la red de sensores inalámbricos a través de 6LoWPAN, se lo realiza por medio del hardware USB-Dongle UD1000, para la programación del módulo se lo realiza con el Sistema Operativo TinyOS implementando un sniffer para la captura del tráfico y para el análisis se utiliza las herramientas Z-Monitor y Wireshark, permitiendo monitorear el estándar 6LoWPAN y el estándar IEEE 802.15.4 para comprobar su funcionamiento.



**Figura 62. USB-Dongle UD1000**

Con el uso de estas herramientas se puede obtener los siguientes resultados:

- *Respuesta UART-USB de cada nodo:* Cada uno de los nodos tanto cliente como servidor, cuando realiza el booteo del sistema operativo Contiki se visualiza la inicialización los valores como Id-Nodo, dirección MAC, dirección IPv6 link-local y global, canal de comunicación y el número de puertos de comunicación ya sea UDP o TCP.

```

./../../tools/sky/serialedump-linux -b115200 /dev/ttyUSB6
connecting to /dev/ttyUSB6 (115200) [OK]
>[0]gocooBB[ocooRime started with address 0.18.116.0.19.204.1.112
MAC 00:12:74:00:13:cc:01:70 Contiki 2.7 started. Node id is not set.
CSMA ContikiMAC, channel check rate 8 Hz, radio channel 26
tentative link-local IPv6 address fe80:0000:0000:0000:0212:7400:13cc:0170
starting 'UDP client process' 'Sense Web' 'Web server Cananvalle'
UDP client process started
aaaa::212:7400:13cc:170
fe80::212:7400:13cc:170
created a connection with the server aaaa::ff:fe00:1 local/remote port 8765/5678

```

**Figura 63. Inicialización de parámetros 6loWPAN**

- *Transmisión de datos ICMPv6*: Para verificar la conectividad entre el nodo cliente y el servidor, se implementa una aplicación border-router, el cual crea una interfaz tipo túnel entre la red 6loWPAN y la red local. Por medio de mensajes ICMP se puede verificar la conectividad entre los nodos y el descubrimiento de todos vecinos.

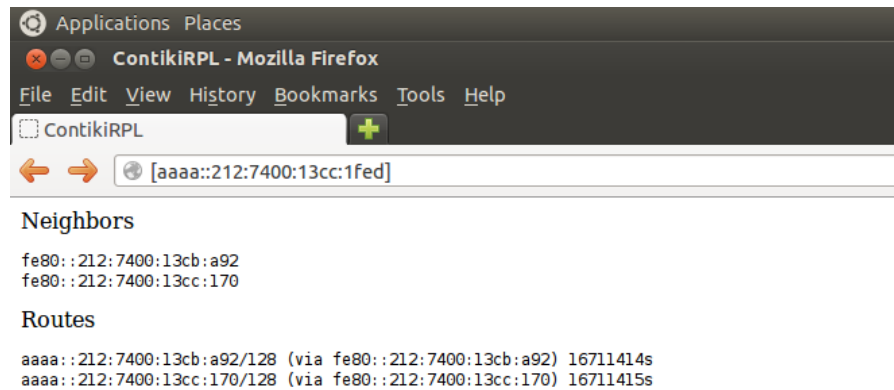
```

Applications Places
Contiki Web Sense - Hacienda Cananvalle - Mozilla Firefox
user@instant-contiki: ~/contiki-2.7/examples/ipv6/rpl-border-router
File Edit View Search Terminal Help
tun0      Link encap:UNSPEC HWaddr 00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00
-00
    inet addr:127.0.1.1 P-t-P:127.0.1.1 Mask:255.255.255.255
    inet6 addr: fe80::1/64 Scope:Link
    inet6 addr: aaaa::1/64 Scope:Global
    UP POINTOPOINT RUNNING NOARP MULTICAST MTU:1500 Metric:1
    RX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
    TX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
    collisions:0 txqueuelen:500
    RX bytes:0 (0.0 B) TX bytes:0 (0.0 B)

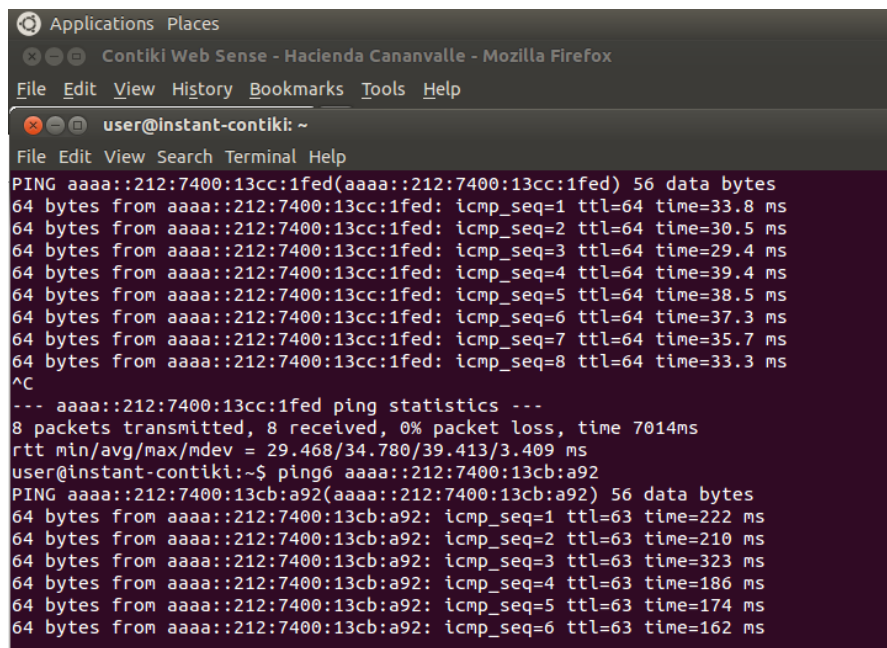
*** Address:aaaa::1 => aaaa:0000:0000:0000
Got configuration message of type P
Setting prefix aaaa::
Server IPv6 addresses:
  aaaa::212:7400:13cc:1fed
  fe80::212:7400:13cc:1fed
slip-bridge: Destination off-link but no route src=aaaa::50:2f31:2e31:d0a:486f:7
374 dst=3a20:5b61:6161:613a:3a32:3132:3a37:3430
slip-bridge: Destination off-link but no route src=aaaa::743a:205b:6161:6161:3a3
a:3231 dst=323a:3734:3030:3a31:3363:623a:6139:325d

```

**Figura 64. Inicialización de parámetros de border-router**



**Figura 65. Descubrimientos de nodos de la red 6LoWPAN**



**Figura 66. Conectividad en el nodo cliente**

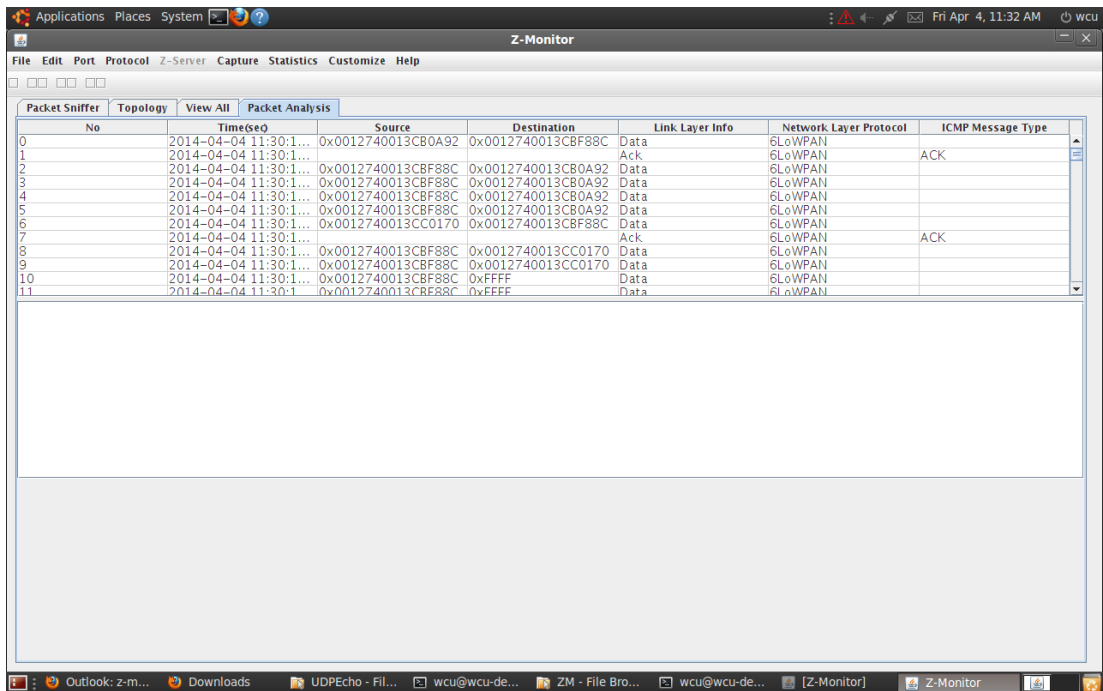


Figura 67. Captura de tráfico ICMP por medio de Z-Monitor

- *Transmisión de datos UDP:* en el diseño permite la transmisión de los datos por medio de mensaje UDP, el cual envía una trama del estado de los sensores al nodo servidor para posteriormente ser analizado, almacenado en la base de datos y entregado al usuario.

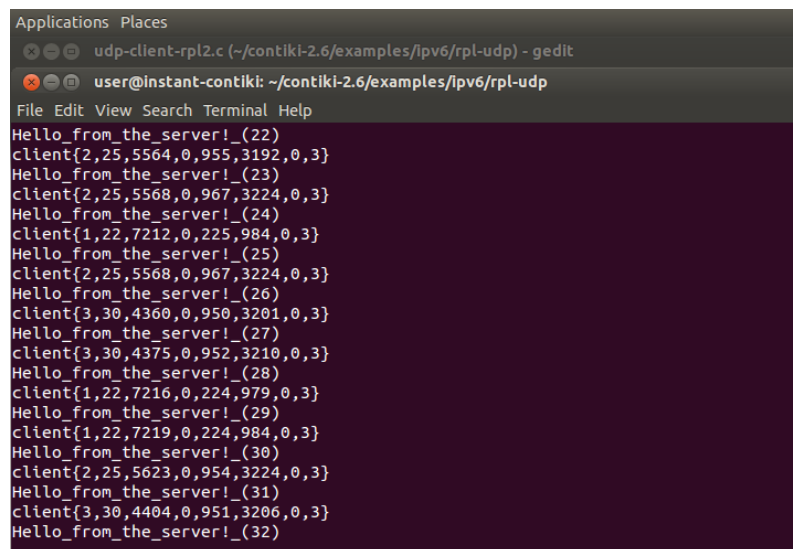


Figura 68. Envío de mensajes UDP al servidor del estado de los sensores

Server CANANVALLE

Control del Riego | Monitoreo WSN IPv6 | Servidor Remoto | Servidor Webcam | Alarmas | Parametro

Iniciar Detener Cerrar COM5 Enviar

```
{3,24,56,0,387,2180,0,3}client{2,27,47,0,407,1955,0,3}client{3,24,56,0,385,2180,0,3}client{2,27,47,0,438,2079,0,3}client{3,24,57,0,415,2240,0,3}client{2,27,47,0,438,2079,0,3}client{3,24,56,0,410,2217,0,3}client{2,28,46,0,444,2093,0,3}client{3,24,56,0,414,2235,0,3}client{2,28,45,0,445,2102,0,3}client{3,24,55,0,414,2240,0,3}client{2,28,45,0,445,2097,0,3}client{3,24,55,0,414,2240,0,3}client{2,28,47,0,441,2106,0,3}client{3,24,60,0,430,2254,0,3}client{2,28,45,0,444,2106,0,3}client{3,24,57,0,428,2249,0,3}client{2,28,44,0,445,2097,0,3}client{3,24,55,0,388,2157,0,3}client{2,28,44,0,448,2116,0,3}client{3,24,55,0,391,2171,0,3}
```

	IdNodo	IPv6	temper	humAmr	HumSu	Lux1	Lux2	Lluvia	Bateria
▶	3	aaaa::212:7400:13cc:170	24	58	0	468	2263	0	3
	2	aaaa::212:7400:13cb:a92	25	54	0	490	2300	0	3
	3	aaaa::212:7400:13cc:170	24	57	0	470	2267	0	3
	2	aaaa::212:7400:13cb:a92	25	55	0	378	2093	0	3
	3	aaaa::212:7400:13cc:170	24	57	0	372	2019	0	3
	2	aaaa::212:7400:13cb:a92	25	55	0	377	2079	0	3
	3	aaaa::212:7400:13cc:170	24	57	0	375	2028	0	3
	2	aaaa::212:7400:13cb:a92	25	55	0	461	2258	0	3
	3	aaaa::212:7400:13cc:170	24	57	0	444	2244	0	3
	2	aaaa::212:7400:13cb:a92	25	54	0	455	2198	0	3
	3	aaaa::212:7400:13cc:170	24	57	0	455	2267	0	3
	2	aaaa::212:7400:13cb:a92	25	53	0	450	2157	0	3

Figura 69. Recepción de los datos en el servidor.

Applications Places

tun0 [Wireshark 1.7.2 (SVN Rev 42506 from /trunk)]

Filter: udp

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
52	72.93081100	aaaa::212:7400:13cb:a92	aaaa::ff:fe00:1	UDP	78	Source port: ultraseek-http Destination port: rrac
53	83.42538400	aaaa::212:7400:13cb:a92	aaaa::ff:fe00:1	UDP	78	Source port: ultraseek-http Destination port: rrac
54	92.41557100	aaaa::212:7400:13cb:a92	aaaa::ff:fe00:1	UDP	78	Source port: ultraseek-http Destination port: rrac
55	99.39268600	aaaa::212:7400:13cc:170	aaaa::ff:fe00:1	UDP	78	Source port: ultraseek-http Destination port: rrac
92	113.6132030	aaaa::212:7400:13cb:a92	aaaa::ff:fe00:1	UDP	78	Source port: ultraseek-http Destination port: rrac
93	114.5062020	aaaa::212:7400:13cc:170	aaaa::ff:fe00:1	UDP	78	Source port: ultraseek-http Destination port: rrac
94	119.1212390	aaaa::212:7400:13cc:170	aaaa::ff:fe00:1	UDP	78	Source port: ultraseek-http Destination port: rrac

Internet Protocol Version 6, Src: aaaa::212:7400:13cc:170 (aaaa::212:7400:13cc:170), Dst: aaaa::ff:fe00:1 (aaaa::ff:fe00:1)

- Version: 6
- Traffic class: 0x00000000
- FlowLabel: 0x00000000
- Payload length: 38
- Next header: UDP (17)
- Hop limit: 63
- Source: aaaa::212:7400:13cc:170 (aaaa::212:7400:13cc:170)
- Destination: aaaa::ff:fe00:1 (aaaa::ff:fe00:1)

User Datagram Protocol, Src Port: ultraseek-http (8765), Dst Port: rrac (5678)

- Source port: ultraseek-http (8765)
- Destination port: rrac (5678)
- Length: 38
- Checksum: 0x06c0 [validation disabled]

Data (30 bytes)

Data: 1a09ba5a267a19096f58f3701909af5affff70348e71de6f...

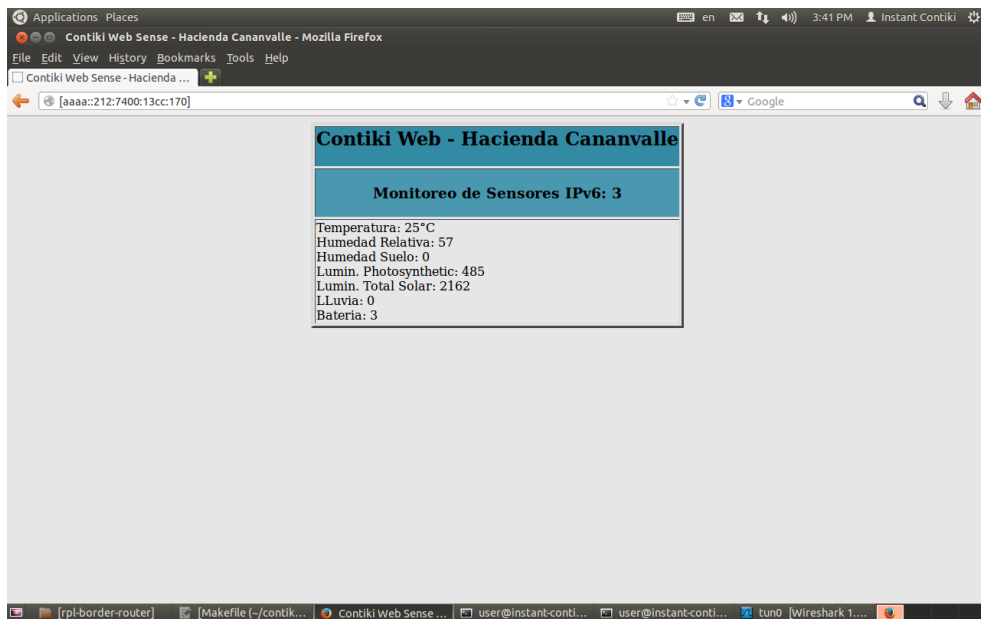
[Length: 30]

```
0000 60 00 00 00 00 26 11 3f aa aa 00 00 00 00 00 00  .t...p.....
0010 02 12 74 00 13 cc 01 70 aa aa 00 00 00 00 00 00  ..Zz...gX.p...Z
0020 00 00 00 ff fe 00 00 01 22 3d 16 2e 00 26 06 c0  ..p4.qo..n4^t
0030 1a 09 ba 5a 26 7a 19 09 67 58 f3 70 19 09 af 5a  ...Zz...gX.p...Z
0040 ff ff 70 34 8e 71 de 6f ff ff 0e 34 5e 74  ..p4.qo..n4^t
```

Ready to load or capture Packets: 94 Displayed: 17 Marked: 0 Dropped: 0 Profile: Default

Figura 70. Captura de tráfico UDP en la comunicación entre nodo cliente y servidor

- *Transmisión de datos TCP:* en la transmisión de los datos TCP que se define en la segunda arquitectura, permitiendo visualizar por medio de un sitio web que se encuentra cargado en el hardware CM-5000, el estado actual de los sensores directamente en el módulo.



**Figura 71. Página web con el estado actual de los sensores**

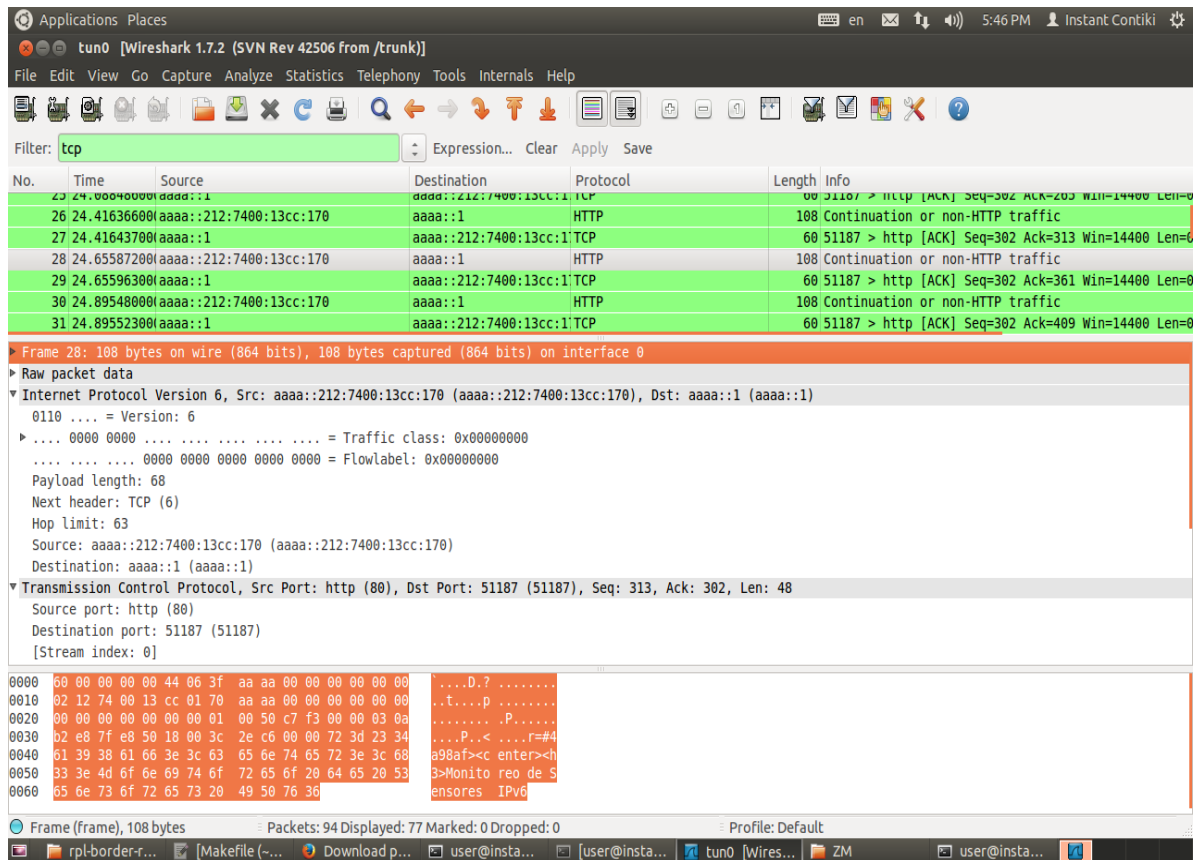


Figura 72. Captura de tráfico TCP en wireshark

### 5.3 Presupuesto referencial.

Para determinar el presupuesto referencial del proyecto se considera el costo de cada uno de los elementos utilizados en la demostración, divididos de la siguiente manera:

- *Costo del sistema de riego por goteo:*

CANTIDAD	ELEMENTOS	PVP	TOTAL
1	Bomba 1/2HP Monofásica	45	45
1	Válvula de pie 1"	17	17
2	Electroválvula Monofásica	40	80
7	Tubo PVC E/C 32mm x 1.25 MPA x 6MTS	6,91	48,37
250	Manguera goteo	0,35	87,5
1	Filtro corto	41,2	41,2
1	Accesorios	60	60
	<b>TOTAL</b>		<b>379,07</b>

Tabla 2. Costo del sistema de riego por goteo

- *Costo de la red inalámbrica de sensores:*

<b>CANTIDAD</b>	<b>ELEMENTOS</b>	<b>PVP</b>	<b>TOTAL</b>
4	MTM-EPS5000-MSP	120	480
1	UD1000 Dongle	120	120
2	Arduinos Uno	35	70
1	Escudo USB Arduino	45	45
1	Sensor de Suelo	15	15
1	Sensor de precipitación de lluvia	15	15
8	Baterías de 1.5V	0,9	7,2
3	Baterías de 9 V	6	18
3	Cajas	3	9
1	Elementos electrónicos en general	20	20
1	Regulador de voltaje	30	30
3	Cable USB	15	45
1	Módulo de relés de 4 canales	30	30
1	Impuestos Aduaneros	200	200
1	Impuestos de salida de divisas	45	45
1	IVA	6	6
1	Flete	60	60
	<b>TOTAL</b>		<b>1215,2</b>

**Tabla 3. Costo de la WSN**

- *Costo de equipos:*

<b>CANTIDAD</b>	<b>ELEMENTOS</b>	<b>PVP</b>	<b>TOTAL</b>
1	Servidor web y aplicaciones	900	900
	Laptop Core i5 2.1 GHz, 4GB Memoria, 500 GB HDD, 14.5"		
1	Celular Nokia Lumia 520	180	180
1	Tablet Samsung 2	450	450
	<b>TOTAL</b>		<b>1530</b>

**Tabla 4. Costo de equipos**

- *Costo de software de desarrollo:*

<b>CANTIDAD</b>	<b>ELEMENTOS</b>	<b>PVP</b>	<b>TOTAL</b>
1	Sistema Operativo Contiki	0	0
1	Sistema Operativo TinyOS	0	0
1	Visual Studio Express	0	0
1	SQL Server Express	0	0
1	Google Charts	0	0
	<b>TOTAL</b>		<b>0</b>

**Tabla 5. Costo de software de desarrollo**

- **Costo del desarrollo:** El costo del desarrollo se toma el valor de la remuneración mensual en el mercado con el sueldo básico de 340 USD.

<b>Días</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>Costo/Día</b>	<b>TOTAL</b>
90	Estudio de Herramientas	17	1530
15	Análisis de arquitecturas	17	255
60	Desarrollo de la aplicación	17	1020
15	Implementación	17	255
15	Pruebas	17	255
	<b>TOTAL</b>		<b>3315</b>

**Tabla 6. Costo del desarrollo**

- **Costo total del proyecto:** para determinar el costo total del proyecto se suma cada costo que involucro realizar cada etapa de la implementación de la red inalámbrica de sensores a través de 6loWPAN, dando un total de 6439,27 USD entre el hardware y software implementado.

<b>COSTO EN CADA ETAPA</b>	<b>VALOR</b>
Costo del sistema de riego por goteo:	379,07
Costo de la red inalámbrica de sensores	1215,2
Costo de equipos	1530
Costo de software de desarrollo	0
Costo del desarrollo	3315
<b>TOTAL</b>	<b>6439,27</b>

**Tabla 7. Costo total del proyecto**

## **5.4 Comprobación de la hipótesis**

### **Hipótesis:**

Los Agricultores podrán controlar y monitorizar remotamente el manejo del riego basada en la tecnología WSN a través de 6LoWPAN, para reponer de agua al suelo donde realmente necesitan los cultivos en épocas de verano, inviernos irregulares y escasez de agua. Con ello permitirá obtener una diversificación y optimización de la producción agrícola.

### **Comprobación:**

La comprobación de la hipótesis es factible; una vez implementado el proyecto, permite al agricultor controlar y monitorear el sistema de riego por goteo por medio de la red inalámbrica de sensores bajo 6LoWPAN y reponer el agua al suelo en la zona donde realmente necesita, así optimizando el agua que está recolectada en el reservorio, ya que la falta de agua de riego es evidente con los turnos asignados en sector de Cananvalle. El control y el monitoreo lo puede realizar local o remota por cualquier dispositivo ya sea PC, Tablet o móvil, ya que la aplicación está basado con en la tecnología Web y plantillas adaptivas; con las interfaces gráficas la gestión y administración es rápida y fácil para el agricultor, porque puede observar la imagen virtual del terreno y la posición de los dispositivos de riego por goteo que se encuentran instalados.

Una limitante para el pequeño sector agrícola, son los escasos recursos económicos para acceder a este tipo de sistemas, debido a que la tecnología requerida es muy alto porque inicialmente se requiere de una inversión

importante para la instalación del sistema de riego por goteo, en la implementación de la red inalámbrica de sensores y en el software de control y monitoreo. La adquisición de un computador o de un dispositivo móvil, también tiene su costo; pero se considera que la inversión de hoy es un beneficio para el mañana.

A pesar de las limitantes económicas se considera que la implantación del proyecto proporciona algunos beneficios al agricultor como: mejores opciones de optimización del uso del agua de riego; el terreno implementado con este tipo de sistemas hace que aumente su plusvalía; la disponibilidad absoluta y libertad de manejar el riego, sin depender del lugar donde se encuentre.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

- La Pontificia Universidad Católica del Ecuador al contar con una estructura académica moderna, permitió que la Maestría en Redes de Comunicación aporte a la investigación con este proyecto de titulación, cumpliendo así con su visión de formando seres humanos capacitados y comprometidos al servicio de la comunidad y plasmando en su misión de formar de profesionales con responsabilidad social.
- Al finalizar el proyecto la maestría permitió que, al aplicar los conocimientos adquiridos se puede innovar en la construcción de este tipo de sistemas tecnológicos aplicando conceptos del área de las redes de comunicación, electrónica y desarrollo de sistemas; logrando cumplir el perfil de egresado de ser competitivo en los aspectos técnicos y de aplicación de la tecnología en el entorno nacional e internacional.
- El proyecto contribuye a que la sociedad cuente con sistemas tecnológicos para el control y monitoreo del riego, permitiendo optimizar el agua a diferentes sectores, logrando reponer el agua al suelo en la zona donde realmente necesitan los cultivos para su crecimiento y producción, y así, aumentar la economía de este sector; la propuesta aporta a la política del estado de establecer lineamientos

integradores de conservación, preservación y manejo del agua, y a uno de los objetivos en lo referente a soberanía alimentaria dentro del plan de buen vivir.

- Las redes de sensores inalámbricas a través de 6LoWPAN son infraestructuras compuesta por elementos como hardware y software de comunicación, con el objetivo de recolectar datos del estado de los sensores de la agricultura de precisión para posteriormente procesarlos y actuar bajo ciertas condiciones.
- 6LoWPAN permite la comunicación del protocolo IPv6 a través de redes de baja potencia como es 802.15.4, integrando una capa de adaptación al modelo TCP/IP y así permitir la fragmentación, compresión de la cabecera sobre estas redes. Los protocolos para transportar la información puede ser UDP y TCP, siendo UDP el más utilizado, porque no requiere que los datos sean retransmitidos, hace su máximo esfuerzo y así consume menos recursos de los sistemas embebido utilizados.
- El uso de hardware libre en el país se está masificando, debido a que través de estos dispositivos y en particular las placas CM5000 permite la construcción de varios proyectos de manera más rápida con la utilización de Sistemas Operativos de tiempo real como lo es Contiki y TinyOS, que facilita la implementación de uIPV6 y administra el buen uso de los recursos del sistema embebido, por su poca capacidad de memoria y procesamiento.
- Los sistemas embebidos implementados puede ejecutar múltiples procesos para la cual hayan sido programados, además permite el uso libre de los pines de

expansión como entradas y salidas, conversores análogo digitales para la adquisición de datos de otros sensores que no viene integrado.

- El consumo de agua de riego con este tipo de propuesta es menor que a los tradicionales sistemas de riego por surcos o inundación, evidenciando un eficiente ahorro del 70 a 85 %, esto es importante cuando el factor limitante para la agricultura es el agua.
- La red inalámbrica de sensores a través de 6LoWPAN se puede implementar a cualquier tipo de cultivo y dimensiones, porque permite la escalabilidad e integración de más módulos y sensores a la red, sin dejar a un lado el costo que este implica; con ello facilita la labor de control y monitoreo, además da la posibilidad al agricultor de estar informado en todo momento de lo que sucede en su terreno, para poder actuar directamente sobre los dispositivos de riego.

## **6.2 Recomendaciones**

- La PUCE debe seguir aportando y apoyando este tipo de investigaciones de carácter social para el sector agrícola porque cuenta con pocas soluciones tecnológicas a sus necesidades diarias de producción.
- El programa de la maestría debe integrar a los seminarios temas como el Internet de las Cosas ya que aparecen nuevos estándares y protocolos de comunicación y así estar actualizados en temas relevantes de actualidad.

- El sector de la población agrícola debe estar capacitado en temas de tecnologías de información y electrónica para poder manipular y realizar mantenimientos al sistema propuesto para su adecuado funcionamiento y así alargar la vida útil del hardware ya que la inversión es alta.
- El uso de hardware libre en el país aún es costoso para la implementación de este tipo de sistemas, por los altos costos de importación y pago de aranceles de la aduana, es por eso que se debería exonerar de estas tasas para poder desarrollar sistemas eficientes.
- Buscar otras fuentes de energía como la solar para alimentar a la placa Arduino y el escudo USB, porque con el uso de batería no abastece para un funcionamiento prolongado.
- Si se desea implementar con sensores industriales y precisión, se debe considerar ciertos factores como ver la disponibilidad en nuestro medio y el costo que implica comprar e importar.
- Para la compra de otros sistemas embebidos se debe considerar qué diseño de la red es escalable y éstos deben integrarse a la red inalámbrica de sensores, de manera que se pueda incrementar o robustecer el sistema original sin tener que hacer mayores cambios en su programación.
- Para mejorar la productividad del sector agrícola sean grandes o pequeños hay que considerar incrementar el capital de inversión para la compra de tecnología, este gasto en una plazo determinado se convierte en un beneficio, en vista que

nos permite optimizar, reducir tiempos y costos de operación. Siempre se debe tomar en cuenta que la inversión de hoy es un beneficio para el mañana.

## GLOSARIO

<b>6loWPAN</b>	Estándar que posibilita el uso de IPv6 sobre redes basadas en el estándar IEEE 802.15.4. Hace posible que dispositivos como los nodos de una red inalámbrica puedan comunicarse directamente con otros dispositivos IP
<b>AUTENTICIDAD</b>	Verificación de la identidad de una persona o de un proceso, para acceder a un recurso o para poder realizar cualquier actividad. También se aplica a la verificación de identidad de origen de un mensaje.
<b>BIT</b>	Cada uno de los dígitos binarios 0 ó 1 utilizados en los sistemas para almacenar información. Sinónimo de dígito binario.
<b>BROWSER</b>	Un programa utilizado para navegar por sitios Internet, llamado también navegador.
<b>CAMPO</b>	Tierra cultivable. Terreno de sembríos. Tierra fuera de un poblado.
<b>CONTIKI OS</b>	Sistema operativo de código abierto desarrollado para uso en un número de pequeños sistemas pasando desde ordenadores
<b>CONTROLADOR</b>	Es un dispositivo que se emplea para el gobierno de uno o varios procesos.
<b>CULTIVO</b>	Toda clase de especie vegetal cultivada en un campo, generalmente con fines económicos.
<b>DHCP</b>	Dynamic Host Configuration Protocol. Un protocolo TCP/IP que asigna dinámicamente una dirección IP a un computador.
<b>DNS</b>	Domain Name Server. El servidor local o servidor distante que decide de los nombres de dominio en las direcciones IP.
<b>ENTRADA/SALIDA (E/S)</b>	Pertenece a la entrada, salida o a ambas entre un sistema y un dispositivo.
<b>ETHERNET</b>	Protocolo de comunicación entre computadoras de

una red local.

<b>GATEWAY</b>	El término gateway puede referirse a una puerta de enlace, un nodo en una red informática que sirve de punto de acceso a otra red. Una pasarela, un dispositivo dedicado a intercomunicar sistemas de protocolos incompatibles.
<b>HTML</b>	Lenguaje utilizado para la creación de documentos de hipertexto e hipermedia. Es el estándar usado en el World Wide Web.
<b>HTTP</b>	Protocolo para transferir archivos o documentos hipertexto a través de la red. Se basa en una arquitectura cliente/servidor
<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	Relación expresada en porcentajes, entre la cantidad de vapor de agua que hay en un volumen determinado de aire y la cantidad que habría si el aire estuviese saturado a la misma temperatura.
<b>IEEE 802.15.4</b>	estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos
<b>INTERNET</b>	Es una red de redes de computadoras conectadas a nivel mundial y se emplea para el intercambio de información.
<b>INTEROPERABILIDAD</b>	Permite que terminales de distintos fabricantes se comuniquen con los mismos servicios de la red móvil.
<b>IP</b>	Internet Protocol, Protocolo de Internet. Es la parte del protocolo TCP/IP encargada del direccionamiento (identificación del origen y destino).
<b>IPV6</b>	Protocolo de Internet versión 6, definida en el RFC 2460 y diseñada para reemplazar a Internet Protocol version 4
<b>LAN</b>	Local Área Network o Red Local. Se refiere al ámbito físico de una red local.
<b>LAPTOP</b>	Un ordenador portátil (conocido en inglés como laptop o notebook) es un pequeño ordenador personal móvil.

<b>LLN</b>	Low power and Lossy networks, redes de Baja potencia y con pérdida
<b>MICROCONTROLADOR</b>	Circuito integrado de alta escala de integración que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador.
<b>NAT</b>	Es un estándar de Internet que le permite a una red local (LAN) usar un grupo de direcciones de IP para el tráfico interno y otro grupo de direcciones para el tráfico externo
<b>PAQUETES</b>	La unidad de datos que se envía a través de una red.
<b>PARCELA</b>	Porción de un terreno.
<b>PVC</b>	Nombre comercial de un plástico cuya composición se basa en la utilización de vinilo y clorados. Es el más fácil de reciclar entre todos los materiales plásticos.
<b>RPL</b>	Protocolo de ruteo RPL Routing Over Low power and Lossy networks.
<b>TCP-IP</b>	Transmission Control Protocol/Internet Protocol. Es un protocolo de comunicación de datos. El primero se encarga de dividir la información en paquetes de origen, y para luego recomendarla al destino, mientras que el segundo se responsabiliza de dirigirla adecuadamente a través de la red.
<b>TINYOS</b>	Sistema operativo de código abierto basado en componentes para redes de sensores inalámbricas.
<b>TOPOGRAFÍA</b>	Representación gráfica de la configuración de una parcela de terreno en forma de mapa o plano, que se muestra por medio de curvas de nivel, es decir la elevación o relieve de la superficie del terreno.
<b>TUBERÍA</b>	Conducto formado por tubos donde se lleva el agua.
<b>USART</b>	Adaptador de comunicaciones serie síncrona y asíncrona.
<b>USB</b>	Bus Serie Universal. Permite la conexión y desconexión de los periféricos con el equipo en marcha.

<b>VÁLVULA.</b>	Dispositivo instalado en una tubería para controlar la magnitud y/o la dirección del flujo de agua.
<b>WIRELESS</b>	Conexión inalámbrica Conexión entre distintos computadores o variados dispositivos compatibles utilizando ondas de radio en vez de medios físicos.
<b>WSN</b>	Wireless Sensor Network, red de nodos equipados con sensores, que colaboran en una tarea común.

## BIBLIOGRAFÍA

- 802.15.4a-2007, I. (2007). *IEEE Standard for PART 15.4: Wireless MAC and PHY Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs): Amendment 1: Add Alternate PHY*.
- agriculturadeprecision.org. (2013). *Agricultura de precisión*. Obtenido de <http://www.agriculturadeprecision.org/>
- Alejandro Cama, Emiro De la Hoz, Dora Cama. (2012). *Las redes de sensores inalámbricos y el Internet de las cosas*. La plata: Revista INGE CUC.
- Antonio Ruiz, José Molina. (2010). *Automatización y telecontrol de sistemas de riego*. Murcia: Marcombo.
- Ara, L. M. (2012). *Neighbor Discovery Proxy-Gateway for 6LoWPAN-based Wireless Sensor Networks*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- Barros, T. (2012). *IPv6 en las LLNs*. Obtenido de <http://www.ipv6.cl/tendencias/caso-de-estudio-enero-2012>
- Caprile, S. (2009). *Equisbí: Desarrollo de aplicaciones con comunicación remota basadas en módulos zigbee y 802.15.4*. Buenos Aires: GAE.
- Carlos Lago González; Juan Carlos Sepúlveda Peña; Rogelio Barroso Abreu; Félix Óscar Fernández Peña; Francisco Maciá Pérez; Javier Lorenzo. (2011). *Sistema para la generación automática de mapas de rendimiento. Aplicación en la agricultura de precisión*. Obtenido de [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292011000100009&script=sci\\_arttext#aut5](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292011000100009&script=sci_arttext#aut5)

- Chile, W. (2012). *Wireless Sensor Network*. Obtenido de <http://www.wsnchile.cl/>
- Cianca, K. (2012). *Topologías de las redes con sensores*. Obtenido de [http://lasredesconsensores.blogspot.com/2012\\_07\\_01\\_archive.html](http://lasredesconsensores.blogspot.com/2012_07_01_archive.html)
- Comillas, U. P. (2012). *DESARROLLO DE UN SISTEMA DOMÓTICO BASADO EN 6LoWPAN*. Obtenido de <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/503e2c74dc2c2.pdf>
- Dave, E. (2011). *The Internet of Things*. Obtenido de [http://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/innov/IoT\\_IBSG\\_0411FINAL.pdf](http://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf)
- Diedrichs, A. (2013). *IPv6 for Wireless Sensor Network*. Mendoza: FRM UTN.
- Ecuador, A. N. (2008). *Constitución del Ecuador 2008*. Obtenido de <http://docs.ecuador.justia.com/nacionales/leyes/ley-organica-de-soberania-alimentaria.pdf>
- Ecuared. (2013). *Agricultura de Precisión*. Obtenido de [http://www.ecured.cu/index.php/Agricultura\\_de\\_Precisi%C3%B3n](http://www.ecured.cu/index.php/Agricultura_de_Precisi%C3%B3n)
- Francis José Mas Ruiz. (2012). *Temas de investigación comercial*. Alicante: Club Universitario.
- Gurovich, L. (2000). *Fundamentos y diseño de sistemas de riego por goteo*. San José: Levantex.
- Hernández, J. V. (2010). *Redes inalámbricas de sensores: Una nueva arquitectura eficiente y robusta basada en jerarquía dinámica de grupos*. Obtenido de <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8417/tesisUPV3326.pdf>
- John Rullan, Stephen Lynch. (2013). *Asignación de direcciones IPv6*. Chicago: CISCO.

- Joseph F. Hair, Robert P. Bush y David J. Ortinau. (2010). *Investigación de mercados. En un ambiente de información digital*. México, D.F: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A.
- Martínez, J. P. (2012). *IPv6 Aspectos legales del nuevo protocolo de Internet*. Southampton: Euro6IX.
- Ministerio del Ambiente. (17 de 05 de 2012). *RECURSOS HÍDRICOS SE VEN AFECTADOS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO*. Obtenido de [http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/17-05-2012\\_1.docx\\_.pdf](http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/17-05-2012_1.docx_.pdf)
- Minoli, D. (2012). *Mobile video with Mobile IPV6*. New Jersey: Jhon Wiley.
- Pittman, E. (2013). *¿Por qué la Internet de las Cosas necesita IPv6?* Obtenido de <http://www.govtech.com/policy-management/Why-the-Internet-of-Things-Needs-IPv6.html>
- Ravera, G. (2010). *ZigBee o 6LoWPAN*. Obtenido de <http://blogs.salleurl.edu/networking-and-internet-technologies/zigbee-o-6loWPAN/>
- Ruiz, M. (2000). *Riego por goteo en cítricos*. Madrid: Artes gráficas Cuestas, S.A.
- Secretaría Nacional del Agua. (2012). *Visión Secretaría Nacional del Agua*. Obtenido de [www.agua.gob.ec](http://www.agua.gob.ec)
- Senplades. (2013). *Plan Nacional para el Buen Vivir*. Obtenido de <http://plan.senplades.gob.ec>
- Vásconez, F. (2013). *Red inalámbrica de sensores*. Obtenido de [http://blogfabianv.blogspot.com/2013/04/redes-de-sensores-inalambricos-una-gran\\_24.html](http://blogfabianv.blogspot.com/2013/04/redes-de-sensores-inalambricos-una-gran_24.html)

Vives, A. (2011). *Despliegue de IPv6* . Guayaquil: WALC2011.

Zach Shelby, M. H. (2009). *6loWPAN: The Wireless Embedded Internet*. Torquay,  
UK: John Wiley & Sons.