



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA EN TELEMÁTICA

Proyecto de Investigación previo
a la obtención del título de
Ingeniera en Telemática.

Título del Proyecto de Investigación:

**“REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES PARA DETECCIÓN TEMPRANA DE
INCENDIOS FORESTALES”**

Autores:

Cinthia Katherine Solís López

María Belén Vicuña Gaibor

Director de Proyecto de Investigación:

Ing. Ángel Torres Quijije, MSc.

Quevedo – Los Ríos - Ecuador.

2017

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Cynthia Katherine Solís López**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mí autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

f. _____

Cynthia Katherine Solís López

C.I. 120764499-6

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **María Belén Vicuña Gaibor**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mí autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

f. _____

María Belén Vicuña Gaibor

C.I. 095022052-5

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



El suscrito, Ing. Ángel Torres Quijije, MSc., Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que las estudiantes María Belén Vicuña Gaibor y Cinthia Katherine Solís López, realizaron el Proyecto de Investigación de grado titulado “Redes inalámbricas de sensores para detección temprana de incendios forestales”, previo a la obtención del título de Ingeniera en Telemática, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

f. _____

Ing. Ángel Torres Quijije, MSc.

DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO



Ing. Ángel Torres Quijije en calidad de director de proyecto de Investigación titulada **“REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES PARA DETECCIÓN TEMPRANA DE INCENDIOS FORESTALES”**, me permito manifestar a usted y por intermedio al Consejo Académico de Facultad lo siguiente:

Que, las estudiantes CINTHIA KATHERINE SOLÍS LÓPEZ y MARÍA BELÉN VICUÑA GAIBOR egresadas de la Facultad Ciencias de la Ingeniería, han cumplido con las correcciones pertinentes, e ingresado su Proyecto de Investigación al sistema URKUND, tengo a bien certificar la siguiente información sobre el informe del sistema anti plagio con un porcentaje de 8%.

| | |
|----------------|--|
| Documento | PROYECTO DE INVESTIGACIÓN-SOLÍS-VICUÑA.pdf (D29349670) |
| Presentado | 2017-06-12 15:02 (-05:00) |
| Presentado por | belencita_maria94@hotmail.com |
| Recibido | atorres.uteq@analysis.orkund.com |
| Mensaje | Mostrar el mensaje completo |

8% de estas 33 páginas, se componen de texto presente en 11 fuentes.

Ing. Ángel Torres Quijije, MSc.
DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA EN TELEMÁTICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título

**“REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES PARA DETECCIÓN TEMPRANA DE
INCENDIOS FORESTALES”.**

Presentado al Consejo Académico de Facultad como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero en Telemática.

Aprobado por:

Ing. Janeth Mora Secaira, MSc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Fabricio Marcillo Vera, MSc.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Emilio Zhuma Mera, MSc.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

**QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR
2017**

AGRADECIMIENTO

“Si quieres triunfar en la vida, haz de la perseverancia tu amiga del alma, de la experiencia tu sabia consejera, de la advertencia tu hermana mayor y de la esperanza tu genio guardián”

Agradezco en primer lugar a Dios y la Santísima Virgen por permitirme culminar con salud y éxito mi carrera universitaria.

A mis padres por su invaluable sabiduría y paciencia en la base de mi formación personal e intelectual. Siempre con amor cumpliendo la profesión más titánica e interminable, la de ser padres.

Agradecer de manera muy especial a mis catedráticos de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo por compartir sus conocimientos, sus consejos, su persistencia, su paciencia y la motivación que han sido el pilar fundamental para mi formación profesional.

María Belén Vicuña Gaibor

Le agradezco en primer lugar a Dios por bendecirme con vida cada día; a mis padres por enseñarme una de las lecciones más enriquecedoras de la vida que es luchar por lo que se desea, a mis hermanos y a la persona que ha estado al lado mío incondicionalmente durante más de cinco años.

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo por haber sido la base de mi formación profesional. A mi director de tesis y catedráticos gracias a sus conocimientos impartidos, he logrado concluir mis estudios con éxito.

Por último, agradecer a mis compañeros, amigos hermanos, y a los colaboradores de la prestigiosa universidad.

Cinthia Katherine Solís López

DEDICATORIA

Primero y como más importante quiero dedicar mi trabajo de investigación a mis padres Tomás y Julio que desde lo más alto del cielo cuidan y bendicen cada paso que doy. De manera especial se los dedico.

A mis madres Lolita y Gladys que son el cimiento que sentaron en mí las bases de responsabilidad, deseos de superación constante y de no rendirse ante las adversidades por cuán difícil sean.

A mi familia por su constante amor, apoyo moral y económico para lograr mi objetivo planteado. A mis mejores amigos por su apoyo incondicional y cariño siempre.

María Belén Vicuña Gaibor

Con todo mi amor y cariño dedico a mis padres Elizabeth López y Walter Solís quienes me han enseñado que con esfuerzo y dedicación todo se puede lograr en la vida.

A mis hermanos Fabián Solís, Mayra Solís, Jessica Solís y demás familiares que siempre estuvieron apoyándome en los retos que deseo tomar.

Cinthia Katherine Solís López

RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES

El presente proyecto de investigación se basa en implementar un sistema de detección temprana de incendios forestales denominado Forest Fire System, aplicando tecnología emergente como redes de sensores inalámbricos (WSN)¹, las cuales se han extendido considerablemente ante una variada compilación de aplicaciones entre las que destacan: monitorización de entornos naturales, aplicaciones para defensa y aplicaciones médicas. Esta red está constituida por 2 nodos sensores, los cuales realizarán la detección de humo; conectados a través del protocolo ZigBee² (IEEE 802.15.4) con un nodo coordinador (estación base) el cual haciendo uso de la tecnología GSM (Global System for Mobile Communications) enviará un mensaje de texto al administrador; además conectado a una aplicación informática de escritorio la cual permite mostrar información capturada por la red de forma amigable y comprensible al usuario final. Finalmente, se diseñó la WSN en un ambiente forestal “La Represa” simulando incendios controlados.

Palabras Claves:

Redes, Sensores, Inalámbrica, Redes de sensores inalámbricos, Incendios forestales, ZigBee.

¹ WSN Wireless Sensor Network

² ZigBee: Conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica de bajo consumo.

ABSTRACT AND KEYWORDS

This research project is based on a system of early detection of forest fires (Forest Fire System) applying emerging technology such as wireless sensor networks (WSN), which have grown considerably before a varied compilation of applications, including the monitoring of natural environments, applications for defense and medical applications. This network is made up of sensor nodes, which will carry out the measurements; these are connected through the ZigBee protocol (IEEE 802.15.4) with a coordinator node (base station) which making use of the GSM (Global System for Mobile Communications) will send a text message to the administrator; in addition connected to a desktop application which allows you to display the information captured by the network of a friendly and understandable to the end user. Finally, design the WSN in a forest environment "La Represa" simulating a forest fire controlled.

Keywords:

Networks, Sensors, Wireless, Wireless Sensor Networks, Forest fire, ZigBee

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN | 1 |
| 1.1. Introducción..... | 2 |
| 1.2. Problema de investigación..... | 4 |
| 1.2.1. Planteamiento del problema..... | 4 |
| 1.2.2. Formulación del problema | 6 |
| 1.2.3. Sistematización del problema | 6 |
| 1.3. Objetivos | 7 |
| 1.3.1. Objetivo General | 7 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos | 7 |
| 1.4. Justificación..... | 8 |
| CAPÍTULO II..... | 9 |
| FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN | 9 |
| 2.1. Marco Referencial | 10 |
| 2.2. Marco Teórico | 13 |
| 2.2.1. Incendios forestales..... | 13 |
| 2.2.2. Características del fuego | 14 |
| 2.2.3. Origen de los incendios forestales | 16 |
| 2.3. Marco Conceptual | 18 |
| 2.3.1. Redes inalámbricas de sensores | 18 |
| 2.3.2. Tecnologías Inalámbricas | 20 |
| 2.3.3. Protocolo ZigBee | 21 |
| 2.3.4. Topologías de red..... | 24 |
| 2.3.5. Módulo de comunicación inalámbrica XBee..... | 25 |
| 2.3.6. Estándar GPRS | 28 |
| 2.3.7. Comparación tecnologías inalámbricas | 29 |
| 2.3.8. Arduino | 30 |
| 2.3.9. Módulo XBee..... | 31 |
| 2.3.10. Shield XBee PRO | 32 |
| 2.3.11. Módulo Shield GSM/GPRS/SMS..... | 32 |
| 2.3.12. Sensor de Control de Calidad Aire MQ-135..... | 33 |
| 2.3.13. Estabilizador de Voltaje..... | 34 |
| 2.3.14. Controlador solar | 35 |
| 2.3.15. Panel Solar | 35 |

| | |
|--|----|
| 2.3.16. Batería de ácido plomo | 36 |
| 2.3.17. Microsoft Visual Studio..... | 36 |
| 2.3.18. Arduino IDE | 37 |
| 2.3.19. X-CTU Software..... | 37 |
| 2.4. Marco Legal | 38 |
| 2.4.1. Constitución de la República del Ecuador | 38 |
| 2.4.2. Código Orgánico Integral Penal | 38 |
| CAPÍTULO III | 40 |
| METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN..... | 40 |
| 3.1. Localización | 41 |
| 3.2. Tipo de investigación | 42 |
| 3.3. Diseño de la investigación..... | 42 |
| 3.4. Recursos humanos y materiales | 46 |
| 3.4.1. Recursos humanos | 46 |
| 3.4.2. Recursos materiales | 46 |
| CAPÍTULO IV | 49 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 49 |
| 4.1. Resultados | 50 |
| 4.1.1. Resultados del diseño de un sistema de comunicaciones para la detección temprana de incendios forestales mediante redes de sensores inalámbricos..... | 50 |
| 4.1.2. Resultados de la implementación de un plan piloto en el campus Finca Experimental “La Represa” para la detección temprana de incendios forestales. | 57 |
| 4.1.3. Resultados de la recolección de la información de forma inalámbrica enviada por los dispositivos sensoriales en un nodo coordinador..... | 63 |
| 4.1.4. Resultados del desarrollo de una aplicación informática de escritorio para la detección de un incendio forestal. | 66 |
| 4.2. Discusión | 68 |
| CAPÍTULO V | 69 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 69 |
| 5.1. Conclusiones | 70 |
| 5.2. Recomendaciones | 71 |
| CAPÍTULO VI..... | 72 |
| BIBLIOGRAFÍA | 72 |
| CAPÍTULO VII..... | 76 |
| ANEXOS..... | 76 |
| 7.1. Informe de Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR). | 77 |

| | |
|---|----|
| 7.2. Manual de usuario de la aplicación informática de escritorio..... | 83 |
| 7.3. Solicitudes de autorización para realizar pruebas en Finca “La Represa”..... | 91 |
| 7.4. Configuraciones XBee S2 y S2C | 94 |
| 7.5. Estado módulos XBee S2 | 96 |
| 7.5.1. Testing módulo defectuoso..... | 97 |
| 7.5.2. Testing módulo funcional..... | 97 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Triángulo del fuego que sintetiza los elementos de un incendio forestal | 13 |
| Figura 2. Topologías ZigBee | 25 |
| Figura 3. Arduino MEGA 2560..... | 31 |
| Figura 4. Módulo XBee Serie 2..... | 32 |
| Figura 5. XBee/ZigBee PRO Shield..... | 32 |
| Figura 6. Shield módulo GSM/GPRS/SMS SIM900 | 33 |
| Figura 7. Sensor de Aire MQ-135 Arduino-Pic | 34 |
| Figura 8. Controlador Solar | 35 |
| Figura 9. Panel Solar | 36 |
| Figura 10. Batería | 36 |
| Figura 11. Finca Experimental "La Represa" | 41 |
| Figura 12. Evolución de batería tiempo parcialmente nublado. | 59 |
| Figura 13. Evolución de batería en tiempo mayormente nublado..... | 60 |
| Figura 14. Evolución de batería en tiempo soleado | 60 |
| Figura 15. Mapa de la posible ubicación de los nodos..... | 62 |
| Figura 16. Nodo Router 1 detectando presencia de humo..... | 63 |
| Figura 17. Nodo Router 2 detectando presencia de humo..... | 64 |
| Figura 18. Software Forest Fire System emite una alerta audible y visual. | 64 |
| Figura 19. Diagrama despliegue de la red inalámbrica. | 65 |
| Figura 20. Vista panorámica..... | 65 |
| Figura 21. Caso de uso Forest Fire System | 67 |
| Figura 22. Formulario de inicio de sesión. | 83 |
| Figura 23. Pantalla para el monitoreo de los sensores..... | 84 |
| Figura 24. Mapa modo normal | 85 |
| Figura 25. Mapa modo satélite | 85 |
| Figura 26. Mapa modo relieve..... | 86 |
| Figura 27. Formulario para insertar un nuevo sensor | 86 |
| Figura 28. Zona de riesgo | 87 |
| Figura 29. Tabla de coordenadas consideradas como riesgosas..... | 87 |
| Figura 30. Formulario de inserción de zona riesgosa..... | 88 |
| Figura 31. Formulario de ingreso de un nuevo incendio al sistema. | 88 |
| Figura 32. Visualización de sensores en estado averiado..... | 89 |

| | |
|--|----|
| Figura 33. Listado de sensores | 89 |
| Figura 34. Listado de usuarios..... | 90 |
| Figura 35. Historial de incendios..... | 90 |
| Figura 36. Solicitud del Decano Facultad Ciencias de la Ingeniería..... | 91 |
| Figura 37. Solicitud del Coordinador de la Carrera Ingeniería en Telemática..... | 92 |
| Figura 38. Autorización del Vicerrector Administrativo Financiero | 93 |
| Figura 39. Configuración en X-CTU de nodo router 1 | 94 |
| Figura 40. Configuración en X-CTU de nodo router 2. | 94 |
| Figura 41. Configuración en X-CTU de nodo coordinador..... | 95 |
| Figura 42. Módulo funcional | 96 |
| Figura 43. Módulo defectuoso..... | 96 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Condiciones meteorológicas del área de estudio..... | 42 |
| Tabla 2. Requerimientos del hardware | 46 |
| Tabla 3. Requerimientos del software. | 47 |
| Tabla 4. Presupuesto del proyecto de investigación..... | 48 |
| Tabla 5. Circuito Configuraciones Nodo Sensor..... | 53 |
| Tabla 6. Configuraciones Nodo Coordinador | 55 |
| Tabla 7. Promedio de carga y descarga de la batería..... | 58 |
| Tabla 8. Energía consumida por el equipamiento del sistema. | 61 |
| Tabla 9. Parámetros a considerarse en el proyecto de investigación..... | 61 |
| Tabla 10. Aproximación de la cantidad de nodos necesarios..... | 62 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|----|
| Ilustración 1. Capas Protocolo ZigBee..... | 22 |
| Ilustración 2. Estructura Trama API | 27 |
| Ilustración 3. Delimitadores de inicio trama API..... | 27 |
| Ilustración 4. Comparación tecnologías inalámbricas..... | 29 |
| Ilustración 5. Regulador de Voltaje..... | 34 |
| Ilustración 6. Diagrama general del sistema. | 50 |
| Ilustración 7. Arquitectura general del sistema. | 51 |
| Ilustración 8. Arquitectura Nodo Sensor..... | 52 |
| Ilustración 9. Circuito Alimentación Nodo Sensor. | 53 |
| Ilustración 10. Arquitectura Nodo Coordinador..... | 54 |
| Ilustración 11. Topología de la red..... | 55 |
| Ilustración 12. Sistema para detección temprana de incendios forestales usando tecnología WSN. 57 | |
| Ilustración 13. Sistema para detección temprana de incendios forestales usando tecnología WSN. 57 | |
| Ilustración 14. Diagrama de Base de datos (SQL server 2014) | 66 |

CÓDIGO DUBLIN

| | | | | |
|-----------------------|--|------------------------------|---------------------------------|-------|
| Título: | Redes inalámbricas de sensores para detección temprana de incendios forestales. | | | |
| Autor: | <u>Solís López, Cinthia Katherine Vicuña Gaibor, María Belén</u> | | | |
| Palabras clave: | Incendios forestales | Wireless Sensor Network. WSN | Redes inalámbricas de sensores. | Nodos |
| Fecha de publicación: | | | | |
| Editorial: | Quevedo:UTEQ,2017 | | | |
| Resumen: | <p>Resumen.- En los últimos años en el Ecuador y el mundo, uno de los mayores impactos de los incendios forestales son los efectos sobre el cambio climático. Cabe resaltar que los efectos de un incendio forestal se dan a grandes proporciones debido que no existe un componente preventivo para atender este tipo de catástrofes. En el país actualmente sólo existen mecanismos que tratan este problema cuando un incendio ya ha causado un impacto ambiental significativo, es así que las labores para tratar de apagar un incendio forestal se dificultan mucho más cuando ya se encuentra en una fase avanzada y se han maximizado las pérdidas del área forestal. En este caso la utilización del estándar IEEE 802.15.4 (ZigBee) mediante la implementación de una WSN permite generar un sistema de prevención, monitoreo y detección de incendios forestales. La WSN permite acoplar en el diseño características muy importantes como: flexibilidad de red, bajos costos, y bajo consumo de energía.</p> <p>Abstract. - In the last few years in Ecuador and the world, one of the major impacts of forest fires are the effects on climate change. It should be noted that the effects of a forest fire are given to large proportions due to the fact that there is a preventive component to address this type of disaster, in the country there are only mechanisms that address this problem when a forest fire has already caused a significant environmental impact, so that the work to try to extinguish a forest fire, it will be very difficult to make much more when is already at an advanced stage and have maximized the losses of forest area. In this case the use of the IEEE 802.15.4 standard (Zigbee) through the implementation of a WSN allows you to generate a system of prevention, monitoring and detection of forest fires. The WSN allows you to engage in the design important features such as: network flexibility, low costs, and low power consumption.</p> | | | |
| Descripción: | Formato: A4 29cm x 21 cm | | | |

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

Hace 10.000 años, mitad de la superficie del planeta estaba cubierta por bosques; los mismos que se encargan de proteger la biodiversidad, evitar erosión, regular el ciclo hidrológico, frenar el cambio climático, además de proporcionar recursos energéticos.

A nivel mundial al año se queman 350 millones de hectáreas (ha) de bosque, así como se pierden 14,2 millones de hectáreas (ha) a causa de la deforestación de acuerdo con un informe de la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)³. Según estudios realizados por la NASA⁴ y Greenpeace International⁵ el 70% de desastres naturales son atribuidos a incendios y tala de bosques; cada semana desaparece, una superficie forestal equivalente a 325.000 campos de fútbol.

En el Ecuador, los incendios forestales son considerados una de las principales causas de deterioro ambiental debido que influyen significativamente en la alteración y degradación de la calidad de vida. De acuerdo a los Informes de situación diarios, sobre la evolución de los incendios forestales según la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR), durante el año 2016 (diciembre) se han registrado la pérdida de 21.857,80 hectáreas de cobertura vegetal en 787 eventos Anexo 1.

Lo anteriormente mencionado ha causado pérdidas de vidas humanas, flora, fauna y económicas; Según [1] las causas de los incendios forestales en nuestro país son provocados en un 5% por factores ambientales apropiados para desatar un incendio, mientras que un 95% son de origen antrópico, debido a negligencias, desconocimiento o situaciones intencionales.

El documento describe el uso de las redes inalámbricas de sensores o WSN (Wireless Sensor Network), una tecnología novedosa cuya aparición se debe al desarrollo de las áreas de la electrónica, sistemas computacionales y de telecomunicaciones. El potencial de ésta tecnología radica en la posibilidad de construir una solución conformada por nodos

³ Fuente: <http://www.fao.org/3/a-i4793s.pdf>

⁴ NASA National Aeronautics and Space Administration.

⁵ Greenpeace es una ONG ambientalista con el objetivo de proteger y defender el medio ambiente.

sensoriales (Motas)⁶ receptoras de información para retransmitirlas hasta un centro de recolección o base central.

El objetivo de esta tecnología consiste en la creación de dispositivos económicos que puedan ser utilizados masivamente para extraer información del medio y posteriormente someterla a un análisis con el fin de servir de apoyo en la toma de decisiones, según la problemática que se esté abordando. Por ejemplo, en aplicaciones para detección temprana de incendios forestales o en el monitoreo y detección de daños estructurales en construcciones, domótica, control de invernaderos, entre otras.

⁶ *Motas* se encargan de la recolección de información mediante sensores de algún evento o fenómeno físico.

1.2. Problema de investigación

En el siguiente apartado se estableció el problema que pretende solucionar la investigación, el diagnóstico con una descripción general, el pronóstico en caso de no haber solución, la formulación y sistematización del problema.

1.2.1. Planteamiento del problema

En los últimos años en nuestro país se ha venido desatando una problemática muy grave, los incendios forestales. “Según la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos en el año 2016 se perdieron 21.857,80 hectáreas (ha) de cobertura vegetal. Anexo 1.”, afectando significativamente al Gobierno Central, población, ecosistemas tanto flora y fauna. En la actualidad se registran incendios en áreas forestales marcadas por la globalización; se estima que entre un 80% y 90%⁷ son causados por el ser humano, sea de forma accidental o intencionada.

Los efectos de un incendio forestal se dan en plantaciones de árboles debido que no existe un componente preventivo para atender este tipo de desastres, tan sólo existen mecanismos que tratan estos problemas, cuando el incendio forestal ya ha causado cuantiosos daños materiales, económicos y un impacto ambiental significativo.

Hoy en día se ha comprometido a familias que habitan cerca de sectores vulnerables para que ayuden en el control de los incendios, labor coordinada con el ECU-911⁸, entidad que recibe las alertas y comunica a los equipos especializados para controlar estos incidentes.

1.2.1.1. Diagnóstico

Los incendios forestales se han convertido en las últimas décadas en uno de los problemas ambientales más significativos [2]. El conocimiento y la determinación de las causas de los

⁷ Fuente: www.eluniverso.com/incendiosforestales

⁸ Servicio Integrado de Seguridad (SIS) ECU-911

incendios forestales constituyen una herramienta fundamental para adoptar medidas preventivas oportunas que ayuden a evitarlos.

Las causas de incendios forestales son provocadas por agentes naturales o debido al comportamiento humano. Entre las primeras se consideran varios factores, entre ellos;

- Por causas naturales como caída de rayos o erupciones volcánicas.
- Por el incremento del calentamiento global.
- Debido a la falta de lluvias la vegetación se seca y el fuego se propaga fácilmente.
- Por la presencia de vientos fuertes que hacen el fuego se extienda rápidamente.
- Porque concurren tres elementos químicos: oxígeno, calor y combustible.

La gran mayoría de los incendios forestales son provocados por descuido del hombre. Entre ellos se encuentran:

- Cuando se lanza una colilla de cigarrillo encendida sobre la vegetación.
- Cuando no se apaga correctamente una fogata.
- Cuando se dejan en el bosque objetos de vidrio, que es un elemento refractorio, es decir, con el calor y en contacto con la vegetación seca produce fuego.
- Cuando se escapa el fuego de las quemas agrícolas que realizan los campesinos para preparar el suelo para los cultivos.

Existen también incendios intencionados provocados deliberadamente por el hombre, para lo cual según el Código Integral Penal [3], en su artículo 246 señala que: “La persona que provoque directa o indirectamente incendios o instigue la comisión de tales actos, en bosques nativos o plantados o páramos, será sancionada con pena privativa de libertad de uno a tres años.”

1.2.1.2. Pronóstico

La contaminación generada por los incendios forestales continuará provocando problemas ambientales tales como la destrucción de la fauna, degradación de la vegetación; problemas socio-económicos como pérdida de vidas humanas y bosques comerciales o la destrucción de viviendas, infraestructuras y equipamientos; así como problemas graves de

salud a los habitantes aledaños al sector afectado. Si el evento ocurriera en parte de la selva el hábitat de especies se encontrará en amenaza.

1.2.2. Formulación del problema

¿Cómo detectar el inicio de un evento que pueda considerarse como un incendio forestal?

1.2.3. Sistematización del problema

- ¿Cómo implementar el sistema de detección temprana para incendios forestales?
- ¿De qué manera enviar la información obtenida por los sensores al nodo coordinador?
- ¿Cómo visualizar la detección de un incendio forestal?

1.3. Objetivos

En la presente sección se establece el objetivo general y los objetivos específicos que se proponen a cumplir en el desarrollo del proyecto de investigación.

1.3.1. Objetivo General

- Diseñar un sistema de comunicaciones para la detección temprana de incendios forestales mediante redes de sensores inalámbricas (WSN).

1.3.2. Objetivos Específicos

- Implementar un plan piloto en el Campus Finca Experimental “La Represa” para la detección temprana de incendios forestales.
- Recolectar la información de forma inalámbrica enviada por los dispositivos sensores en un nodo coordinador.
- Desarrollar una aplicación informática de escritorio para la detección de un incendio forestal.

1.4. Justificación

Uno de los temas en la actualidad son los incendios forestales. Su impacto ecológico es muy superior a lo que se ve a simple vista y sobrepasa incluso las áreas afectadas. La destrucción de biodiversidad, el aumento de la desertificación o la disminución de la calidad de las aguas y la atmósfera son algunas de las consecuencias negativas posteriores a un incendio. La recuperación de los bosques afectados, si es que se consigue, puede llevar décadas.

Hoy en día el uso de las WSN⁹ como solución a este tipo de problemas se considera una gran opción dado que esta tecnología promueve la creación de una amplia variedad de aplicaciones en ingeniería debido a su fácil instalación, operación y mantenimiento; la obtención y manejo de datos es de manera rápida y autónoma para una aplicación específica sin desperdiciar recursos.

De lo antes expuesto, el presente trabajo pretende desarrollar un plan piloto en el escenario Campus Finca Experimental “La Represa”, extensión perteneciente a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo; mediante la implementación de una red de dispositivos sensoriales de bajo costo y mínimo consumo de energía, para de esta forma detectar presencia de humo, lo que permitirá disponer de una alerta temprana de un posible incendio forestal.

⁹ WSN Redes Sensoriales Inalámbricas – Wireless Sensor Networks

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco Referencial

Las redes de sensores inalámbricos tienen aplicabilidad en diferentes áreas entre las que destacan: aplicaciones médicas, aplicaciones medioambientales y aplicaciones militares. Así mismo, a continuación se muestra una variada compilación de las aplicaciones de WSN [4].

- ✓ Aplicaciones militares:
 - Monitorización de fuerzas y equipos enemigos.
 - Vigilancia en el campo de batalla.
 - Reconocimiento del terreno.
 - Detección de ataques biológicos químicos o nucleares, etc.
- ✓ Aplicaciones medioambientales:
 - Seguimiento de animales.
 - Monitorización de las condiciones ambientales en cultivos.
 - Riego.
 - Agricultura de precisión.
 - Detección de incendios forestales.
 - Detección de inundaciones.
 - Estudios de contaminación.
 - Prevención de desastres.
 - Monitorización de áreas afectadas por desastres, etc.
 - Estudios sísmicos.
 - Seguridad de estructuras.
- ✓ Aplicaciones médicas
 - Tele monitorización de datos fisiológicos en pacientes.
 - Diagnóstico.
 - Administración de medicamentos.
 - Seguimiento de médicos y pacientes en hospitales, etc.
 - Aplicaciones en el hogar/edificios.
 - Domótica.
 - Control de electrodomésticos.
 - Entornos inteligentes.

- Control ambiental.
- Aplicaciones industriales.
- Seguimientos de vehículos.
- Control de flota.
- Control de inventarios.
- Aplicaciones turísticas.
- Interactividad en museos y espacios turísticos, control de acceso.

Contexto nacional

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) en el año 2014 presentó un sistema de detección de incendios forestales mediante redes sensoriales inalámbricas utilizando la tecnología Zigbee por medio de Arduino. Dichas tecnologías permitieron crear un sistema denominado Natura Sys [5].

Entre la descripción del proyecto, cuando inicia un incendio forestal la primera parte afectada es su superficie, ya que ahí se encuentran elementos de rápida combustión como hojas secas, paja, plantas pequeñas, ramas, etc.; Natura Sys actuará al ocurrir esto, es decir el sistema detectará los inicios de un incendio en la superficie de un bosque antes de que este se propague con mayor fuerza consumiendo toda el área forestal y dificultando su control [5].

Contexto internacional

En la Universidad de Córdoba- Colombia, desarrollaron un sistema de monitoreo de cultivos agrícolas a través de redes inalámbricas de sensores para medir variables ambientales como humedad relativa, temperatura y radiación solar (UVA-UVB) en el municipio de Montería [6].

El artículo científico presentado en la Conferencia Internacional sobre el IET Wireless Sensor Network 2010 denominado “An energy-efficient wireless sensor network used for farmland soil moisture monitoring” aplicado en el área de la agricultura de precisión en la provincia de Xin-jiang en China, se implementó un sistema compuesto por una red de

sensores inalámbricos para monitorear la humedad del suelo en un cultivo de algodón. Después de seis meses de su implementación el sistema permitió realizar riegos razonables reduciendo considerablemente el consumo de agua y aumentando el crecimiento de la raíz de la planta [6].

En el Instituto Tecnológico de la Laguna, México, se presentó el diseño e implementación de una red inalámbrica para monitoreo de humedad en el suelo en un área de cultivo de nogal pecanero, con el objetivo de probar diferentes tipos de riego y tornar eficiente el uso de agua en el cultivo. Se diseñó un prototipo de red para la medición de la humedad enterrada con una arquitectura básica, la cual consiste en el diseño de 4 módulos electrónicos con microcontroladores del tipo PIC (Controlador de interfaz periférico). La red se estructuró como una red de área personal de bajo consumo energético combinada con el estándar de comunicación de redes 802.15.4 y el protocolo peer-to-peer (P2P) para lograr una red de largo alcance y bajo consumo [7].

En la Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela, se presentó un proyecto de investigación que consistió en la implementación de una red inalámbrica de sensores en los viñedos de una empresa productora de vino en Venezuela para medir velocidad y dirección del viento, humedad ambiental, humedad del suelo, temperatura, pluviometría y radiación solar. Para la implementación de la red se utilizó el eKo PRO Kit compuesto por seis nodes con el panel solar, cada node con sus correspondientes sensores, la radio base y el Gateway que integra una interfaz gráfica de usuario en ambiente Web llamada eKoView. En pruebas realizadas para evaluar la duración de la batería en condición atípica sin luz solar se determinó que los nodos son capaces de mantenerse activos durante aproximadamente 58 días, sin embargo hubo pérdida de datos por la no disponibilidad de energía eléctrica en la caseta (lugar de alojamiento del Gateway y la radio base); el software eKoView sirvió de apoyo a los supervisores para verificar el buen funcionamiento de sistemas con el de riego [8].

2.2. Marco Teórico

En el marco teórico se establecen las bases teóricas que servirán de apoyo para desarrollar una idea global del problema que se investiga.

2.2.1. Incendios forestales

Se puede definir un incendio forestal como la propagación libre del fuego sobre la vegetación forestal. Según (Rodríguez, 1996) [9] el fuego es la liberación de energía en forma de luz y calor, producto de la combustión; para que el fuego se origine, se requiere del “triángulo de fuego” formado por combustible, calor y oxígeno. Sin la presencia de estos tres elementos, no es factible un incendio forestal [10].

Figura 1. Triángulo del fuego que sintetiza los elementos de un incendio forestal



Fuente: Impacto Ambiental de incendios forestales. ISBN: 978-607-7699-03-3

Elaborado por: José Germán Flores Garnica. [11]

Los bosques en general, producen bienes y servicios, considerados un recurso natural renovable. Sin embargo, cuando se producen daños muy serios, su recuperación puede ser muy difícil y en ocasiones, casi imposible (Spurr y Barnes, 1982) [11]. Aunque los bosques son atacados por varios factores, sólo las plagas y enfermedades, las cortas clandestinas, los cambios de uso del suelo y los incendios, provocan pérdidas mayores. Siendo estos últimos los que mayor daño producen ya que llegan a destruir grandes extensiones en un breve lapso de tiempo [10].

2.2.2. Características del fuego

Johnson y Miyanishi (2001) [12] relacionan la ecología del fuego con factores biofísicos y ecológicos; entre los primeros mencionan la combustión, la transferencia de calor y se preguntan cómo estos procesos afectan los procesos ecológicos. De esta manera, la medición de la temperatura de la flama, la velocidad de propagación y la altura de la flama, son importantes para entender la estructura y características de los incendios forestales. Para comprender estos procesos es necesario definir algunas características físicas y químicas del fuego: [10]

2.2.2.1. Presencia de oxígeno y combustible

Para que un incendio ocurra, se requiere la existencia de una fuente de ignición y combustible. Los combustibles forestales son todos aquellos materiales vivos o muertos que pueden arder en el bosque: materia orgánica capaz de arder (pastos ralos esparcidos, desechos de pino y madera dura, matorrales, leños, dosel de árboles, hasta turba y humos orgánico). Se puede encontrar en infinitas combinaciones de tipo, abundancia, forma, tamaño, disposición y posición [10].

- **Ignición:**

Puede ser provocada por el calentamiento de un sistema con combustibles de cierta energía térmica o por crear una reacción autocatalítica. La reacción química, cuyo índice de reacción es controlado por la concentración inicial de reactantes presentes al inicio, son llamadas termales, mientras que las reacciones, cuyos índices son afectados por la concentración de productos intermedios y finales, son llamadas autocatalíticas.

La temperatura de ignición, se define como la temperatura crítica que la fase de condensación necesita alcanzar para la combustión inicial (Mell et al., 2006) [13]. Esta temperatura es un criterio útil para evaluar la inflamabilidad de materiales y estimar el índice de extensión de la “llama” [10].

- **Combustión:**

La combustión es un proceso químico exotérmico, es decir, desprende calor y es transmitido a través de transferencia en forma de calor de alta o baja velocidad [10].

- **Transferencia de calor:**

Existen tres maneras de propagación del calor: conducción, convección y radiación (Pérez, 2000) [14]. Además, en un incendio forestal, las pavesas (chispas, troncos y/o conos encendidos que ruedan) representan un riesgo latente de propagación (Martínez, 2011) [15].

Se conocen tres formas de transferencia del calor:

- **Conducción:** En esta forma de transmisión, el calor pasa a través de un cuerpo sólido a otro, por contacto entre sus partículas. Debido a la continuidad de combustibles requerida, este mecanismo es de poca importancia en la propagación de incendios forestales [10].
- **Convección:** Mediante este proceso, el flujo de calor se transfiere al interior de fluidos ya sean gases o líquidos. El mecanismo implica la combinación entre las porciones frías y calientes de un fluido, lo que también se refleja en variaciones de la densidad de los mismos. Este proceso es de suma importancia en el desarrollo de los incendios forestales y su máxima expresión ocurre en la formación de las columnas de convección. Esta forma de transmisión de calor es muy efectiva para el precalentamiento del ambiente ya que favorece el secado de los combustibles forestales que aún no están en contacto con el fuego. Eventualmente el fuego se propagara a través de los combustibles ya secos o al menos, con un contenido de humedad suficientemente bajo como para permitir la ignición de los mismos [10].
- **Radiación:** Es otra forma de precalentamiento y presecado que se produce a través de la transmisión de calor por radiación; en este proceso el calor fluye por medio de ondas que se propagan hacia la atmósfera en línea recta. De esta forma, los combustibles reciben el calor e inician un proceso de secado aunque no estén en contacto con la flama [10].

En los incendios forestales y en las quemas controladas, podría señalarse otro mecanismo de transferencia de calor: la emisión de materiales incandescentes, pavesas, chispas o brasas como consecuencia del dinamismo de la columna de convección (Subsecretaría de Desarrollo y Fomento Agropecuario y Forestal, 1986) [16]. No obstante, estas situaciones que normalmente son las responsables de los fuegos satelitales, deberían ser consideradas únicamente como efectos de la convección [10].

2.2.3. Origen de los incendios forestales

Los incendios forestales ocurren por causas naturales y por la práctica de actividades humanas; en general, los primeros ocurren en lugares aislados y son el resultado de tormentas eléctricas. En cambio, los incendios causados por el hombre, son provocados por descuidos, fogatas, quemas agrícolas, de malezas, etc. [10]

2.2.3.1. Naturales

En general, un incendio natural tarda en expandirse a toda un área y durante este tiempo, se produce la acumulación de una gran cantidad de combustible. Como consecuencia, el incendio natural se caracteriza por ser poco frecuente y de alta intensidad (*Komarek, 1967*) [17]; causa una importante disminución en la biodiversidad de los ecosistemas forestales, al menos en el corto y mediano plazo. Los daños son más serios cuando los incendios son frecuentes y de alta intensidad. Las causas más comunes de incendios naturales son:

- Rayos
- Erupciones volcánicas
- Altas temperaturas
- Las heladas (favorecen la acumulación de combustibles).
- Escasez de lluvias y falta de humedad (propician un ambiente idóneo).

2.2.3.2. Acción del hombre

Existen varias actividades humanas en las que se utiliza el fuego dentro o alrededor de las áreas forestales; en general, un adecuado y cuidadoso uso del fuego, debe bastar para

prevenir un incendio. Sin embargo, frecuentemente la falta de cuidado y el exceso de confianza, provocan que el fuego de fogatas o de quemas agrícolas, se salga de control (Show y Clarke, 1953) [18]. En ocasiones los incendios forestales son provocados intencionalmente o por descuidos tan simples como arrojar una colilla de cigarro; el 95% de los incendios que ocurren en Ecuador son causados por el hombre. Entre los más frecuentes, se pueden mencionar:

- **Las áreas de pastoreo:** El pastoreo de ganado puede remover combustibles finos como el pasto, lo cual puede incrementar la inflamabilidad del lugar debido a que las plantas herbáceas son reemplazadas por plantas leñosas de mayor inflamabilidad, las cuales a su vez pueden llegar a ser dominantes debido a que el ganado no se alimenta de éstas; cuando la vegetación se remueve, el suelo se calienta, favoreciendo la germinación de este tipo de plantas (Jensen y McPherson, 2008) [19]. Según (Jensen y McPherson, 2008) [19] el pastoreo también conlleva a la remoción de materia orgánica y los cascos del ganado compactan el suelo, lo cual suele favorecer a las plantas leñosas. De esta manera, el pastoreo provoca una reducción inicial de la frecuencia del fuego y acomoda a las plantas leñosas, lo cual puede conllevar a un aumento en la gravedad de los incendios (Jensen y McPherson, 2008) [19]. Sin embargo, de acuerdo a Pezo e Ibrahim (1998) [20], los animales provocan daño físico a las plantas leñosas, en especial a aquellas en estado juvenil.
- **Las zonas agrícolas:** Son una causa importante de incendios debido principalmente, a la proliferación de “coamiles” (pequeña superficie del bosque donde se quema la vegetación natural para poder establecer algún cultivo). Las quemas en los “coamiles” se realizan sin tomar las precauciones necesarias, por lo que constituyen un peligroso potencial para el desarrollo de incendios [10].
- **Descuidos:** Los descuidos de excursionistas, cazadores y peregrinos que encienden fogatas para resguardarse del frío o bien para preparar sus alimentos, constituyen una fuente importante de peligro. Asimismo, el personal que tiene a su cargo la limpieza de los desechos de vía de autopistas, carreteras federales y el sistema ferroviario del país, representan un riesgo potencial [10].

- **Fumadores:** El descuido de fumadores que arrojan colillas de cigarros sin apagar, representan también, una fuente de peligro [10].

2.3. Marco Conceptual

En el apartado Conceptual se establecen los conceptos y definiciones de los temas necesarios para el desarrollo del proyecto de investigación. Esta información sirve como guía para entender los procesos y actividades que se realizarán en el proyecto de investigación.

2.3.1. Redes inalámbricas de sensores

Para hablar de las redes de sensores inalámbricos o WSN es necesario tener clara su conceptualización. Según [21] se definen las WSN como una red de característica auto-configurable integrada por un pequeño número de nodos sensores también llamados motes distribuidos espacialmente y comunicados entre sí para lo que se usan señales de radio, con la finalidad de monitorizar y entender el mundo físico “para controlar diversas condiciones en distintos puntos, entre ellas la temperatura, el sonido, la vibración, la presión y movimiento o los contaminantes”.

Así mismo, las WSN forman un importante puente de comunicación entre la virtualidad y el mundo físico real, y su gama de aplicaciones es extensa puesto que contribuyen de manera potencial a la industria, la ciencia, el transporte, la seguridad y la infraestructura [21].

Una red inalámbrica de sensores permite formar redes ad-hoc¹⁰ sin infraestructura física definida ni administración central, las WSN están constituidas por un conjunto de pequeños dispositivos, autónomos, de bajo costo y consumo denominados nodos. Cada nodo consta de diversos sensores que le permiten extraer información del medio en el que se encuentran, esta información es procesada por el nodo y luego enviada de forma inalámbrica a un nodo central o estación base. Su principal característica es su capacidad

¹⁰ ad-hoc: Una red ad hoc inalámbrica es un tipo de red inalámbrica descentralizada porque no depende de una infraestructura pre-existente.

de reajustarse, pues en caso de que algún nodo falle la red buscará caminos alternos para el envío de los datos [6].

Estas redes no requieren de la intervención humana razón por la cual son propicias para el monitoreo de entornos inhóspitos o inaccesibles; Las principales áreas en las que son utilizadas este tipo de redes son el monitoreo agrícola, monitoreo industrial, tecnología militar, monitoreo estructural, monitoreo de fenómenos ambientales, aplicaciones médicas, entre otras [6].

2.3.1.1. Elementos de una WSN

Según el autor [6] una red inalámbrica de sensores está constituida por diversos elementos o componentes que trabajan en conjunto para lograr el monitoreo de un fenómeno. Dentro de estos elementos tenemos:

- **Sensores:** son dispositivos que se encargan de tomar de su entorno, los datos relacionados con las variables a medir, transformándolos en señales eléctricas. Los sensores permanece en una interacción constante con la variable. Existen sensores para medir diversas magnitudes físicas entre las que se destacan la temperatura, humedad, velocidad, presión, luz, tacto, presencia, pH entre otros.
- **Nodos de sensor:** el autor [6] menciona que este elemento se encarga de tomar a través de sus puertos de datos las señales enviadas desde el sensor, para luego procesarlas y enviarlas a la estación base.
- **Fuente de alimentación:** según [6] la fuente de alimentación debe ser capaz de suministrarle energía al nodo durante días incluso años, ya sea haciendo uso de una batería, o con un panel solar.
- **Gateway:** según indica el autor [6] los datos enviados por los nodos sensores llegan al Gateway quien se encarga de lograr la comunicación entre los nodos y la estación base, puesto que ambos utilizan protocolos diferentes.

- **Estación base:** en ella se almacenan los datos enviados por cada nodo sensor, cuenta con un procesador, suficiente memoria y puertos de comunicación.
- **Red inalámbrica:** esta permite la transmisión y comunicación en la red, por lo general se hace uso de la tecnología ZigBee (IEEE 802.15.4).

2.3.1.2. Arquitectura de una WSN

Las redes inalámbricas de sensores están constituidas por diversos nodos de sensores, distribuidos a lo largo de un área para ser monitoreada, una de las principales características de estas redes es que sus nodos son autónomos, capaces de organizarse y auto-configurarse, es por ello que si se presenta una falla los nodos se encargan de tomar otras rutas para transportar los paquetes hasta el destino. Hay diferentes factores que influyen sobre estas redes y es la escalabilidad, el consumo de energía y un factor mencionado anteriormente como lo es la tolerancia a fallas. Para el diseño de estas redes WSN existen diferentes arquitecturas, pero estas parten de la necesidad de una organización de forma distribuida y descentralizada [6].

La arquitectura centralizada es aquella en la cual los nodos distribuidos a lo largo del área toman la respectiva información del medio y la transmiten directamente al Gateway, y por otro lado tenemos la arquitectura distribuida en la cual los nodos toman la información del medio y la transmiten de nodo en nodo según el enrutamiento aplicado, es decir se realizan multisaltos entre los nodos para transmitir la información hasta la estación de trabajo [6].

2.3.2. Tecnologías Inalámbricas

En los últimos años el desarrollo tecnológico asociado a las comunicaciones inalámbricas ha sido de gran importancia ya que por medio de estas es posible llevar servicios de avanzada a personas que viven fuera de grandes ciudades. Por tanto el desarrollo de estándares que soporten una infraestructura para las comunicaciones inalámbricas ha sido un proceso continuo para lo cual se han desarrollado múltiples estándares para comunicar sistemas informáticos y dispositivos mediante ondas de radio y luz infrarroja, con los que la transmisión de datos es muy eficiente [6].

2.3.3. Protocolo ZigBee

La implementación de redes inalámbricas de sensores se hace bajo el estándar IEEE 802.15.4, el cual surge de la necesidad de un estándar que dejara de lado las altas tasas de transferencia dándole prioridad al bajo consumo de energía, puesto que utilizar estándares como el 802.11b en una red de sensores significaba un alto consumo de energía innecesario ante los bajos requisitos de ancho de banda y energía establecido para este tipo de redes [6].

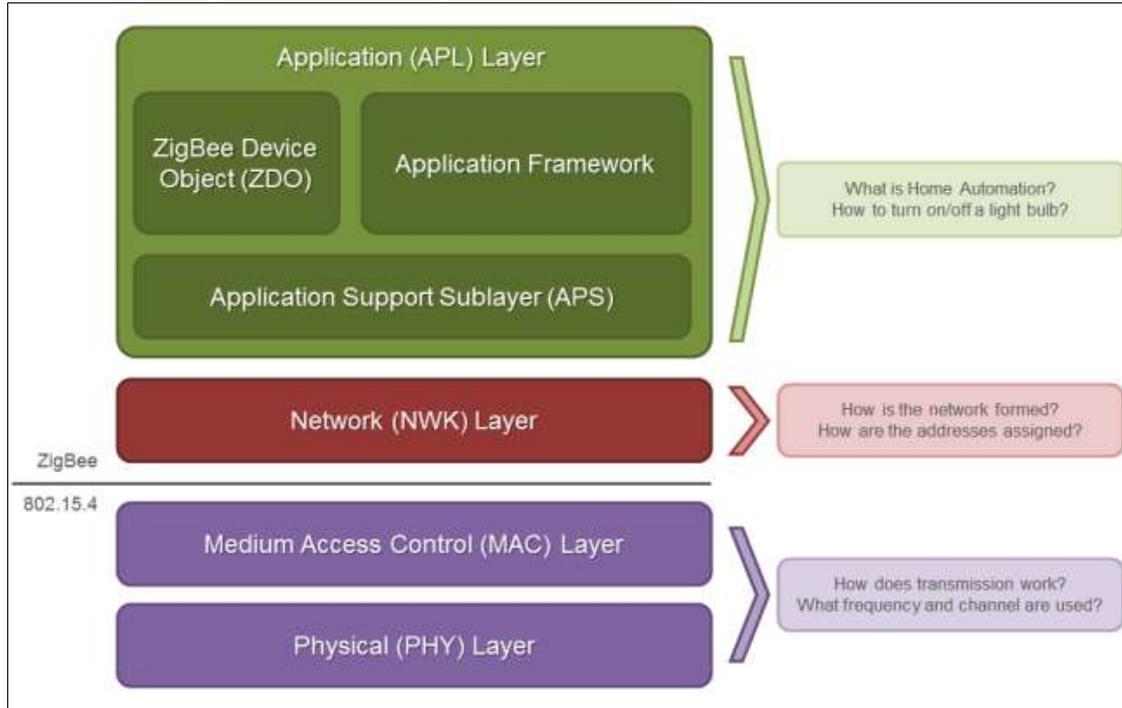
ZigBee es un estándar basado en el estándar de comunicación IEEE 802.15.4 compuesta por un conjunto de protocolos, la cual proporciona una comunicación segura con bajas tasas de transferencia y bajo consumo de energía. Para lograr una comunicación segura esta es autenticada y encriptado haciendo uso del cifrado AES de 128 bit. Además del uso de un Trust Center, mecanismo que permite el uso de una clave de enlace y una clave de red [6].

La característica más destacable de esta tecnología es que los nodos son auto-configurables y auto-regenerables, pues en caso de que un nodo falle el resto de nodos tiene la capacidad de re-enrutar los paquetes a fin de buscar nuevos caminos para su transmisión [6].

2.3.3.1. Capas del protocolo ZigBee

El estándar ZigBee está definido en capas de protocolos, basadas en el modelo de referencia OSI, como se puede observar en la Ilustración 1, entre sus capas tiene, la capa física y la capa de control de acceso al medio las cuales están definidas por el estándar IEEE 802.15.4, además tiene la capa de red que se encarga de gestionar las tareas de enrutar y mantenimiento de los nodos de la red y por último la capa de aplicación que proporciona una subcapa de aplicación (APS) que establece un interfaz para la capa de red, y los objetos de los dispositivos tanto de ZigBee como del diseñador [6].

Ilustración 1. Capas Protocolo ZigBee



Fuente: docs.digi.com.

Elaborado por: Digi (2017) [22]

- **Capa física:** Define las funciones y aspectos como potencia, transmisión y sensibilidad del receptor y se relaciona con la capa MAC. Sus funciones son: canales, numeración de canales, detección de energía, medición de portadora, indicador de calidad del enlace, evaluación de canal libre, cliente-servidor entre capas, interface entre capa física y MAC, área datos de la capa física [6].
- **Capa de acceso al medio (MAC):** La capa MAC es quien provee una interface entre la capa física y la próxima capa sobre la de MAC que en el caso de ZigBee es la de red. Dentro de sus funciones tenemos: operación de la red usando balizas, espaciado entre tramas, CSMA-CA, nodo oculto y nodo expuesto, formato de la trama [6].
- **Capa de red:** La capa ZigBee NWK (Network-Red) su trabajo es facilitar una interfaz al nivel superior para poder comunicarse con la MAC (Control de acceso al medio) de 802.15.4, esta es necesaria para ofrecer servicios a la capa inmediatamente superior, la capa de Aplicación, permite realizar operaciones sobre la capa inmediatamente inferior a la misma, la subcapa de MAC, definida en el IEEE 802.15.4-2003. Es decir, la capa de red hace de interfaz entre la capa de Aplicación y la de MAC. Una de las características

de la capa de red es que dispone una interfaz de dos servicios, con los que cubre las necesidades de la capa de Aplicación. Estos dos servicios son conocidos como Servicio de Datos y Servicio de Control [6]. Dentro de las funciones más importantes de esta capa encontramos:

- Establecer una nueva red brindando topologías como árbol o malla.
- Agregar o quitar a un dispositivo a/de la red.
- Garantizar la comunicación dentro de toda la red más allá del alcance de un único nodo.
- Configurar a un nuevo dispositivo para que pueda operar en la red.
- Asignar direcciones de red a los dispositivos brindando una interface unificada para todos ellos.
- Sincronizar entre dispositivos usando balizas o encuestas.
- Proveer seguridad.
- Rutear tramas a sus destinos.

• **Capa de aplicación:** Consiste en la subcapa APS (Application Support) y la ZDO (ZigBee Device Object). Responsabilidades: mantener las tablas para los enlaces (binding) que consiste en balancear o adaptar dos dispositivos entre ellos basados en los servicios y necesidades.

Cada subcapa se puede definir con:

- APS: trata de descubrir también a otros dispositivos que están operando en su mismo espacio operativo.
- ZDO: Define el rol de un dispositivo dentro de la red.

En la capa de aplicación se inician o responden pedidos de enlace y se establece una relación segura entre dispositivos seleccionando un método de seguridad como una clave [6].

2.3.3.2. Tipos de dispositivos ZigBee

Se definen tres tipos distintos de dispositivo ZigBee según su papel en la red:

- **Coordinador ZigBee (ZigBee Coordinator, ZC).** El tipo de dispositivo más completo. Debe existir uno por red. Sus funciones son las de encargarse de controlar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos [6].

- **Router ZigBee (ZigBee Router, ZR).** Interconecta dispositivos separados en la topología de la red, además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario [6].
- **Dispositivo final (ZigBee End Device, ZED).** Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías. Un ZED tiene requerimientos mínimos de memoria y es por tanto significativamente más barato [6].

2.3.4. Topologías de red

Dentro de una red los nodos pueden estar ubicados de diferentes maneras, esta configuración de la red o disposición física de los nodos se le conoce como topología de la red. Al escoger la topología se tienen en cuenta factores como facilidad de instalación, bajos costos, aprovechamiento del medio, tolerancia a fallos, etc. [23] ZigBee permite tres topologías de red, las cuales pueden apreciarse en la Figura 2:

- **Topología en estrella**

Características:

- Un coordinador con uno o varios nodos hijos.
- El rango de la red está limitado al rango de transmisión del coordinador.
- La red es fácil de configurar.
- El coordinador es el único nodo que rutea paquetes.

- **Topología en árbol**

Características:

- Los nodos ruteadores pueden tener nodos hijos.
- Hay comunicación directa solo a través de la relación padre-hijo
- Ruteo jerárquico con un único camino posible entre 2 nodos.

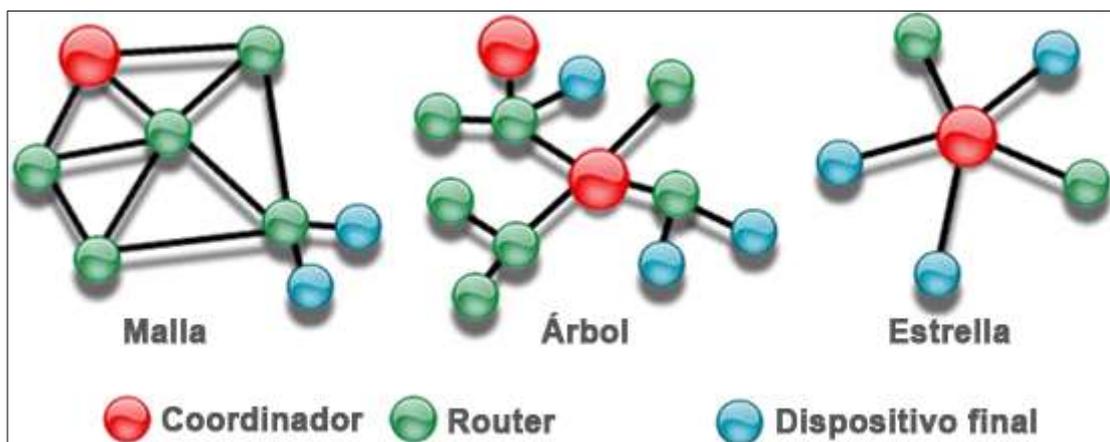
- **Topología de malla**

Características:

- Los nodos ruteadores pueden tener nodos hijos.

- Hay comunicación directa entre dos nodos FFD siempre que estén separados a una distancia menor al rango de transmisión entre ellos.
- Es posible el ruteo dinámico. El mejor paso es una optimización de gasto energético, tiempo, seguridad y confiabilidad [6].

Figura 2. Topologías ZigBee



Fuente: <http://www.logicbus.com.mx>

Elaborado por: Logicbus (2014) Tecnología Zigbee [24]

La topología más interesante es la topología de malla. Ésta permite que si, en un momento dado, un nodo del camino falla y se cae, pueda seguir la comunicación entre todos los demás nodos debido a que se rehacen todos los caminos. La gestión de los caminos es tarea del coordinador [6].

El autor [6] menciona la implementación de redes ZigBee se lleva haciendo uso de módulos compatibles con este protocolo de comunicación, como lo son los módulos XBee.

2.3.5. Módulo de comunicación inalámbrica XBee

Son pequeños chip que brindan un medio inalámbrico para la interconexión y comunicación entre dispositivos. Estos módulos utilizan el protocolo ZigBee para crear redes FAST POINT-TO-MULTIPOINT (punto a multipunto); o para redes PEER-TO-PEER (punto a punto). Fueron diseñados para aplicaciones que requieren de un alto tráfico de datos, baja latencia y una sincronización de comunicación predecible [6].

Existen diferentes tipos de módulos XBee entre los que destacan:

- *XBee Series 1*: Son los XBee más sencillos para trabajar, no necesitan ser configurados, pero incluso así se pueden obtener beneficios. Se basan en el chipset Freescale y está pensado para ser utilizado en redes punto a punto y punto a multipunto [6].
- *XBee Series 2*: Los módulos Serie 2 deben ser configurados antes de ser usados. Pueden funcionar en modo Transparente o por medio de comandos API, pero todo esto depende de cual firmware se configure en los módulos. También pueden funcionar en una red mesh, creando unos módulos totalmente configurables e increíbles, se basan en el chipset de Ember y están diseñados para ser utilizados en aplicaciones que requieren repetidores o una red mesh.

Los módulos de la Serie 1 y la Serie 2 tienen el mismo pin-out, sin embargo, no son compatibles entre sí ya que utilizan distintos chipset y trabajan con protocolos diferentes [6].

La comunicación entre los módulos se puede realizar de dos modos distintos que son:

- **Modo AT**: es el modo de transmisión serial transparente, en el cual el dispositivo se encarga de crear la trama y el dato que llegue al pin Tx será enviado de forma inalámbrica, su principal desventaja es que para enviar información a distintos nodos es necesario entrar constantemente al modo configuración para cambiar la dirección de destino [6].
- **Modo API**: En este modo un microcontrolador externo se debe encargar de crear una trama específica al tipo de información que se va a enviar, este modo es recomendado para redes muy grandes donde no se puede perder tiempo entrando y saliendo del modo configuración de los dispositivos. Para redes con topología en malla este es el modo a utilizar [6]. Existen dos modos API, el API 1 y el API 2, la única diferencia entre estos es que el API 2 requiere que las tramas utilicen caracteres de escape.

Ilustración 2. Estructura Trama API

| Start delimiter | Length | | Frame data | | | | | | | | Checksum |
|-----------------|--------|-----|------------------------|---|---|---|---|---|-----|---|-------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | ... | n | n+1 |
| 0x7E | MSB | LSB | API-specific structure | | | | | | | | Single byte |

Note MSB represents the most significant byte, and LSB represents the least significant byte.

Fuente: <https://docs.digi.com>

Elaborado por: Digi (2017) Frame Structure [25]

Donde el delimitador de inicio, es el que indica el inicio de cada trama y tiene una secuencia especial de bits, su valor siempre es 0x7E. La longitud especifica el número total de bytes incluidos en el campo de datos de la trama, el campo de datos contiene la información que se recibió o la que se va a transmitir, en este campo se debe indicar el tipo de trama cuyos indicadores se muestran en la Ilustración 3:

Ilustración 3. Delimitadores de inicio trama API

| API ID | Frame name | Description |
|--------|-----------------------------------|---|
| 0x08 | AT Command | Queries or sets parameters on the local XBee |
| 0x09 | AT Command Queue Parameter Value | Queries or sets parameters on the local XBee without applying changes |
| 0x10 | Transmit Request | Transmits wireless data to the specified destination |
| 0x11 | Explicit Addressing Command Frame | Allows ZigBee application layer fields (endpoint and cluster ID) to be specified for a wireless data transmission |
| 0x17 | Remote AT Command Request | Queries or sets parameters on the specified remote XBee module |
| 0x21 | Create Source Route | Creates a source route in the module |
| 0x24 | Register Joining Device | Registers a module with the Trust Center |

Fuente: <https://docs.digi.com>

Elaborado por: Digi (2017) Frame Structure. [25]

El último campo de la trama API es la suma de comprobación o checksum, este se calcula tomando la suma de hash de todos los bytes de la trama API que había antes de él, con exclusión de los tres primeros bytes y sirve para corroborar la integridad de los datos [26].

Los módulos XBee pueden ser configurados desde la computadora haciendo uso de programas como X-CTU, el cual nos permite acceder a los distintos parámetros

configurables del XBee, así como realizar pruebas de envío y recepción de tramas, también nos muestra una representación gráfica de la topología de la red [26].

2.3.6. Estándar GPRS

El sistema GPRS (Servicio General de Paquetes por Radio, por sus sigla en inglés) es una extensión del “Sistema Global para comunicaciones Móviles” (Global System for Mobile Communications o GSM) para la transmisión de datos mediante conmutación de paquetes, su principal objetivo es ofrecer un acceso a redes de datos estándar, como TCP/IP.

Con esta tecnología se pueden utilizar servicios como Wireless Application Protocol (WAP), servicio de mensajes cortos (SMS), Multimedia Messaging System (MMS), Internet y para los servicios de comunicación, como el correo electrónico y la World Wide Web (WWW).

Para fijar una conexión GPRS para un modem inalámbrico, un usuario debe especificar un APN, opcionalmente un nombre y contraseña de usuario, todo proporcionado por el operador de red. Una de las ventajas de esta es que un usuario GPRS sólo utiliza la red cuando envía o recibe un paquete de información lo cual permite a los operadores dotar a los usuarios de más de un canal de comunicación. Mientras que en GSM sólo se utiliza un canal de subida de datos del terminal a la red y otro canal de bajada de datos desde la red al terminal, en GPRS es posible tener terminales que gestionen dos canales simultáneos de subida y cuatro de bajada.

2.3.6.1. Clases de dispositivos

Existen tres clases de dispositivos móviles teniendo en cuenta la posibilidad de usar servicios GSM y GPRS simultáneamente:

- *Clase A:* Soporta activación simultánea en GPRS y GSM (registro, tráfico de voz y de paquetes).

- *Clase B*: Puede registrarse y activarse simultáneamente en GSM y GPRS, pero no soporta tráfico simultáneo de paquetes/CS sino secuencial.
- *Clase C*: Sólo se registra y soporta tráfico GPRS o GSM de forma alternativa. Pueden ser MS solo para GPRS (Mobile Internet, juegos en red, domótica, dispositivos de pago) o que soporten GPRS y GSM conmutando manualmente cada servicio [27].

2.3.6.2. Tipos de acceso

El acceso a las redes de datos externas puede ser:

- **Transparente**: El terminal obtiene una dirección IP perteneciente al rango de direcciones del operador GPRS. Esta dirección se asigna en el momento de activar el contexto PDP de manera dinámica.
- **No transparente**: El terminal obtiene una dirección IP perteneciente al espacio de direccionamiento de a Intranet o del ISP. Esta opción requiere la comunicación entre GGSN y el servidor de direcciones (HDCP o RADIUS) perteneciente a esa Intranet o al ISP correspondiente [28].

2.3.7. Comparación tecnologías inalámbricas

Como se observa en la Ilustración 4, existen varios estándares para la comunicación inalámbrica, cada uno con características distintas.

Ilustración 4. Comparación tecnologías inalámbricas

| Estándar | WI-FI 802.11 g | WI-FI 802.11 b | Bluetooth 802.15.1 | ZigBee 802.15.4 |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|--|
| Aplicación principal | WLAN | WLAN | WPAN | Control y Monitorización |
| Memoria necesaria | 1MB y más | 1MB y más | 250KB y más | 4KB a 32KB |
| Vida Baterías (días) | 0.5 a 5 | 0.5 a 5 | 1 a 7 | 100 a 1000 y más |
| Tamaño red | 32 nodos | 32 nodos | 7 | 65000 |
| Velocidad | 54Mbps | 11Mbps | 720Kbps | 20 a 250Kbps |
| Cobertura (Metros) | 100 | 100 | 10 | 100 |
| Parámetros más importantes | Velocidad y flexibilidad | Velocidad y flexibilidad | Perfiles de aplicación | Fiabilidad, bajo consumo y bajo costo. |

Fuente: Redes de sensores inalámbricos. Electronica.utfsm

Elaborado por: Ortiz, f. [29]

La tecnología Wi-Fi (Wireless Fidelity), basada en el estándar IEEE 802.11, es una de las tecnologías más populares hoy en día. Se trata de una tecnología de acceso inalámbrico a redes de comunicaciones de área local, o WLAN (Wireless Local Area Networks). Sus velocidades de transmisión han permitido que Wifi se establezca como la tecnología predominante en el acceso inalámbrico de banda ancha a Internet, sin embargo al contar con la mayor velocidad de transmisión también es la tecnología que tiene un mayor consumo de energía, características que la hacen inapropiada para utilizarla como protocolo de comunicación en una WSN [26].

Por otra parte, Bluetooth (IEEE 802.15.1) está diseñada para crear redes inalámbricas de área personal (WPAN) entre máximo 7 dispositivos, cuyo propósito es la conexión, intercambio de información y transmisión de voz entre dispositivos móviles tales como portátiles, teléfonos móviles, etc., esto a través de una conexión de radio segura entre dispositivos que se encuentren a una distancia máxima de 10 metros; si bien el consumo energético de Bluetooth es menos que el de WIFI, la cobertura y el tamaño de estas redes, no son las más apropiadas para la implementación de una WSN [26].

Finalmente encontramos la tecnología ZigBee, que en comparación con WIFI y Bluetooth, esta ofrece una mayor flexibilidad de la red, la cual puede estar constituida de 65535 nodos distribuidos en subredes de 255 nodos; además ofrece un bajo consumo de energía, ideal para aplicaciones de control y monitorización que requieren una larga duración de baterías, este bajo consumo es logrado en parte por las bajas tasas de transferencia implementadas por esta tecnología. Todas estas características hace de ZigBee la tecnología más idónea para la implementación de WSN [26].

2.3.8. Arduino

Arduino es una plataforma de desarrollo electrónico, de hardware libre, integrada por un microcontrolador y diversos pines analógicos y digitales para la entrada y salida de datos, a estos pines se pueden conectar diversos sensores que permiten recopilar multitud de información del entorno sin excesiva complejidad, también pueden conectarse diversos módulos para ampliar sus capacidades, permitiendo además ser apiladas unas encima de

otras manteniendo un diseño modular. En la Figura 3 se puede apreciar este dispositivo [26].

Figura 3. Arduino MEGA 2560



Fuente: www.arduino.cc

Elaborado por: Arduino (2017) [30]

Arduino posee su propio entorno de desarrollo, bastante simple pero completo, el cual permite interactuar con la plataforma de manera muy sencilla a través de un computador, haciendo uso de comunicación serial mediante un convertidor de niveles RS-232 a TTL serial [26].

2.3.9. Módulo XBee

Módulo de comunicación ZigBee de 2,4Ghz de frecuencia de operación, que cumple con el estándar IEEE 802.15.4 con un alcance de 40m en interiores y 120m en exteriores. Con las siguientes características: [26]

- Antena: PCB
- Sensitividad: -96dBm
- Potencia de transmisión: 1,25mW (+1dBm)
- Voltaje de operación: 2,1V – 3,6V

Figura 4. Módulo XBee Serie 2



Fuente: Redes de sensores inalámbricos en cultivos agrícolas. ISBN: 978-3-8417-5238-3
Elaborado por: Jorge Gómez Gómez [26]

2.3.10. Shield XBee PRO

Este Shield XBee simplifica la tarea de interconectar un XBee con el Arduino. Esta tarjeta es compatible con la placa Arduino Mega o Arduino Uno, y se dota de capacidades de comunicación inalámbrica mediante el popular módulo XBee. Esta unidad funciona con todos los módulos XBee incluyendo la Serie 1 y Serie 2, la versión estándar y Pro [31].

Figura 5. XBee/ZigBee PRO Shield



Fuente: <http://www.dnatechindia.com>
Elaborado por: DNA Technology [31]

2.3.11. Módulo Shield GSM/GPRS/SMS

El minicore SIM900, es un pequeño módulo GSM/GPRS/SMS de 4 bandas (850, 900, 1800, 1900 MHz), para el desarrollo de comunicación y control remoto inalámbrico con microcontroladores, por vía de la red celular e internet, ya sea utilizando mensajes cortos SMS o bien enlaces por vía GPRS [32].

El chip SIM900 es el circuito base del minicore, e integra en su firmware el stack TCP-IP, de tal manera de hacer posible la comunicación GPRS entre un sistema microcontrolador con un servidor de internet (web server) [32].

El minicore SIM900 incluye un receptáculo estándar para el chip SIM de cualquier operador de red telefónica celular, un conector para entrada de alimentación externa, un circuito MAX232 con la interfaz RS232 completa, y la antena GSM [32].

El GSM (Global System for Global Communications) es el sistema de comunicaciones que más se utiliza en teléfonos móviles y es un estándar en Europa. La primera funcionalidad de esta tecnología es la transmisión de voz, pero también permite la transmisión de datos (SMS, Internet), eso sí, a una velocidad muy baja de 9Kb/s [33].

El GPRS (General Packet Radio Service) es una extensión del GSM basada en la transmisión por paquetes que ofrece un servicio más eficiente para las comunicaciones de datos, especialmente en el caso del acceso a Internet. La velocidad máxima (en teoría) del GPRS es de 171Kb/s, aunque en la práctica es bastante más pequeña [33].

Figura 6. Shield módulo GSM/GPRS/SMS SIM900



Fuente: <http://www.prometec.net>
Elaborado por: PROMETEC [33]

2.3.12. Sensor de Control de Calidad Aire MQ-135

Se utilizan en equipos de control de calidad del aire para edificios y oficinas, son adecuados para la detección de NH₃ (Amoníaco), NO_x (Óxidos de nitrógeno), alcohol, benceno, humo, CO₂ (dióxido de carbono), etc. [34]

Figura 7. Sensor de Aire MQ-135 Arduino-Pic



Fuente: Naylamp Mechatronics

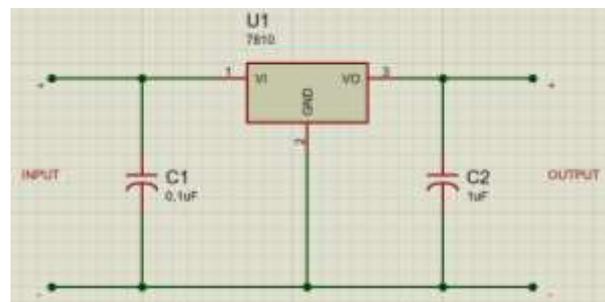
Elaborado por: Naylamp Mechatronics [34]

Este sensor de control de calidad de aire es usado para la detección de contaminación en el medio ambiente, por lo general es implementado en circuitos de control como alarmas en las casas, sitios donde se desea prevenir altos niveles de contaminación a nivel aeróbico como industrias que manejan compuestos químicos que pueden ser nocivos también para la salud, especialmente en equipos controladores de calidad de aire en edificios/oficinas. Este sensor se encarga de la detección de concentración de gas en diversos porcentajes, tal y como los son sus análogos MQ-3/4/5 [35].

2.3.13. Estabilizador de Voltaje

Un regulador de voltaje es un dispositivo electrónico que tiene la capacidad de recibir una tensión determinada y entregar una tensión menor, disipando la tensión sobrante en forma de calor. El regulador de voltaje KA7810 es capaz de recibir un voltaje de hasta 14V y lo tiene estable en la tensión de 9.80V, el cual se aprecia en la Ilustración 5.

Ilustración 5. Regulador de Voltaje



Fuente: Conocimientos propios.

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María Belén (2017)

2.3.14. Controlador solar

Un controlador de carga solar es el centro de control de la batería fuera de la red del sistema de energía que hace uso de la matriz de células solares para proteger las baterías del exceso de carga y sobre-descarga, por lo que la vida útil de la misma puede ser extendida.

Figura 8. Controlador Solar



Fuente: Redes de sensores inalámbricos en cultivos agrícolas, 2016 ISBN: 978-3-8417-5238-3
Autor: Jorge Gómez Gómez [26]

2.3.15. Panel Solar

Un panel solar es un dispositivo formado por células solares compuestas de silicio, quienes convierten la radiación proveniente del sol en energía eléctrica.

Existen distintos tipos de paneles solares esto según la forma en que generan la energía, están los termodinámicos, este tipo de panel es capaz de captar energía de distintos estados meteorológicos, como la luna, el viento, la lluvia, etc. Los paneles solares térmicos, están compuestos por un líquido caloportador, el cual se calienta con los rayos del sol y transfiere dicho calor hacia un depósito acumulador de calor y por último tenemos los paneles solares fotovoltaicos en este tipo de panel la energía de la radiación solar se transmite a los electrones de los materiales semiconductores, que consiguen así separarse del núcleo y trasladarse, creando así una corriente eléctrica [36].

Figura 9. Panel Solar



Fuente: Redes de sensores inalámbricos en cultivos agrícolas, 2016 ISBN: 978-3-8417-5238-3
Autor: Jorge Gómez Gómez [26]

2.3.16. Batería de ácido plomo

El acumulador o batería de plomo, también denominada batería de ácido-plomo es un tipo de batería (batería húmeda) muy común en vehículos convencionales, como batería de arranque, aunque también se utilizan como batería de tracción de vehículos eléctricos. Suele proporcionar una tensión de 6V, 12V u otro múltiplo de 2, ya que la tensión que suministra cada celda es de 2V. Pueden suministrar unas intensidades de corriente relativamente grandes, lo que la hacen ideales para los motores de arranque. Aunque su utilización y forma más conocida es la batería de automóvil, este acumulador tiene muchas aplicaciones.

Figura 10. Batería



Fuente: Redes de sensores inalámbricos en cultivos agrícolas, 2016 ISBN: 978-3-8417-5238-3
Autor: Jorge Gómez Gómez [26]

2.3.17. Microsoft Visual Studio

Es un entorno de desarrollo integrado (IDE, por sus siglas en inglés) para sistemas operativos Windows. Soporta múltiples lenguajes de programación tales como C++, C#,

Visual Basic.NET, F#, Java, Python, Ruby, PHP; al igual que entornos de desarrollo web como ASP.NET MVC, Django, etc., a lo cual sumarle las nuevas capacidades online bajo Windows Azure en forma del editor Monaco.

Visual Studio permite a los desarrolladores crear sitios y aplicaciones web, así como servicios web en cualquier entorno que soporte la plataforma .NET (a partir de la versión .NET 2002). Así se pueden crear aplicaciones que se comuniquen entre estaciones de trabajo, páginas web, dispositivos móviles, dispositivos embebidos, consolas, entre otros.

2.3.18. Arduino IDE

El software de código abierto Arduino (IDE) hace que sea más fácil de escribir el código y cargarlo. Se ejecuta en los sistemas Windows, Mac OS X y Linux. El entorno está escrito en Java y basado en procesamiento y otro software de código abierto. Este software se puede utilizar con cualquier tarjeta Arduino.

2.3.19. X-CTU Software

Es una aplicación multi-plataforma gratuita diseñada para permitir a los desarrolladores interactuar con los módulos Digi XBee® a través de una interfaz gráfica fácil de usar.

2.4. Marco Legal

Se hará mención de las leyes que rigen en el Estado ecuatoriano las cuáles establecen normativas claras.

2.4.1. Constitución de la República del Ecuador

La Constitución de la República del Ecuador (2008), en el Capítulo Séptimo hace referencia a los Derechos de la Naturaleza:

Artículo 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observaran los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda.

El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

2.4.2. Código Orgánico Integral Penal

El Código Orgánico Integral Penal, en su Artículo 246, sobre incendios forestales y de vegetación, señala que:

Artículo 246.- Incendios forestales y de vegetación.-La persona que provoque directa o indirectamente incendios o instigue la comisión de tales actos, en bosques nativos o plantados o páramos, será sancionada con pena privativa de libertad de uno a tres años. [3]

Se exceptúan las quemas agrícolas o domésticas realizadas por las comunidades o pequeños agricultores dentro de su territorio. Si estas quemas se vuelven incontrolables y causan incendios forestales, la persona será sancionada por delito culposo con pena privativa de libertad de tres a seis meses.

Si como consecuencia de este delito se produce la muerte de una o más personas, se sancionará con pena privativa de libertad de trece a dieciséis años.

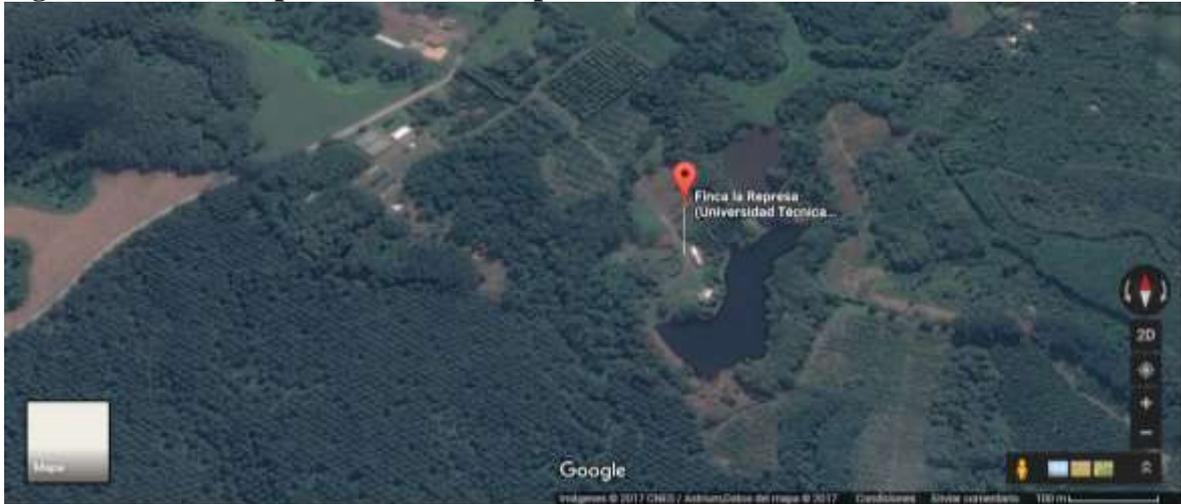
CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

El escenario de aplicación está ubicado en la Finca Experimental “La Represa” de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Figura 11. Finca Experimental "La Represa"



Fuente: Google Maps.

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María Belén (2017)

El trabajo se realizó en la Finca Experimental “La Represa” campus de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ). Se encuentra localizada en el Km 7,5 de la vía Quevedo-Babahoyo, en el Recinto Fayta, de la parroquia San Carlos, del cantón Quevedo, provincia de Los Ríos.

Finca Experimental “La Represa” cuenta con diferentes áreas dedicadas a: investigación, producción y conservación de recursos naturales; permitiendo así que los estudiantes universitarios puedan realizar sus diferentes prácticas e investigaciones. Posee diferentes zonas como: vivero forestal, banco de germoplasma, sistemas agroforestales, orquideario, área de producción de abonos orgánicos, laguna, área de cacao, banco de especie, plantación de teca, plantación de pachaco, cultivo de naranja, plantación de melina.

El clima que prevalece en este sitio es seco-tropical con una temperatura media que oscila entre los 24 y 33 °C.

Tabla 1. Condiciones meteorológicas del área de estudio.

| | |
|-------------------------|--------------|
| Latitud | 01° 05' S |
| Longitud | 79° 27' W |
| Altura | 75 m.s.n.m |
| Precipitación promedio | 269,12 mm |
| Temperatura media anual | 24,93 °C |
| Humedad relativa | 85,5% |
| Heleofania media anual | 84,325 h/luz |

Fuente: datos tomados de los archivos de la estación meteorológica del INAMHI, ubicado en la Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP (Vera, 2015)

Elaborado por: INAMHI [37]

Agua: La finca posee tres espejos de agua represados con un total aproximado de 5has. También posee un pozo profundo para el abastecimiento de agua para el área de vivero.

Flora: Se encuentran establecidas 60 especies forestales en un sitio determinado (Banco de Especies Forestales), así como también otras especies distribuidas en toda el área, además se cuenta con: proyectos agroforestales, viveros: ornamental, forestal y de investigación (forestal).

Fauna: Se producen ovinos tropicales, cuyes, conejos de manera controlada y en forma natural se cuenta con una gran diversidad de aves de la zona, así como animales menores en estado natural.

3.2. Tipo de investigación

El presente proyecto se realizó bajo un tipo de investigación descriptiva, debido que para iniciar con el desarrollo del mismo, primero se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la información pertinente, recopilado de artículos científicos, revistas, libros, trabajos realizados y demás, para posteriormente determinar puntualmente los alcances, limitaciones y resultados que se pueden llegar a presentar. Partiendo de esta determinación de factores influyentes determinar qué tipo de tecnología podría ofrecer mejores resultados para el desarrollo del proyecto.

3.3. Diseño de la investigación

Fase 1: Análisis de la información

En esta fase se realizó un estudio del tema a tratar y su respectivo entorno, determinando así los incendios forestales como tema principal y con el análisis de avances, estudios y trabajos realizados sobre el diseño de sistemas de apoyo de incendios forestales basado en WSN y las diferentes tecnologías existentes para los mismos, se pudo elegir el hardware adecuado para el presente proyecto. Una vez obtenida toda la información se procedió a definir los requerimientos tanto funcionales como no funcionales de los elementos que componen el sistema.

Para efectuar el cumplimiento de esta fase se llevaron a cabo las siguientes actividades.

- **Recopilación de información**

Se realizó una investigación profunda en diferentes fuentes tales como artículos científicos, revistas especializadas, estudios y proyectos realizados, también se hizo uso de la llamada literatura gris o lectura no convencional, que comprende un sin número de documentos obtenidos de la Web entre ellos el portal de la IEEE, para determinar el estado del arte de las redes de sensores inalámbricos.

- **Elección del hardware**

De acuerdo a la información recolectada en la actividad anterior referente a las tecnologías utilizadas en el diseño de las WSN, se eligieron los sensores a utilizar para detección de humo, así como los elementos necesarios para crear la red inalámbrica, es decir: los módulos de comunicación, placas de desarrollo, fuentes de energía, y demás elementos necesarios para realizar las conexiones tales como adaptadores y cables especiales. Todo esto teniendo en cuenta una de las características principales de las redes inalámbricas de sensores como lo es el bajo consumo de energía.

- **Definición de requerimientos**

En esta actividad se identificaron los requerimientos funcionales y no funcionales a los cuales debe estar sujeto el sistema para cumplir con las especificaciones planteadas, estos se definieron de una forma clara y detallada a fin de garantizar que sean implementados de forma adecuada.

Fase 2: Diseño

Teniendo en cuenta la información recopilada en las fases anteriores se procede a definir la arquitectura del sistema, así como las herramientas de programación y configuración disponibles para lograr el desarrollo de las arquitecturas propuestas, además se elaboraron

los diferentes diagramas en los que se plasma gráficamente, la forma en que interactúan los elementos del sistema.

- **Arquitectura del sistema**

Para el diseño de la arquitectura del sistema en primera instancia se definió la arquitectura de la red inalámbrica de sensores, estableciendo la topología bajo la cual va a operar y los protocolos de comunicación utilizados para la conexión entre los nodos de la red.

- **Diseño del sistema**

En esta actividad se plasmó visualmente cómo está constituido el sistema, por ello en esta fase se realizaron los diagramas de bloques, de secuencia, relación, casos de uso, con los que se muestra gráficamente cómo se comporta el sistema a la hora de realizar las respectivas interacciones con el usuario y cada uno de los procesos asociados a la administración de la información.

Fase 3: Desarrollo

De acuerdo con el diseño realizado en la fase anterior, se inicia la construcción del sistema teniendo en cuenta los requerimientos, diagramas y la arquitectura del mismo definidos anteriormente. En esta fase se realiza la configuración y programación de cada uno de los elementos que componen la red inalámbrica de sensores, así como el desarrollo del software que comprende la aplicación de escritorio, los cuales permiten demostrar de forma comprensible y amigable con el usuario la información obtenida por la red inalámbrica.

- **Configuración de la red inalámbrica de sensores**

Una vez realizadas las actividades anteriormente descritas se inicia el proceso relacionado con la configuración de los módulos de comunicación de la red inalámbrica basándose principalmente en los requerimientos planteados en la fase de análisis y las especificaciones definidas en la fase de diseño, estas configuraciones se realizaron por medio de una plataforma que permite la interacción con los módulos de comunicación necesarios para la red inalámbrica.

- **Programación de los nodos**

Luego de haber cumplido a cabalidad la actividad anterior relacionada con la configuración de los módulos de comunicación se procede a programar cada uno de los nodos sensores y

nodo coordinador para lograr la comunicación entre los mismos, además se programan cada uno de los sensores para obtener los datos de las variables ambientales a medir.

- **Desarrollo del software**

Para esta actividad se desarrolló la aplicación de escritorio realizado siguiendo paso a paso los procesos definidos en los diagramas, especificaciones de caso de uso, requerimientos funcionales y no funcionales, tomando como referencia la arquitectura definida para obtener un óptimo funcionamiento del sistema.

Fase 4: Montaje y Pruebas del sistema.

En esta fase se procede a ubicar cada uno de los nodos y elementos pertenecientes a la red dentro del área a monitorear, además de alojar la aplicación de escritorio en la PC principal. También se realizaron diversas pruebas a fin de comprobar el correcto funcionamiento del sistema de acuerdo a ciertas acciones realizadas, además se analizaron y corrigieron los fallos presentados.

- **Ubicación de los nodos**

En esta actividad se ubicaron de manera estratégica cada uno de los nodos dentro del área de muestreo seleccionada, teniendo en cuenta los rangos de distancias que abarca cada uno de los nodos en base a los módulos de comunicación que estos utilizan.

- **Pruebas del sistema**

Una vez ubicados los nodos se procede a realizar diversas pruebas a fin de comprobar el correcto funcionamiento del sistema. Primero, se verificó la obtención de datos por medio de los sensores, segundo que existiera comunicación entre los nodos de la red; tercero, que los datos enviados por los nodos sensores llegaran correctamente al nodo coordinados; cuarto, se verificó la correcta comunicación entre el nodo coordinador y la aplicación de escritorio; por último se realizaron pruebas para verificar la autosuficiencia energética de los nodos.

- **Análisis de resultados y corrección de fallos**

Luego de realizar las pruebas anteriormente descritas se procede a analizar cada uno de los datos obtenidos, a fin de verificar que estos si correspondieran a los requerimientos del sistema previamente establecidos, logrando así identificar diferentes fallos para su posterior corrección.

3.4. Recursos humanos y materiales

3.4.1. Recursos humanos

Docentes:

- FCI de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Autores:

- Solís López Cinthia Katherine
- Vicuña Gaibor María Belén

Director de Proyecto de Investigación:

- Ing. Ángel Torres Quijije, MSc.

3.4.2. Recursos materiales

3.4.2.1. Materiales (Hardware)

Tabla 2. Requerimientos del hardware

| Cantidad | Equipo | Descripción |
|----------|---------------------|--|
| 1 | Computador portátil | Características: <ul style="list-style-type: none">✓ Intel® Core™ i3-2330M✓ 4Gb RAM✓ 1 TB Disco Duro |
| 1 | Computador portátil | Características: <ul style="list-style-type: none">✓ Intel® Core™ i5-3230M✓ 8Gb RAM✓ 600Gb Disco Duro |
| 1 | Impresora | Epson L210 con sistema de tinta continua |
| 1 | Memoria USB | <ul style="list-style-type: none">✓ Kingston DataTraveler® 100 G3✓ Capacidad 16Gb |

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

3.4.2.2. Materiales (Software)

Tabla 3. Requerimientos del software.

| Tipo | Descripción |
|-------------------------|---|
| Arduino IDE | Versión 1.8.1. para Windows 64 bits |
| Software Utilitario | MS Office 2013 <ul style="list-style-type: none">• Word• Excel• Power Point |
| X-CTU | Es una aplicación multi-plataforma gratuita diseñada para permitir a los desarrolladores interactuar con los módulos Digi XBee® a través de una interfaz gráfica fácil de usar. |
| Microsoft Visual Studio | Entorno de programación. |
| Microsoft SQL Server | Gestor de base de datos. |

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

3.4.2.3. Materiales de campo

- Arduino
- Módulo XBee
- Módulo Shield para XBee
- Sensor de humo
- Paneles solares
- Módulo GSM

3.4.2.4. Materiales de oficina

- Hojas de papel bond tamaño A4
- Internet
- Flash Memory
- CD

3.4.2.5. Presupuesto

Tabla 4. Presupuesto del proyecto de investigación.

| Cantidad | Descripción | Valor Unitario | Valor Total |
|----------|--|-----------------|-------------|
| 3 | Sensor de Aire Mq-135 | \$7,50 | \$22,50 |
| 3 | Shield para XBee PRO | \$14,00 | \$42,00 |
| 4 | Módulo XBee S2 | \$50,00 | \$200 |
| 4 | Arduino | \$48,00 | \$192,00 |
| 1 | Shield Modem GSM GPRS SMS SIM900 Ideal Arduino | \$75,00 | \$75,00 |
| 4 | Panel Solar 6V – 300mA | \$13,00 | \$52,00 |
| 2 | Transistor 2N3904 | \$0,15 | \$0,30 |
| 4 | Diodos 1N4007 | \$0,10 | \$0,40 |
| 2 | Regulador LM317 | \$0,50 | \$1,00 |
| 2 | Diodo Zener de 6.8V 1W | \$0,25 | \$0,50 |
| 4 | 100uF (Condensador, Electro., 16V) | \$0,10 | \$0,40 |
| 2 | Diodo LED | \$0,10 | \$0,20 |
| 2 | Fusible 22MM | \$0,15 | \$0,30 |
| 2 | 680Ω (Resistencia 0,25W) | \$0,05 | \$0,10 |
| 2 | LM7805 | \$0,75 | \$1,50 |
| 4 | Baquelitas 10x10 | \$0,60 | \$2,40 |
| 2 | 1KΩ Potenciómetro | \$0,40 | \$0,80 |
| 2 | Resistencias 180Ω | \$0,05 | \$0,10 |
| 2 | Resistencias 1KΩ | \$0,05 | \$0,10 |
| 2 | Resistencias 10Ω | \$0,05 | \$0,10 |
| 10 | Conectores terminales de 2 tornillos | \$0,25 | \$2,50 |
| 2 | Cajas Lisa 20x17 | \$10,25 | \$20,50 |
| 2 | Cajas portables PVC plásticas | \$0,65 | \$1,30 |
| 4 | Terminales | \$0,15 | \$0,60 |
| 1 | Batería seca 5AH | \$30,00 | \$30,00 |
| 1 | Batería seca 4AH | \$17,00 | \$17,00 |
| 4 | Mts. Cable dos en uno #20 R/N | \$0,40 | \$1,60 |
| 2 | Plug DC-12V | \$0,25 | \$0,50 |
| 2 | Switch on/off | \$0,50 | \$1,00 |
| 4 | Disipador de calor | \$0,25 | \$1,00 |
| 2 | Portafusibles 22MM | \$0,30 | \$0,60 |
| 1 | Estaño | \$1,00 | \$1,00 |
| 1 | Cautín Amarillo | \$2,50 | \$2,50 |
| 1 | Punta cautín fina | \$2,00 | \$2,00 |
| 2 | Mica 4 tornillo | \$0,25 | \$0,50 |
| 2 | Acrílicos | \$5,00 | \$10,00 |
| 2 | Viniles | \$3,00 | \$6,00 |
| 2 | Panel solar 18V-20W | \$65,00 | \$130 |
| 2 | Baterías 12V- 9AH | \$30,00 | \$60,00 |
| 2 | Controlador Solar | \$25,00 | \$50,00 |
| | | SUBTOTAL | \$930,30 |
| | | IVA | \$10,42 |
| | | TOTAL | \$940,72 |

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

CAPÍTULO IV

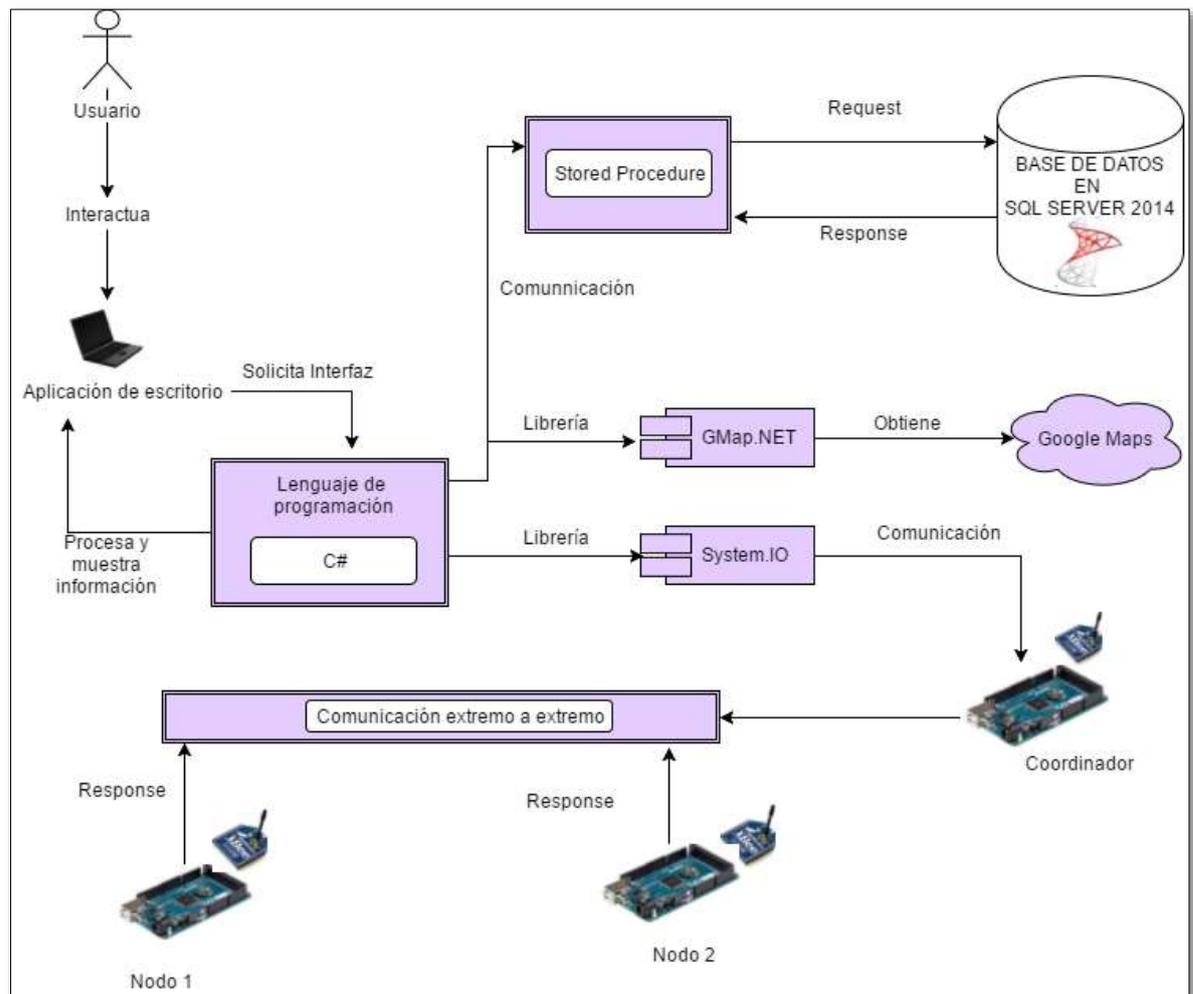
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.Resultados

4.1.1. Resultados del diseño de un sistema de comunicaciones para la detección temprana de incendios forestales mediante redes de sensores inalámbricos

En el siguiente diagrama de bloques se presentan las diferentes arquitecturas para el sistema Forest Fire System.

Ilustración 6. Diagrama general del sistema.



Fuente: La investigación

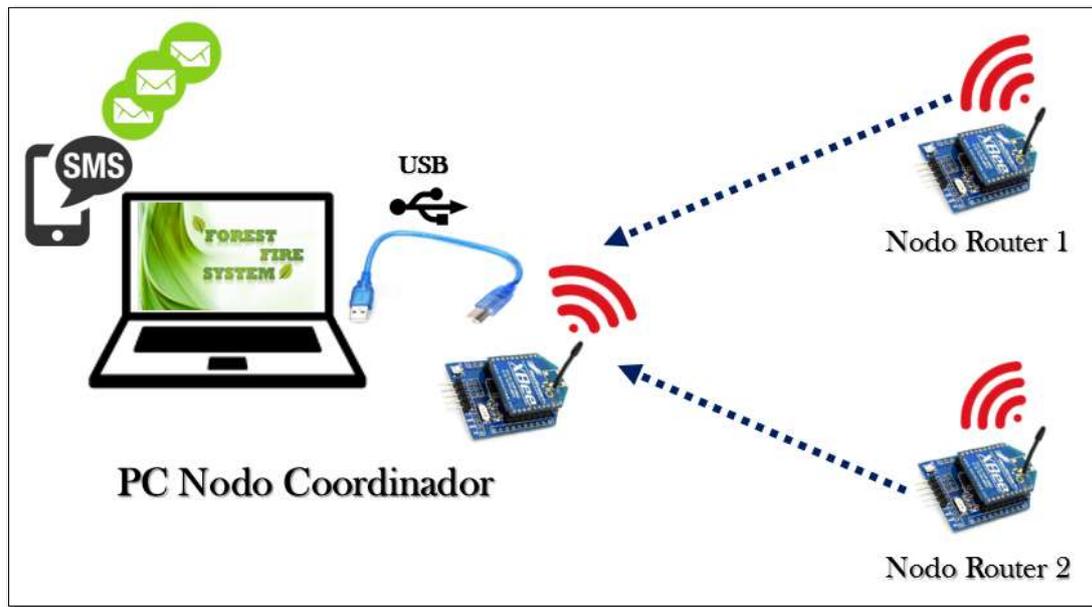
Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Arquitectura del sistema

Con la finalidad de aportar a la solución de problemas propios de la detección temprana de incendios forestales vinculando nuevas tecnologías, el presente trabajo se desarrolló siguiendo la arquitectura del sistema plasmada en la ilustración 7 representada de forma

general, la cual consta de una red inalámbrica de sensores constituida por 2 nodos router que operan bajo una topología tipo estrella, los cuales se encargarán de tomar la información del medio a través de los sensores y enviarla hacia el nodo coordinador a través del protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4), el nodo coordinador por su parte recibe dicha información y la presenta en una aplicación informática de escritorio alojada en el computador del administrador de la Finca Experimental “La Represa”. Además haciendo uso de la tecnología GSM/GPRS transmitir un mensaje de texto a los destinatarios.

Ilustración 7. Arquitectura general del sistema.



Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

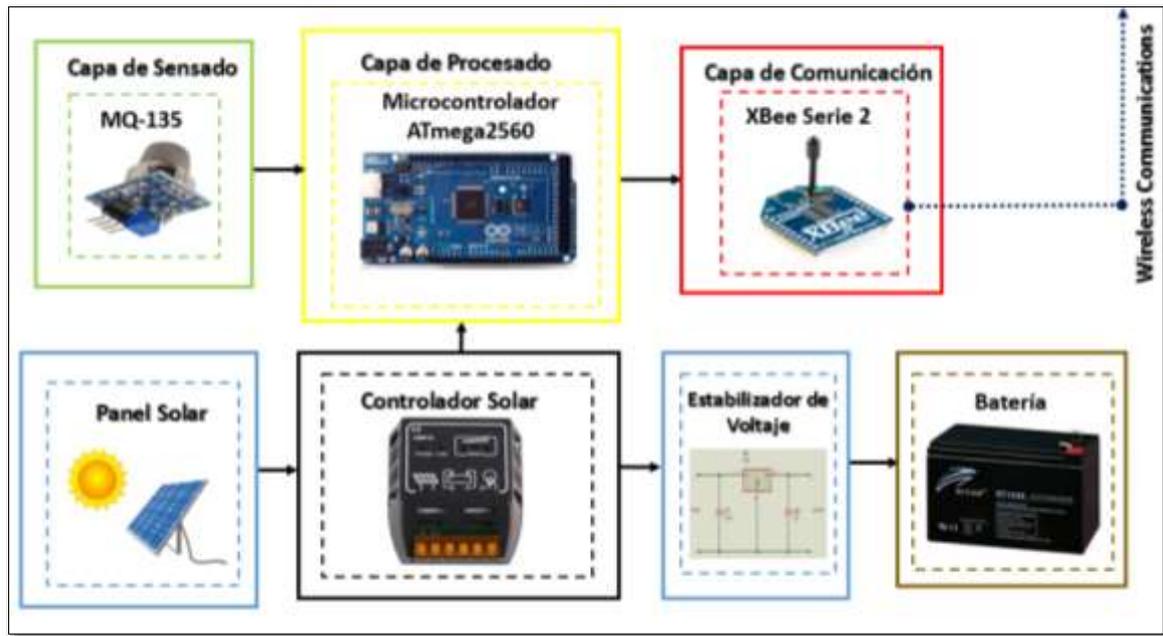
Arquitectura del Hardware

En la arquitectura del hardware se encuentra representada la forma como se comunican cada uno de los componentes de los nodos que forman parte de la red, además se muestra como se genera el flujo de la información.

- **Arquitectura del nodo sensor**

En la Ilustración 8, se observa la arquitectura interna de los nodos sensores, mostrando sus componentes y la manera en que estos interactúan entre sí. Estos nodos están formados por 3 capas: la capa de Sensado, capa de procesado y comunicación.

Ilustración 8. Arquitectura Nodo Sensor.



Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Capa de sensado: está compuesta por el sensor de humo MQ-135, el cual se conecta a los pines digitales de Arduino Mega para realizar la detección de presencia de humo. Los datos obtenidos en esta capa posteriormente son enviados a la capa de procesado.

Capa de procesado: está constituida por una placa de desarrollo Arduino Mega dotada de un microcontrolador ATmega2560 16AU en el cual se almacena el Sketch del programa.

Capa de comunicación: esta última capa consta de un módulo de comunicación XBee que cumple con el estándar IEEE 802.15.4 (ZigBee), el cual opera en la banda 2,4 GHz y tiene una velocidad de transmisión de datos de 250 kbps. Estos módulos se encuentran configurados como Router los cuales operan bajo el firmware XB24-ZB y funcionan en modo AT.

En esta capa se utilizó un módulo de comunicación XBee serie 2 que permite crear redes más robustas. Para la configuración de estos módulos fue necesario ensamblar el módulo XBee que se va a configurar a un XBee Shield PRO y al Arduino Mega 2560 para interactuar directamente con dicho módulo y de esta manera a sus configuraciones, haciendo uso de la aplicación X-CTU donde se configuran los parámetros más relevantes de la red tales como: el firmware de operación, PAN ID, DH, DL. Una vez se realizaron todas las configuraciones se permitió transmitir datos de forma inalámbrica hasta otros

módulos XBee pertenecientes a la red. En la tabla 9 se muestran los valores asignados a cada uno de los parámetros anteriormente mencionados.

Tabla 5. Circuito Configuraciones Nodo Sensor.

| Parámetro | Valor | Descripción |
|-----------|--------------------------|---|
| Firmware | ZigBee Router AT XB24-ZB | Firmware bajo el cual va a operar el módulo XBee |
| PAND ID | 2306 | Identificador de la red, este debe ser el mismo para todos los nodos de la red. |
| JV | ENABLED [1] | Verifica si existe un coordinador en el mismo canal para unirse a la red o para salir si no se puede encontrar. |
| DH | 0 | Dirección de destino (parte alta) para transmitir los datos. |
| DL | 0 | Dirección de destino (parte baja) para transmitir los datos. |

Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

- **Alimentación nodo sensor**

Para la alimentación de los nodos sensores se utilizó un controlador solar el cual posee terminales para batería y panel solar. En un terminal se conecta la batería recargable con un voltaje de 12V 9AH y en el otro se conecta el panel solar de 18V 20W. En la Ilustración 9 se observa el circuito utilizado para la alimentación del nodo sensor.

Ilustración 9. Circuito Alimentación Nodo Sensor.



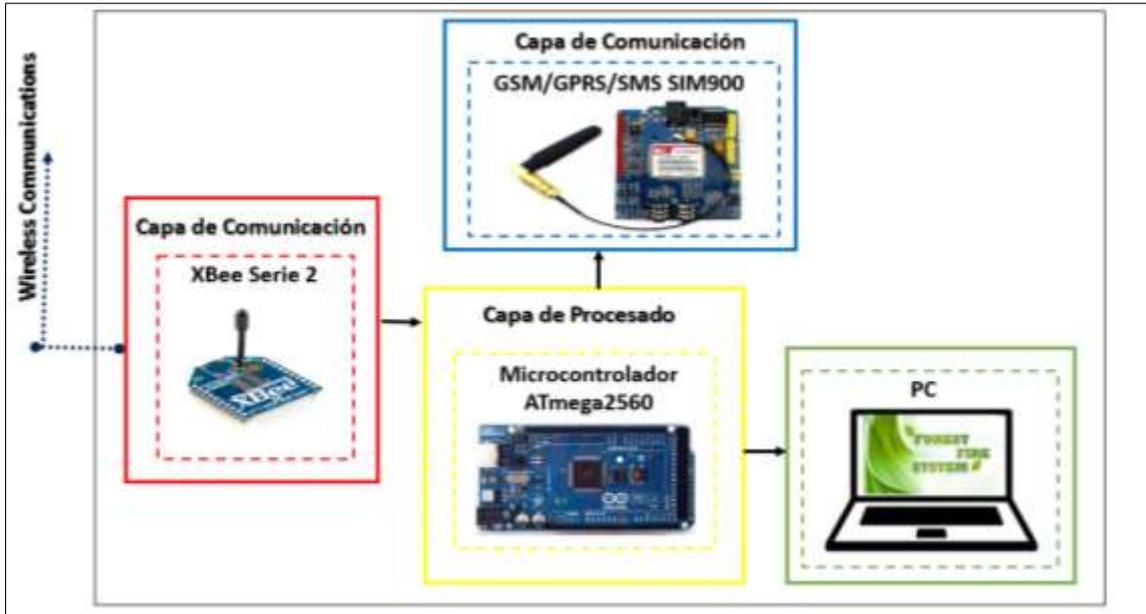
Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

- **Arquitectura del nodo coordinador**

Por su parte el nodo coordinador a diferencia del nodo sensor, no cuenta con capa de sensado, como se puede apreciar en la Ilustración 10, pues su función será la de servir como puente entre los nodos sensores y la aplicación de escritorio.

Ilustración 10. Arquitectura Nodo Coordinador



Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Capa de procesado: al igual que el nodo sensor esta capa está constituida por un microcontrolador ATmega2560, el cual debe realizar tres procesos de forma simultánea, primero debe procesar las tramas recibidas a través de la capa de comunicación, segundo enviarlas a la aplicación de escritorio y tercero enviar un mensaje de texto utilizando el módulo GSM/GPRS/SMS.

Capa de comunicación: compuesta por un módulo GSM/GPRS/SMS con una banda cuádruple que funciona en las frecuencias 850/900/1800/1900 MHz y un módulo de comunicación XBee. Por medio de este último el nodo coordinador recibe las tramas enviadas por los nodos sensores para posteriormente enviarlos a la capa de procesado. Una vez enviados los datos, estos serán recibidos y almacenados en la base de datos SQL Server.

A diferencia de la capa de comunicación del nodo sensor, esta capa cuenta con un módulo XBee S2C configurado como Coordinador el cual opera bajo el firmware XB24C y

funcionan en modo ZigBee TH REG; para configurar este módulo se realiza el mismo procedimiento que se llevó a cabo para configurar el módulo XBee del nodo sensor pero configurando otros parámetros. En la tabla 7 se muestran los valores asignados a cada uno de los parámetros.

Tabla 6. Configuraciones Nodo Coordinador

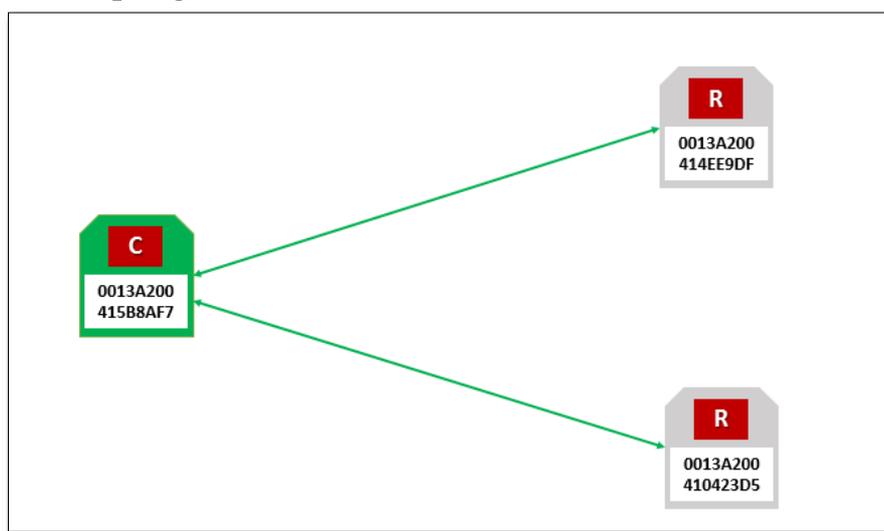
| Parámetro | Valor | Descripción |
|-----------|---------------------|---|
| Firmware | ZigBee TH REG XB24C | Firmware bajo el cual va a operar el módulo XBee |
| PAND ID | 2306 | Identificador de la red, este debe ser el mismo para todos los nodos de la red. |
| CE | ENABLED [1] | Establece el dispositivo como coordinador |
| DH | 0 | Dirección de destino (parte alta) para transmitir los datos. |
| DL | FFFF | Dirección de destino (parte baja) para transmitir los datos. |

Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Una vez configurados los parámetros de los módulos XBee se observa la topología de la red, como se aprecia en la Ilustración 11.

Ilustración 11. Topología de la red



Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Restricciones del sistema

A continuación se especifican las restricciones que tiene el sistema, las cuales deben tenerse muy en cuenta para lograr que el sistema funcione correctamente.

- El sistema se debe implementar en un área en la cual exista cobertura GSM.
- El módulo GSM/GPRS/SMS debe usar una SimCard Claro/Movistar/CNT, la cual debe tener activo un paquete de mensajes de texto, para el envío del SMS.
- La distancia entre los nodos de la red no debe ser superior a los 120m.
- Preferentemente la topografía del terreno debe ser llana.
- Debe existir un punto de corriente en la garita del lugar para la conexión de la PC.

4.1.2. Resultados de la implementación de un plan piloto en el campus Finca Experimental “La Represa” para la detección temprana de incendios forestales.

Para la implementación de la red inalámbrica de sensores se realizaron pruebas en la Finca Experimental “La Represa” provocando fuegos controlados para verificar el funcionamiento de los sensores, la comunicación entre los nodos de la red con el nodo coordinador y el nivel de autonomía energética.

Ilustración 12. Sistema para detección temprana de incendios forestales usando tecnología WSN.



Fuente: La investigación
Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Ilustración 13. Sistema para detección temprana de incendios forestales usando tecnología WSN.



Fuente: La investigación
Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

✓ **Resultados de pruebas de batería nodos sensores.**

Como se ha mencionado anteriormente el consumo de energía es un criterio muy importante en este tipo de redes, por lo cual se realizaron diversas pruebas a fin de determinar el nivel de autonomía energética.

Para definir el nivel de autonomía energético de los nodos se realizaron pruebas para determinar la durabilidad de la batería con la ayuda del panel solar, tal como se aprecia en la tabla tuvo una duración de 35 días (5 semanas), en las cuales la batería dependiendo del estado climático presentaba carga y descarga. El clima actual presente en la Finca “La Represa” es variable, se presentan condiciones de tiempo mayormente nublado, parcialmente nublado y soleado.

Tabla 7. Promedio de carga y descarga de la batería

| Prueba N° | Batería Voltaje | Batería Amperio Hora | Duración (Horas) | Promedio de carga | Promedio de descarga |
|-----------------|-----------------|----------------------|------------------|-------------------|----------------------|
| Semana 1 | 6V | 4AH | 168 | -3.91% | 10pm 5.79V |
| Semana 2 | 12V | 5AH | 168 | 6.01% | 15.59% |
| Semana 3 | 12V | 9AH | 168 | 3.03% | 3.49% |
| Semana 4 | 12V | 9AH | 168 | 1.20% | 3.60% |
| Semana 5 | 12V | 9AH | 168 | 4.88% | 3.25% |

Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

En la **semana 1** se utilizó una batería de 6V 4AH con 2 paneles solares conectados en serie de 6V- 2W cada uno concluyendo lo siguiente:

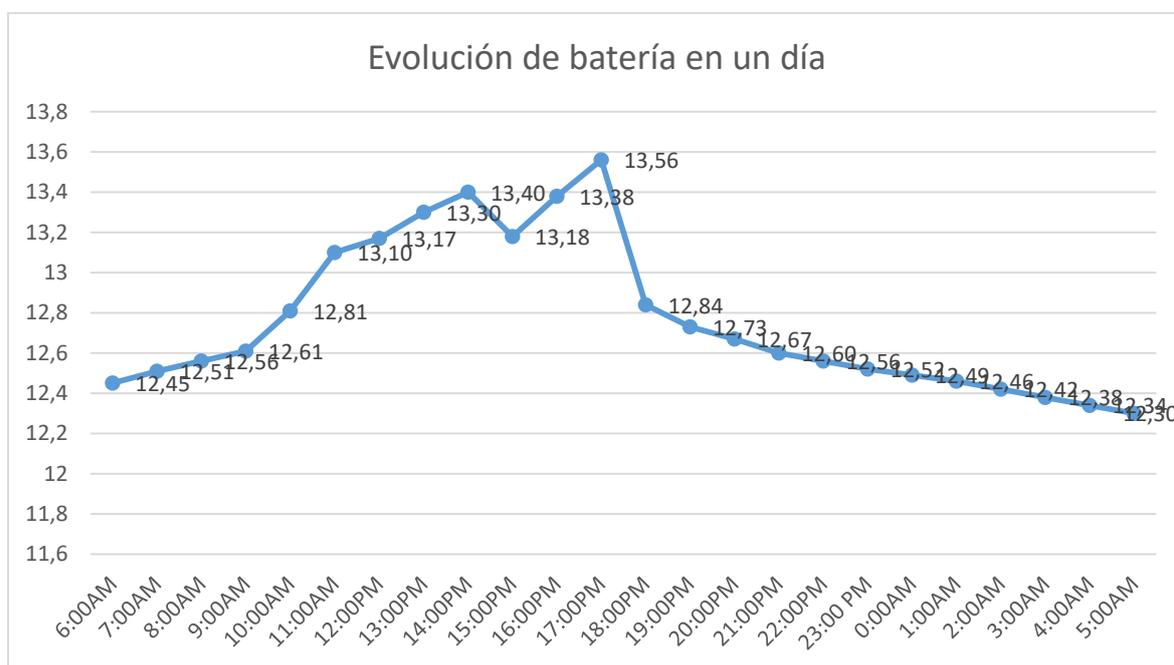
En las pruebas realizadas el porcentaje de carga fue de -3.91% porque el consumo energético de los equipos utilizados fue mayor a lo generado por las celdas fotovoltaicas. Por consiguiente durante la noche llega al tope límite (5.79V) lo cual produjo que el sistema deje de funcionar (10pm) y se determina la no autosuficiencia del sistema.

En la **semana 2** se utilizó una batería de 12V 5AH con un panel de 18V 20W concluyendo lo siguiente:

En las pruebas realizadas el porcentaje de carga fue de 6.01% mientras que el de descarga fue de 15.59% porque la capacidad de almacenamiento de la batería no satisface el consumo de los equipos. Por consiguiente durante la noche (12am) el controlador se desconectó al llegar al voltaje de 10.8V que es el valor mínimo para el funcionamiento según especificaciones técnicas del fabricante.

En la **semana 3** se utilizó una batería de 12V 9AH con un panel de 18V 20W concluyendo lo siguiente:

Figura 12. Evolución de batería tiempo parcialmente nublado.



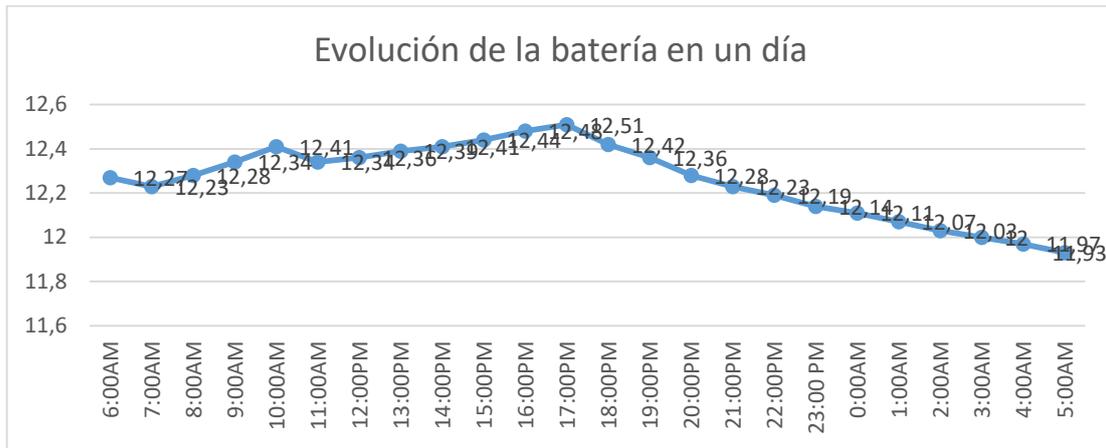
Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

La figura 12 presenta la evolución de la batería tomando como escenario un día de la semana en condiciones de tiempo parcialmente nublado, concluyendo que la carga inicial de la batería fue de 12,45V alcanzado su pico máximo a las 17:00 con 13,56V indistinto de las condiciones climáticas. Es decir si al amanecer la carga es considerable, al oca so mantendrá su voltaje óptimo para su funcionamiento durante la noche.

En la **semana 4** se utilizó una batería de 12V 9AH con un panel de 18V 20W concluyendo lo siguiente.

Figura 13. Evolución de batería en tiempo mayormente nublado



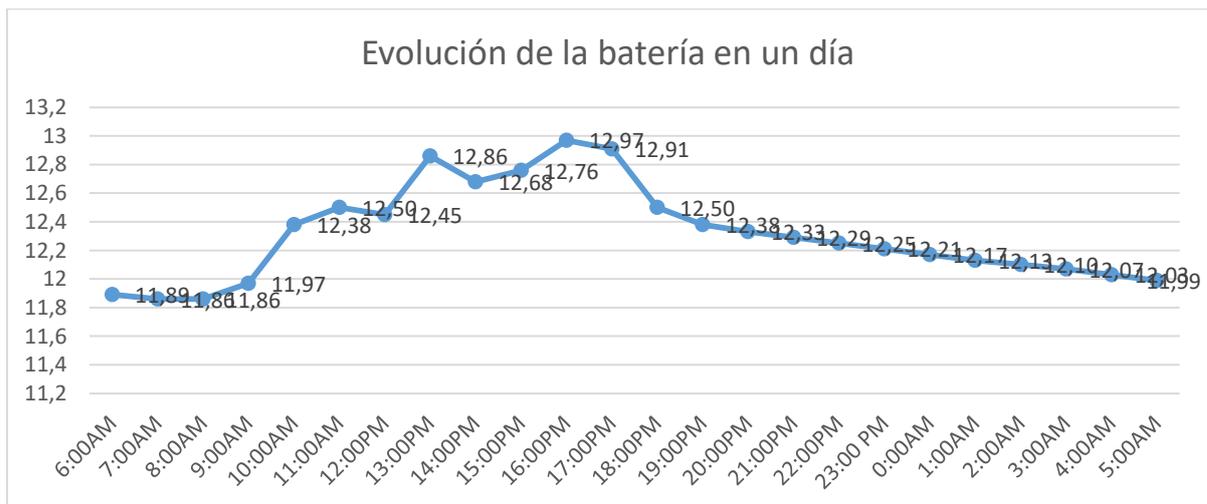
Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

La figura 13 presenta la evolución de la batería tomando como escenario una día de la semana en condiciones de tiempo mayormente nublado, es decir durante el día recibiendo un porcentaje de carga de 1.20% y durante la noche respondiendo satisfactoriamente y considerando su autonomía energética.

En la **semana 5** se utilizó una batería de 12V 9AH con un panel de 18V 20W concluyendo lo siguiente.

Figura 14. Evolución de batería en tiempo soleado



Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Por último, la figura 14 presenta la evolución de la batería tomando como escenario un día de la semana soleado, concluyendo que la carga inicial de la batería fue de 11,89V alcanzado su pico máximo a las 16:00 con 12,97V. Es decir si al amanecer la carga es baja durante días soleados su funcionamiento igualmente será óptimo.

A continuación se aborda los valores resultantes de diferentes parámetros entre ellos consumo energético, tiempo de respuesta y cobertura obtenidas por el sistema Forest Fire System.

Tabla 8. Energía consumida por el equipamiento del sistema.

| Equipamiento | Potencia en Vatios | Horas de uso diario | Energía consumida |
|-------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| Arduino Mega 2560 | 0.88W | 24 horas | 21.12W/día |
| XBee S2 | 0.18W | 24 horas | 4.32W/día |
| Shield para XBee | 0.2W | 24 horas | 4.8W/día |
| Sensor MQ-135 | 0.8W | 24 horas | 19.2W/día |
| Total | 2.06W | | 49.44W/día |

Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Tabla 9. Parámetros a considerarse en el proyecto de investigación.

| Variable Parámetro | Unidad de medida | Valores resultantes |
|---------------------|------------------|-------------------------------------|
| Consumo energético | Watts (W/día) | 49.44W/día |
| Tiempo de respuesta | Segundos (seg) | 35seg según la operadora telefónica |
| Cobertura | Metros(m) | Máximo 120m |

Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

El presente apartado determina un aproximado de la cantidad de nodos necesarios para abastecer de este sistema a todo el campus Finca Experimental “La Represa” con 91.18 ha, trabajo investigativo que debe considerarse en un futuro para un estudio previo.

Figura 15. Mapa de la posible ubicación de los nodos.



Fuente: La investigación
Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Tabla 10. Aproximación de la cantidad de nodos necesarios.

| APROXIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE NODOS SE UTILIZARÍA EN LA FINCA LA REPRESA DE UTEQ. | | | | | |
|--|-----------------------|------------------------|-------|------------------|-----------------|
| Hectáreas | Metros cuadrados | Rio | Nodos | Estimación x ha. | Total de nodos. |
| 91.18h | 911,800m ² | - 10.000m ² | 100m | 1nodo | 90 |

Fuente: La investigación
Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

4.1.3. Resultados de la recolección de la información de forma inalámbrica enviada por los dispositivos sensoriales en un nodo coordinador.

En esta prueba se realizó la comunicación entre sensores y la aplicación informática de escritorio, esto a fin de verificar el adecuado funcionamiento de la red inalámbrica.

Se procedió a realizar fuegos controlados a la cercanía (2m de altura) del nodo router 1 y 2. Como se muestra en la figura 16 y 17 estos fueron detectados por sus correspondientes sensores de humo los que accionaron la comunicación con el software y este emitió la alerta figura 18.

Figura 16. Nodo Router 1 detectando presencia de humo



Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Figura 17. Nodo Router 2 detectando presencia de humo



Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Figura 18. Software Forest Fire System emite una alerta audible y visual.

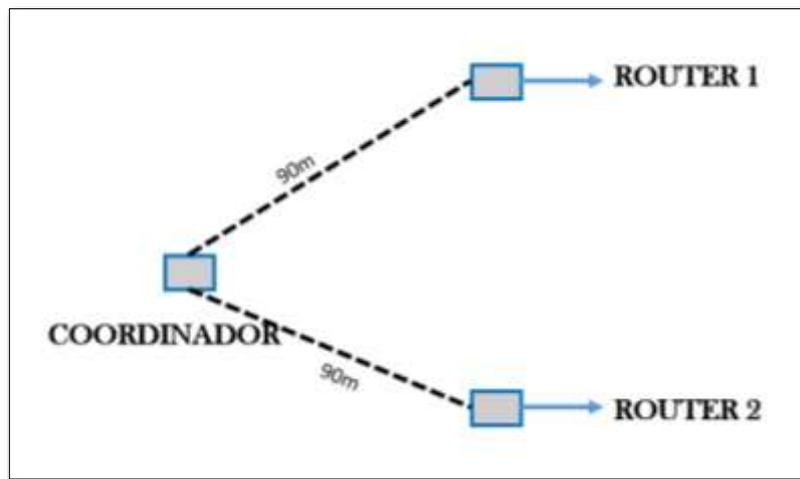


Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Los nodos Router 1 y Router 2 fueron ubicados dentro del área a monitorear en base al diagrama mostrado en la figura 19.

Figura 19. Diagrama despliegue de la red inalámbrica.



Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

En la figura 20 se observa finalmente los nodos sensores ubicados en la Finca Experimental “La Represa”.

Figura 20. Vista panorámica



Fuente: La investigación

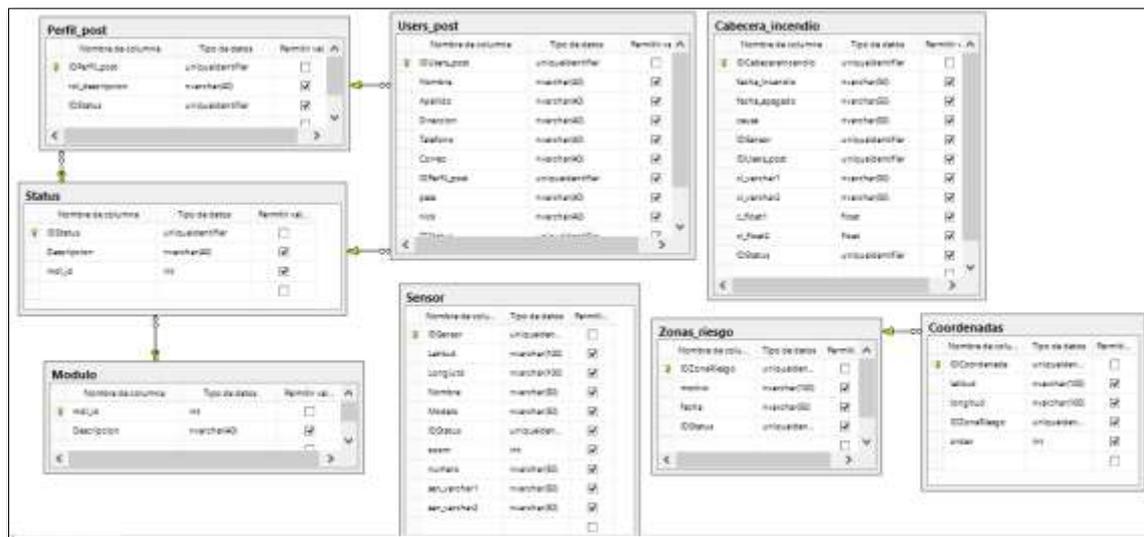
Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

4.1.4. Resultados del desarrollo de una aplicación informática de escritorio para la detección de un incendio forestal.

Elección del DBMS y Diseño de la base de datos.

El diseño de la base de datos se desarrolló con el DBMS (Sistema manejador de base de datos) SQL Server 2015 de Microsoft, en el cual se identificó las entidades importantes que formaron parte del diagrama entidad relación, en donde se visualizará un diagrama con las tablas que servirán para el almacenamiento, lectura de los datos que envíe y reciba el software.

Ilustración 14. Diagrama de Base de datos (SQL server 2014)



Fuente: La investigación

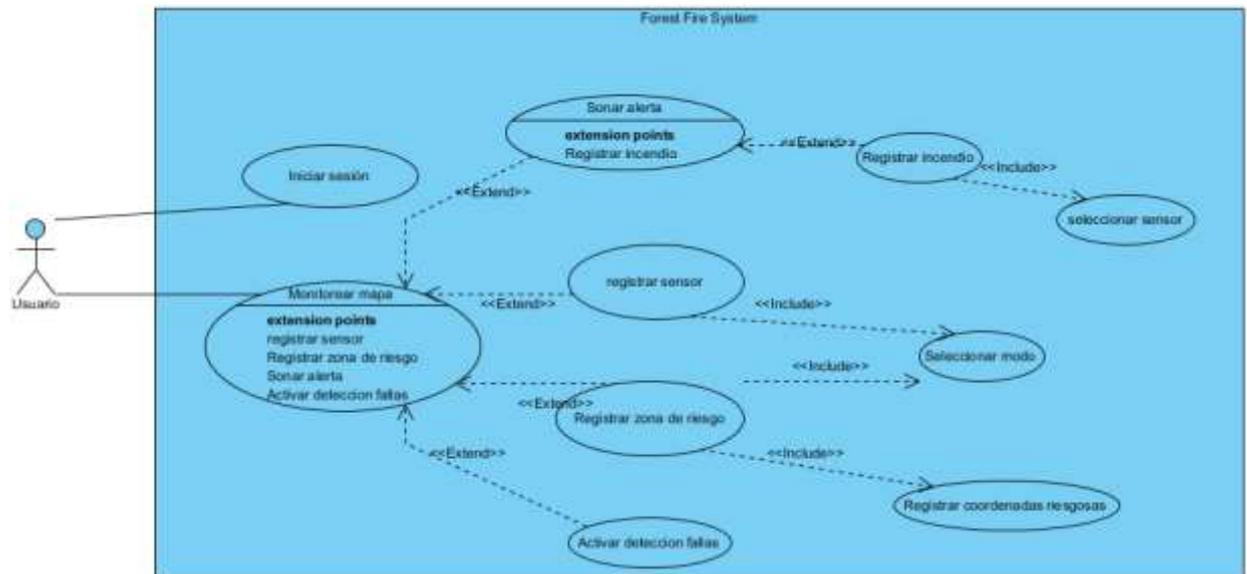
Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Elección del lenguaje de programación

El lenguaje de programación seleccionado para el desarrollo del software fue C# con su entorno de desarrollo Visual Studio 2015, esto gracias a la bondad que ofrece el IDE y lenguaje para la integración del mapa de google (google Maps) mediante La Librería "GMap.NET" La integración de esta librería facilitó el trabajo del muestreo y registro de coordenadas en las que están ubicados los sensores y así poder mostrarlos gráficamente dentro del mapa de monitoreo.

Diagrama de caso de uso

Figura 21. Caso de uso Forest Fire System



Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

4.2. Discusión

Implementando el sistema Forest Fire System, prototipo que permite utilizar la tecnología actual para de alguna manera contribuir a la solución de un problema ambiental, social y económico no sólo del Ecuador sino a nivel mundial, actuando considerablemente como mecanismo de alerta ante un incendio forestal. La tecnología 802.15.4 ZigBee permite características importante como flexibilidad de red, bajos costos, y bajo consumo de energía.

El autor Jorge Gómez de Colombia desarrolló un artículo científico el cual sirvió de guía para el desarrollo del proyecto. El sistema de Colombia orientado a la creación de una red de sensores inalámbricos en cultivos agrícolas facilitó concluir que el sistema propuesto por las autores María Belén Vicuña y Cinthia Solís es una propuesta innovadora para la detección de incendios forestales, además de contar con una aplicación informática de escritorio la cual permite obtener la alerta de forma audible y visual permitiendo al guardia forestal utilizar una herramienta preventiva y fiable ante este tipo de desastres naturales, añadiendo un plus al trabajo de investigación como es la utilización de energía fotovoltaica mediante la utilización de paneles solares.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos se procede a concluir lo siguiente:

- Se diseñó un sistema de comunicaciones para la detección temprana de incendios forestales mediante la implementación de una red de sensores inalámbricos con el objetivo de mostrar un mecanismo diferente al tradicional que trata estos problemas cuando el incendio forestal ha causado cuantiosos daños materiales, económicos, de vidas humanas y un impacto ambiental significativo.
- Se implementó un plan piloto en el campus Finca Experimental “La Represa” ubicado en la ciudad de Quevedo para detección de presencia de humo de un área determinada provocando incendios controlados por los autores de la investigación debido que el Vivero Forestal se encuentra en un área húmeda tropical y los incendios forestales por lo general se dan en sitios o regiones secas.
- Se recolectó la información de forma inalámbrica enviada por los dispositivos sensoriales hacia el nodo coordinador. El sistema denominado Forest Fire System está constituido por 2 nodos sensoriales configurados como nodo router 1 y 2 respectivamente. Se utilizó módulos de comunicación modelo XBee S2, plataforma Arduino, un controlador solar con terminales que permiten la conexión de la batería y el panel solar; fuentes de alimentación de los nodos sensores. El nodo coordinador utilizó una plataforma Arduino, módulo XBee S2C, Shield GSM/GPRS/SMS para enviar mensajes de texto en el momento de la detección; conectados directamente al computador mediante puerto USB en el cual se encuentra la aplicación informática de escritorio.
- Se desarrolló la aplicación informática de escritorio para almacenar eventos e identificar la presencia de humo en el área determinada mediante los sensores. El software cuenta con el mapa de Google Maps que mediante la librería Gmaps.net, permitió mantenerlo altamente disponible ante la ausencia de internet o que éste deje de funcionar. Además cumple con unas de las principales funciones que es emitir un sonido con el fin de alertar de manera audible el evento. Además, permite registrar las zonas de riesgo, clasificando los eventos ocurridos.

5.2. Recomendaciones

Con fundamento en los resultados del proyecto de investigación, y de acuerdo a las conclusiones encontradas en el transcurso de su realización se exponen las siguientes recomendaciones.

- De acuerdo a la delimitación del proyecto de investigación se recomienda como trabajo futuro la aplicabilidad de seguridad en la red de sensores inalámbricos, para lo cual se cita al Dr. Mauro Conti [38] autor del libro *Secure Wireless Sensor Networks, Threats and Solutions* el cual proporciona información oportuna para académicos e investigadores que deseen abordar temas de seguridad y privacidad en WSN, llevando a cabo una vasta revisión de literatura sobre amenazas de seguridad y planteando propuestas de mitigación novedosas para cada uno de los ataques considerados.
- Se considera oportuno recomendar el siguiente trabajo futuro “Diseño y evaluación de una red de sensores para la detección y protección de incendios forestales” con la finalidad de beneficiar a poblaciones que sean víctimas de este tipo de desastres de origen natural o antropogénico; en la región interandina específicamente en la zona norte y sur considerados los espacios más vulnerables debido a la distribución irregular de las precipitaciones así como la presencia de fuertes vientos, además de recomendar el uso de redes de sensores para monitorizar lugares de difícil acceso y gran extensión territorial.
- De acuerdo a la investigación se considera importante recomendar se realice el levantamiento topográfico del campus Finca Experimental “La Represa” en la ciudad de Quevedo utilizando Google Maps, de esta manera se permitirá en trabajos futuros la utilización de esta herramienta de geolocalización en tiempo real con fines científicos e investigativos.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

- [1] Galindo, G., «Los incendios forestales en Ecuador.» Ministerio del Ambiente, Dirección nacional Forestal. Quito, Ecuador, 2005. [En línea]. Available: http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/26354/1/TICEC_2016_23.pdf. [Último acceso: 2017].
- [2] Ecologistas en acción , «Los incendios forestales.» Naturaleza, 2008. [En línea]. Available: <http://www.ecologistasenaccion.org/spip.php?article8072>. [Último acceso: 2017].
- [3] Ministerio de Justicia, Derechos Humanos y Cultos, *Código Orgánico Integral Penal*, Quito - Ecuador, 2014.
- [4] Alonso, P. Tarrío, "*Redes de sensores, Fundamentos y aplicaciones*", Santander: Grupo de Procesado de Datos y Simulación and Universidad Politécnica de Madrid, 2008.
- [5] Jennyfer K. Erazo P., Carlos A. Hervas P., "*EVALUACIÓN DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICA BASADA EN EL ESTÁNDAR IEEE 802.15.4 PARA SISTEMAS DE DETECCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES*", Riobamba, Ecuador, 2014.
- [6] Ríos, M., & Sánchez, L., «Sistema de monitoreo de cultivos agrícolas a través de redes inalámbricas de sensores para medir variables ambientales.» 2016. [En línea]. Available: [sistema de monitoreo \(1\).pdf \(D20681261\)](#) . [Último acceso: 2017].
- [7] Flores, M., Velasco, V., Flores, F., & Gonzalez, G., *Red Inalámbrica de Sensores para Monitoreo de Humedad.*, Ibersensor, 2010.
- [8] Torres, W., Malavé, K., & Marquis, D., *Aplicación de las Redes Inalámbricas de Sensores para Implementar la Agricultura de Precisión en Viñedos.*, V CIBELEC, 2012.
- [9] Rodríguez T.D.A., «Incendios forestales.» de *Impacto Ambiental de Incendios Forestales*, México, D. F, MundiPrensa-Universidad Autónoma Chapingo., 1996, p. 151 .
- [10] José Germán Flores Garnica , *Impacto Ambiental de Incendios Forestales*, ISBN: 978-607-7699-03-3: Mundi Prensa México, S. A. de C. V., 2009, 2011.
- [11] Spurr, H., y Barnes, B., «Ecología forestal.» de *Impacto Ambiental de incendios forestales.*, México, D.F., AGT. editor, S.A., 1982.
- [12] Johnson, E. A., and Miyanishi, K., «Forest fires: behavior and ecological effects.» de *Impacto Ambiental de incendios forestales*, United States, Academic Press, 2001, p. 594.
- [13] Mell, W. E., Manzello, S. L., and Maranghides, A., «Numerical Modeling of Fire Spread through Trees and Shrubs. V International Conference on Forest Fire Research.» de *Impacto Ambiental de incendios forestales.*, Figueira Da Foz, Portugal, D. X. Viegas, 2006.

- [14] Pérez, M., H, «Física general.» de *Impacto Ambiental de incendios forestales.*, México, Publicaciones Culturales., 2000, p. 329p.
- [15] Martínez, R. E., «Manual de quemas controladas. El manejo del fuego en la prevención de incendios forestales.» de *Impacto Ambiental de incendios forestales*, España, Mundi Prensa, 2011.
- [16] Subsecretaría de Desarrollo y Fomento Agropecuario y Forestal., «Como se realiza una quema controlada.» de *Impacto Ambiental de incendios forestales.*, México, D.F. , SARH., 1986, p. 5.
- [17] Komarek, E. U., «Fire and ecology of man. Proc. Tall Timbers Fire.» de *Impacto Ambiental de incendios forestales.*, Florida, USA., 1967, p. 6.
- [18] Show, S. B., y Clarke B., «La lucha contra los incendios forestales.» de *Impacto Ambiental de incendios forestales.*, Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación., 1953.
- [19] Jensen y Mc Pherson, de *Impacto Ambiental de incendios forestales*, 2008, p. 6.
- [20] Pezo e Ibrahim, de *Impacto Ambiental de incendios forestales.*, 1998, p. 6.
- [21] Zennaro, M., "*Introducción a las redes de sensores inalámbricos*", 2010.
- [22] DIGI, *Capas protocolo ZigBee*, docs.digi.com, 2017.
- [23] Fernandez, M., «Redes Inalámbricas de Sensores.» Mfbarcell, 2014. [En línea]. Available: <http://www.mfbarcell.es/conferencias/wsn.pdf>.
- [24] Logicbus, *Tecnología ZigBee*, México: <http://www.logicbus.com.mx>, 2014.
- [25] Digi, *Frame Structure*, <https://docs.digi.com>, 2017.
- [26] Gómez, Jorge Gómez, *Redes de sensores inalámbricos en cultivos agrícolas: Monitoreo agrícola con WSN*, ISBN: 978-3-8417-5238-3: Editorial Académica Española, 2016.
- [27] Sánchez, J., *Análisis y Estudio de Redes GPRS*, Valdivia.Chile, 2005.
- [28] Universidad Politécnica de Madrid, «Comunicaciones Móviles Digitales.» [En línea]. Available: <http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/comunicaciones-moviles-digitales/contenidos/Presentaciones/GPRS-07.pdf>. [Último acceso: 2017].
- [29] Ortiz, F., *Redes de sensores inalámbricos.*, Electronica.utfsm, 2017.
- [30] Arduino, *Arduino*, www.arduino.cc, 2017.
- [31] DNA Technology , «Xbee/Zigbee PRO Shield.» [En línea]. Available: <http://www.dnatechindia.com/Xbee-Zigbee-PRO-Shield.html>. [Último acceso: 20 Enero 2017].
- [32] Punto Flotante S.A, «MÓDULO GSM/GPRS/SMS.» [En línea]. Available:

<http://www.puntoflotante.net/MINI-CORE-SIM900-GSM-GPRS-QUAD-BAND.htm>. [Último acceso: 18 Enero 2017].

- [33] PROMETEC, «www.prometec.net,» [En línea]. Available: <http://www.prometec.net/gprs-llamar-enviar-sms/>. [Último acceso: 20 Enero 2017].
- [34] Naylamp Mechatronics, «Tutorial sensores de gas MQ2, MQ3, MQ7 y MQ135,» 13 Julio 2016. [En línea]. Available: http://www.naylampmechatronics.com/blog/42_Tutorial-sensores-de-gas-MQ2-MQ3-MQ7-y-MQ13.html. [Último acceso: 18 Enero 2017].
- [35] Vistronica , «Sensor de Control de Calidad de Aire MQ-135,» Tienda virtual de electrónica , [En línea]. Available: <https://www.vistronica.com/sensores/sensor-de-control-de-calidad-de-aire-mq-135-detail.html>. [Último acceso: 18 Enero 2017].
- [36] Energías, E., «Tipo de Paneles Solares. Energía renovable,» 2014. [En línea]. Available: <http://energia-renovable.eu/tipos-de-paneles-solares/>. [Último acceso: 2017].
- [37] INAHMI, *Estación metereológica del INAHMI*, Estación Experiemental Tropical Pichilingue del INIAP., 2015.
- [38] Conti, M., *Secure Wireless Sensor Network- Threats and Solutions*, Italy: Springer, 2016.

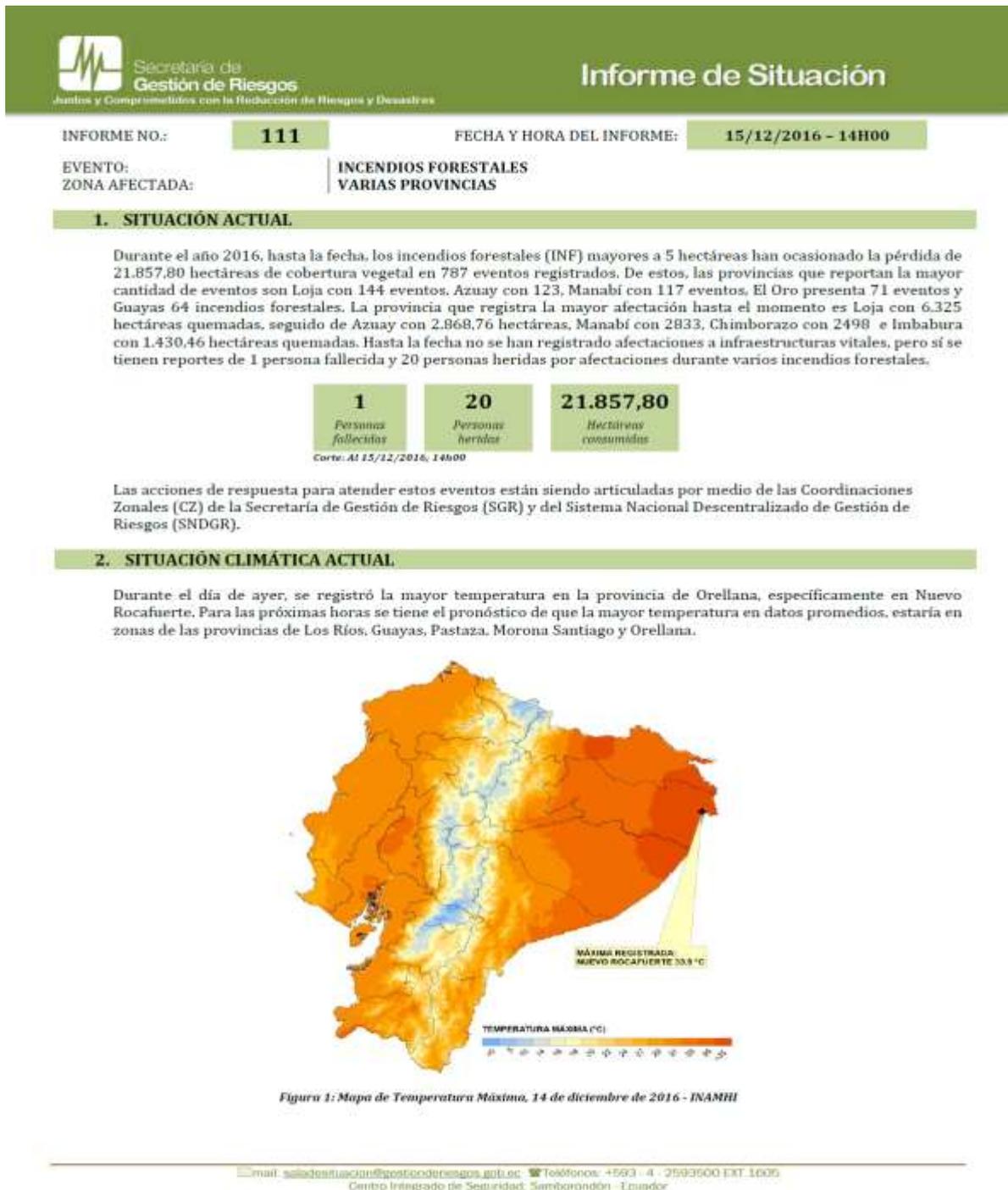
CAPÍTULO VII

ANEXOS

7.1. Informe de Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR).

Anexo 1

De acuerdo a los Informes de Situación Diarios sobre la evolución de los incendios forestales según la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR), Informe de Situación No. 111- presentada el 15 de diciembre del 2016.



Fuente: Secretaría de Gestión de Riesgos (2016)

Autores: Los Investigadores (2017)



3. CIFRAS DE AFECTACIONES

| PROVINCIA | Cantidad de Eventos | Población | | * Hectáreas de Cobertura Vegetal Quemada |
|------------------|---------------------|------------|-----------|--|
| | | Fallecidos | Heridos | |
| AZUAY | 123 | | 4 | 2868,76 |
| BOLÍVAR | 10 | | | 106,00 |
| CAÑAR | 31 | | | 791,66 |
| CARCHI | 22 | | 2 | 689,22 |
| CHIMBORAZO | 56 | | | 2498,00 |
| COTOPAXI | 11 | | | 376,00 |
| EL ORO | 71 | | 1 | 1064,50 |
| ESMERALDAS | 19 | | | 342,00 |
| GALÁPAGOS | 2 | | | 24,00 |
| GUAYAS | 64 | | 4 | 1009,90 |
| IMBABURA | 55 | | | 1430,46 |
| LOJA | 144 | 1 | | 6325,00 |
| LOS RÍOS | 5 | | | 39,00 |
| MANABÍ | 117 | | | 2833,00 |
| PICHINCHA | 22 | | 2 | 761,00 |
| SANTA ELENA | 5 | | | 71,00 |
| SUCUMBÍOS | 2 | | | 22,00 |
| TUNGURAHUA | 25 | | 7 | 546,30 |
| ZAMORA CHINCHIPE | 3 | | | 60,00 |
| Total | 787 | 1 | 20 | 21857,80 |

Tabla No. 1: Afectaciones por provincias

Fecha de corte: 14/12/2016; 12:00 horas

* Cifras aproximadas de los incendios forestales mayores a 5 hectáreas ordenados por hectáreas quemadas.

4. RECURSOS MOVILIZADOS

RECURSOS MOVILIZADOS POR PROVINCIAS:

| Provincia | Personal | Abastecimiento de combustible y energía | Equipo de seguridad | Equipo de salvamento | Herramientas | Maquinarias y equipos | Unidades acuáticas | Unidades aéreas | Unidades de emergencia | Vehículos | Vehículos pesados |
|------------------|--------------|---|---------------------|----------------------|--------------|-----------------------|--------------------|-----------------|------------------------|------------|-------------------|
| AZUAY | 2494 | | | | 1035 | | | 11 | 150 | 200 | 11 |
| BOLÍVAR | 39 | | | | | | | | 13 | 1 | |
| CAÑAR | 515 | | | | 130 | | | | 57 | 41 | |
| CARCHI | 273 | | | | 5 | | | | 50 | 32 | 1 |
| CHIMBORAZO | 951 | | | | 595 | 8 | | 1 | 110 | 34 | 7 |
| COTOPAXI | 77 | | | | 46 | | | | 21 | 2 | |
| EL ORO | 1287 | | | 4 | 543 | | | | 232 | 19 | 3 |
| ESMERALDAS | 296 | | | | | | | | 53 | 5 | 4 |
| GALÁPAGOS | 304 | | | | 42 | | 1 | | 23 | 35 | 44 |
| GUAYAS | 1065 | 2 | | | 42 | | | 6 | 290 | 29 | 5 |
| IMBABURA | 1314 | | | | | | | 1 | 126 | 126 | 4 |
| LOJA | 1936 | | 973 | | 1528 | | | 5 | 265 | 49 | 39 |
| LOS RÍOS | 49 | | | | | | | | 14 | | |
| MANABÍ | 1596 | | | | 324 | | | 6 | 266 | 62 | 3 |
| PICHINCHA | 900 | | | | | | | 11 | 54 | 115 | 1 |
| SANTA ELENA | 125 | | | | 104 | | | | 30 | 5 | |
| SUCUMBÍOS | 32 | 25 | | | | 2 | 2 | 1 | 2 | 6 | |
| TUNGURAHUA | 342 | | | | 59 | | | | 84 | 32 | 3 |
| ZAMORA CHINCHIPE | 78 | | 18 | | 73 | | | | 4 | 4 | 4 |
| TOTAL | 13673 | 27 | 991 | 4 | 4526 | 10 | 3 | 42 | 1844 | 797 | 129 |

Tabla No. 2: Recursos movilizados por provincias

Fuente: SNDGR

Fecha de corte: 15 de diciembre del 2016, 13:00 horas

Fuente: Secretaría de Gestión de Riesgos (2016)

Autores: Los Investigadores (2017)



MOVILIZACIONES AÉREAS EN LA ATENCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES:

| AÑO | MES | INSTITUCIÓN | PROVINCIA ATENDIDAS | No. DE DESCARGAS | TOTAL LTS. DE DESCARGAS |
|--------------|--------------|--------------|---------------------|------------------|-------------------------|
| 2016 | Enero | FFAA | IMBABURA | 1 | 3.000 |
| | Agosto | | PICHINCHA | 64 | 116.820 |
| | | AEROPOLICIAL | LOJA | 14 | 35.000 |
| | | | LOJA | 17 | 10.200 |
| | Septiembre | FFAA | PICHINCHA | 10 | 7.000 |
| | Noviembre | FFAA | PICHINCHA | 13 | 10.400 |
| | | | LOJA | 15 | 10.500 |
| | | AEROPOLICIAL | MANABI | 18 | 9000 |
| | | | LOJA | 17 | 11.900 |
| | | | AZUAY | 64 | 44.800 |
| Diciembre | AEROPOLICIAL | AZUAY | 15 | 10.500 | |
| TOTAL | | | | 248 | 269.120 |

Tabla No. 3: Movilizaciones aéreas en la atención de incendios forestales

Fuente: FFAA, AEROPOLICIAL y SGR

Fecha de corte: 15 de diciembre del 2016, 13:00 horas

NÚMERO DE VUELOS PARA RECONOCIMIENTO:

| AÑO | MES | INSTITUCIÓN | PROVINCIA ATENDIDAS | NUMERO DE VUELOS DE RECONOCIMIENTO |
|--------------|--------------|--------------|---------------------|------------------------------------|
| 2016 | Enero | AEROPOLICIAL | AZUAY | 1 |
| | | | CANAR | 1 |
| | Febrero | AEROPOLICIAL | PICHINCHA | 1 |
| | | | FFAA | PICHINCHA |
| | | | SUCUMBÍOS | 1 |
| | Julio | AEROPOLICIAL | AZUAY | 2 |
| | | | GUAYAS | 1 |
| | Agosto | FFAA | PICHINCHA | 1 |
| | | | LOJA | 1 |
| | | AEROPOLICIAL | LOJA | 1 |
| | Septiembre | FFAA | GUAYAS | 1 |
| | | AEROPOLICIAL | PICHINCHA | 1 |
| | Noviembre | AEROPOLICIAL | PICHINCHA | 1 |
| | | | FFAA | MANABI |
| | | | | AZUAY |
| Diciembre | AEROPOLICIAL | GUAYAS | 2 | |
| | | AZUAY | 2 | |
| TOTAL | | | | 20 |

Tabla No. 4: Número de vuelos para reconocimiento.

Fuente: FFAA, AEROPOLICIAL y SGR

Fecha de corte: 15 de diciembre del 2016, 13:00 horas



FORTEALECIMIENTO INSTITUCIONAL ENTREGADO ANTE LA ATENCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES:

| Provincia | Cantón | Institución donante | Kit Refrigerios | Kits de hidratación | Kits marcha | Botellas de agua (500 ml) | Fundas de agua (250 ml) | Machetes | Botellas de bebida hidratante (500 ml) |
|-----------------------|--------------|---------------------|-----------------|---------------------|-------------|---------------------------|-------------------------|------------|--|
| AZUAY | CUENCA | GAD CANTONAL | 100 | 47 | 198 | | | | |
| CARCHI | BOLÍVAR | SGR | 15 | | 70 | | | | |
| | ESPEJO | SGR | 20 | | | | | | |
| | MIRA | SGR | 30 | | | | | | |
| | MONTÚFAR | SGR | 50 | | | | | | |
| IMBABURA | ANTONIO ANTE | SGR | 60 | | | | | | |
| | | GAD CANTONAL | 85 | | | | | | |
| | COTACACHI | EMAPA | | | | | 400 | | |
| | | SGR | 40 | | | | | | |
| | IBARRA | EMAPA | | | | 636 | 600 | | |
| | | SGR | 50 | | 25 | | | 7 | |
| | | GAD CANTONAL | | 290 | | | | | |
| | PIMAMPIRO | SGR | 78 | | | | | | |
| SAN MIGUEL DE URCUQUÍ | SGR | 95 | | | | | | | |
| DE URCUQUÍ | GAD CANTONAL | 20 | | | | | | | |
| | GAD CANTONAL | | 30 | | | | | | |
| LOJA | LOJA | SGR | 155 | | | | | 155 | |
| TOTAL | | | 698 | 352 | 798 | 367 | 293 | 636 | 1000 |

Tabla No. 5: Fortalecimiento institucional entregado ante la atención de incendios forestales

Fuente: SNDGR

Fecha de corte: 14 de diciembre del 2016, 13:00 horas

5. ACCIONES DE RESPUESTA

Los conatos e incendios forestales que han ocurrido durante las últimas 24 horas, así como los eventos que aún se encuentran activos y/o controlados, se presentan en el siguiente cuadro:

| Provincia | Cantón | Parroquia | Sector | Superficie Aproximada (Has.) | Estado | Fecha Inicio |
|-------------|-------------|---------------|---------------------|------------------------------|------------|--------------|
| Santa Elena | Santa Elena | Simón Bolívar | Juntas del Pacífico | - | Controlado | 28/11/2016 |

Tabla No. 6: Reporte de Incendios Forestales últimas 24 horas.

Estados: ■ Activo ■ Controlado

- Personal técnico se mantiene evaluando el área para confirmar que el evento pase a un estado de liquidado por completo, MAE indica que ha existido tala de árboles de tipo algarrobo, ceibo, laurel y especie arbustiva del sector. Adicional MAE indica que al momento ha identificado que 2.3 has del total del área afectada corresponde a cobertura vegetal del Bosque Protector Chongón-Colonche. También existen productores privados que fueron afectados, pero al momento las entidades técnicas no han podido ingresar a realizar la evaluación de esta zona. Se espera que en las próximas horas se tenga solucionada ésta novedad.

6. COORDINACIÓN

Al momento están activos **cuatro** COE provinciales: Azuay, Cañar, Loja y Santa Elena; también se encuentran activos **diez** COE cantonales: Macará, Olmedo, Saraguro y Gonzanamá de la provincia de Loja; Cuenca, Girón, Nabón y Camilo Ponce Enríquez de la provincia de Azuay; Santa Ana y Olmedo de la provincia de Manabí.

A continuación se describen las resoluciones emitidas durante las sesiones de los COE:

SANTA ELENA

- El COE provincial, resolvió presentar un informe en conjunto con MAGAP, ARCH, Ministerio de Ambiente y CNEL para ubicar los predios que tienen permisos para la adquisición de cuantías domésticas, identificar las



zonas de riesgo y prevenir incendios de mayor magnitud. Además, articular la disponibilidad de una aeronave para realizar un sobrevuelo de la zona que ha sido afectada, para cuantificar las hectáreas quemadas.

LOJA

- **El COE Provincial** resolvió mantener reuniones permanentes de las Mesas Técnicas de Trabajo 1 y 5 para coordinar acciones ante los incendios forestales en la provincia.
- **COE Cantonal de Macará:** Presentar un informe sobre los aforos de caudales de las vertientes cercanas a Lluzhapa, San Sebastián de Yuluc, Manú y Sumaypamba en el cantón Saraguro; se solicita a la Policía comunitaria apoyar con la vigilancia e investigación de personas causantes de Incendios forestales
- **COE Cantonal de Olmedo:** la MTT 1 pondrá a disposición un tanquero para la sofocación de incendios; la Mesa 2 realizará socializaciones con la población sobre la quema de bosques y sembríos; el GAD cantonal de Olmedo pone a disposición el contingente de Cuerpo de Bomberos.
- **COE Cantonal de Saraguro:**
 - 02/12/2016; SENAGUA informó sobre las actividades cumplidas sobre el aforo de caudales en distintas localidades del cantón que dan un promedio de 81,70% de Déficit Hídrico; se solicita que se profundice el alcance del informe técnico entregado por el MAGAP.
 - 29/11/2016: Implementar un plan de Capacitación para prevención de incendios forestales a través de MAE, Cuerpo de Bomberos Saraguro, Ministerio de Educación, Cruz Roja, UGR Saraguro; se realizará una inspección sobre el Déficit Hídrico y afectación a la producción en las parroquias de San Sebastián de Yuluc, Sumaypamba, Manú y Lluzhapa a través de técnicos de la SGR y MAGAP; se acuerda activar la MTT 5 y MTT 1.
- **COE Cantonal de Gonzanamá:** GAD, Cuerpo de Bomberos, FFAA apoyará con personal y maquinaria para liquidación de incendios; SGR entregará dotación de refrigerios, aguas e hidratantes para las personas que laboran en la extinción de los mismos, entre otras resoluciones.

MANABÍ

- **COE Cantonal de Olmedo:** Declarar en situación de emergencia al cantón Olmedo por los hechos derivados de los Incendios Forestales y por la sequía que se encuentra afectando las fuentes de captación de agua en este territorio
- **COE cantonal de Santa Ana:** Declarar situación de emergencia en todo el cantón Santa Ana por los incendios forestales que se presentan y que han consumido alrededor de 200 hectáreas; notificar al COE provincial para que se proceda a la movilización de los recursos materiales, helicópteros para atender la emergencia en el cantón.

AZUAY

- **El COE Provincial:** está activado con el objetivo de revisar acciones y recursos a utilizar para liquidar el incendio forestal ocurrido en la parroquia Sayausi sector Zorrocucho-Mazan, entre ellos se solicita la intervención de Fuerzas Armadas con un helicóptero.
- **COE Cantonal Cuenca:** el 13 de diciembre, declara en Emergencia el Parque Nacional El Cajas, sector Mazan y áreas aledañas, solicitando a las diferentes instancias como Cuerpo de Bomberos, ETAPA EP y Dirección de Gestión de Riesgos tomar todas las acciones correspondientes para dotar de los recursos necesarios y hacer frente a esta eventualidad.
- **COE Cantonal de Girón:** solicitará el contingente militar a través de la SGR para que apoye en el proceso de extinción de incendios
- **COE Cantonal Nabón:** Declárese la emergencia en la parroquia de Cochapata, perteneciente al cantón Nabón, en virtud de los eventos presentados y de público conocimiento en torno a los incendios forestales, y en relación con los riesgos y consecuencias que dicha actividad podría producir en el cantón Nabón.
- **COE Cantonal de Ponce Enríquez:** Solicitar a las FF AA el helicóptero para poder contrarrestar el fuego del sector Patahuasi y Panecillo en la comunicad de Lagunas. Y la Tercera división de Ejército Tarqui en apoyo con recursos humanos y logísticos.

CAÑAR

- En el **COE Provincial** se resolvió que la SGR apoyará con kits hidratación para el personal que participe en la sofocación de los flagelos. Fuerzas Armadas colaboran en la extinción del flagelo en coordinación con SGR.

Adicional, para prevenir y mitigar el impacto de los incendios forestales se encuentran activas: la MTT 5 de la provincia de Chimborazo, la MTT 5 del cantón Calvas y la MTT 5 del cantón El Valle, estos últimos correspondientes a la provincia de Loja

Fuente: Secretaría de Gestión de Riesgos (2016)

Autores: Los Investigadores (2017)



7. MAPA DE INCENDIOS FORESTALES

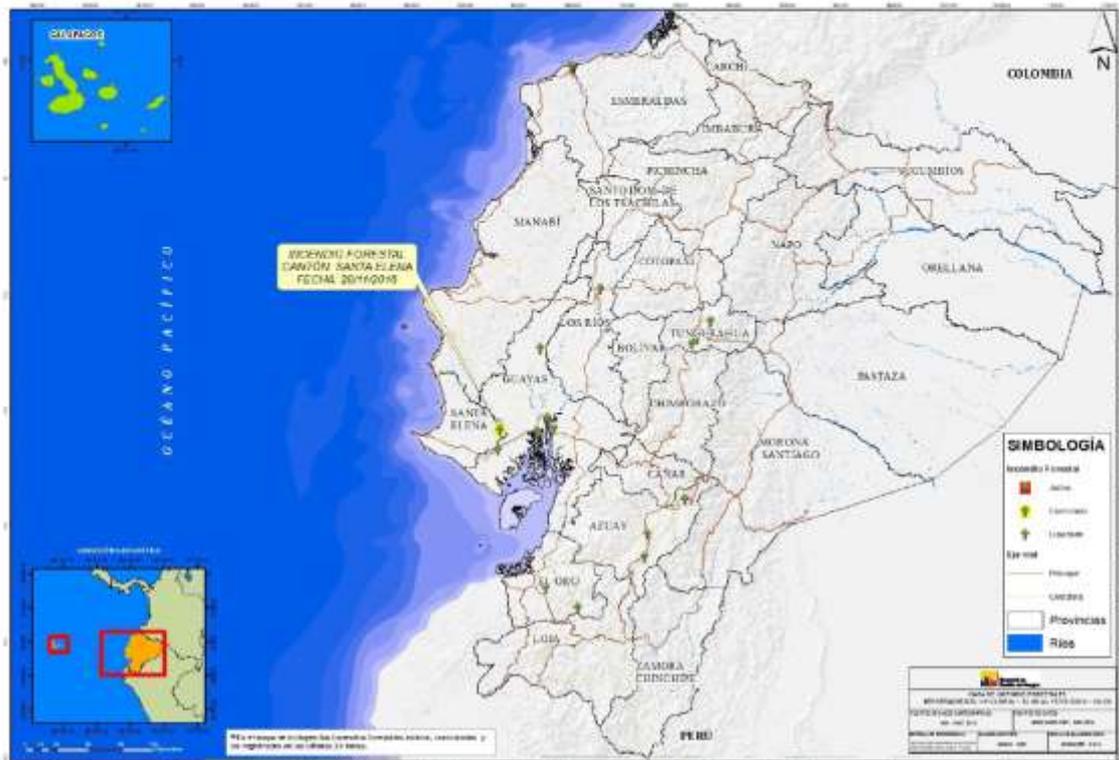


Figura 2: Mapa de Cantos, incendios activos, liquidados y controlados

EVALUADO POR: *Stalin Jiménez, Analista de Monitoreo*

REVISADO POR: *Dalton Andrade, Director de Monitoreo SGR*

Fuente: Secretaría de Gestión de Riesgos (2016)

Autores: Los Investigadores (2017)

7.2. Manual de usuario de la aplicación informática de escritorio

Anexo 2

El siguiente apartado presenta un manual de usuario de la aplicación informática de escritorio FOREST FIRE SYSTEM.

Paso 1: Formulario inicial (pantalla de inicio de sesión)

Cuando se desee acceder al sistema deberán constar en el registro de la base de datos como usuario. Con el Username y el Password dar un clic sobre el botón **Aceptar** donde el sistema mediante una consulta SQL (Lenguaje de consulta estructurado) a la base de datos validará la información ingresada del usuario y dará acceso a la pantalla de monitoreo de los sensores.

Figura 22. Formulario de inicio de sesión

The image shows a screenshot of a web-based login form for the 'FOREST FIRE SYSTEM'. The title is displayed in large, bold, green letters at the top center. Below the title, there are two input fields: one for 'Username' with a small icon of a person and the text 'admin' entered, and another for 'password' with a small icon of a key and a series of asterisks. A green button labeled 'Aceptar' is positioned at the bottom right of the form area. The background of the form is a light green with abstract, flowing leaf-like patterns.

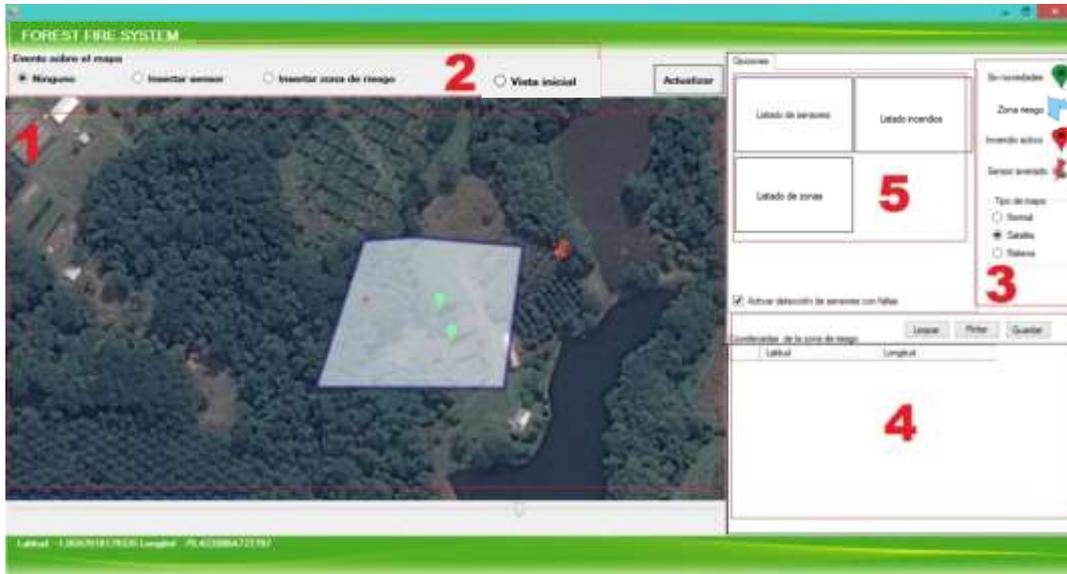
Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Paso 2: Pantalla para el monitoreo de los sensores

Esta pantalla está conformada por las siguientes secciones.

Figura 23. Pantalla para el monitoreo de los sensores



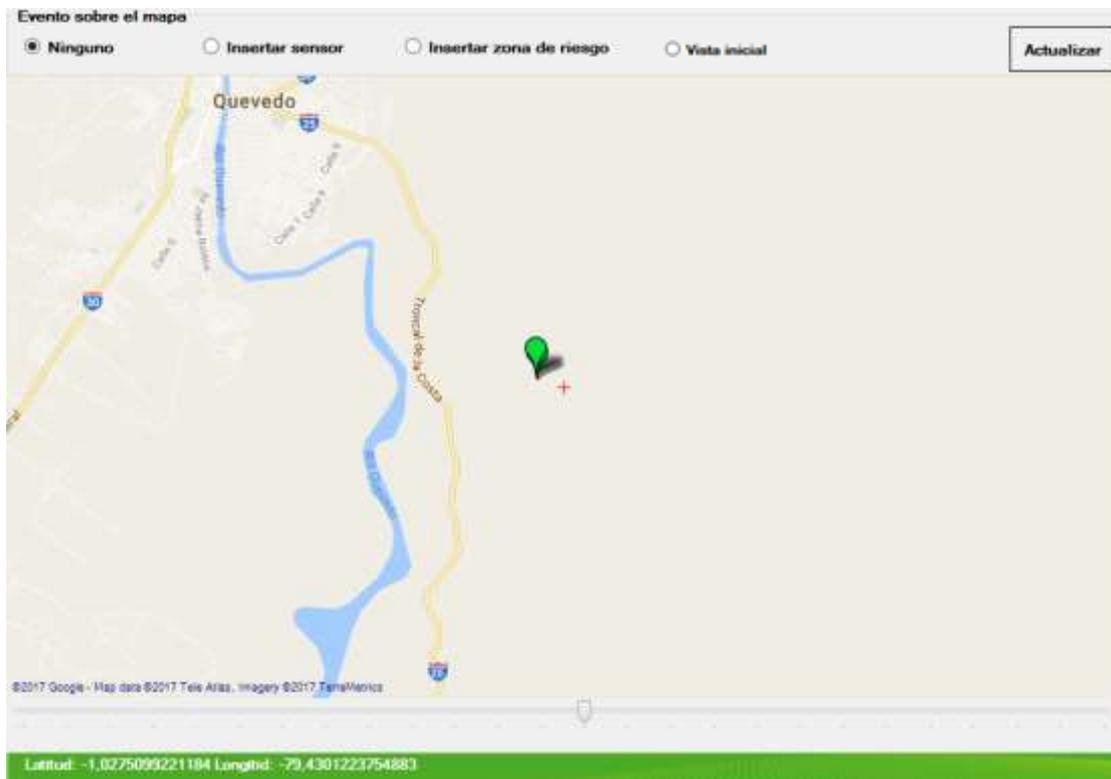
Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

- ✓ **1:** Mapa para el monitoreo de los sensores.
- ✓ **2:** Apartado de eventos sobre el mapa, seleccione el modo a funcionar con doble clic sobre el mapa.
- ✓ **3:** En esta sección se ubica las opciones de información de los estados de los sensores y los tipos de mapas disponibles para visualizar de diferentes maneras el monitoreo.
- ✓ **4:** Se encuentra una tabla donde se visualizarán las coordenadas consideradas como zonas de riesgo las cuales las especifica el usuario del sistema.
- ✓ **5:** Sección para la visualización de listado de zonas, sensores e historial de incendios.

Paso 3: Visualización de los tipos de mapas

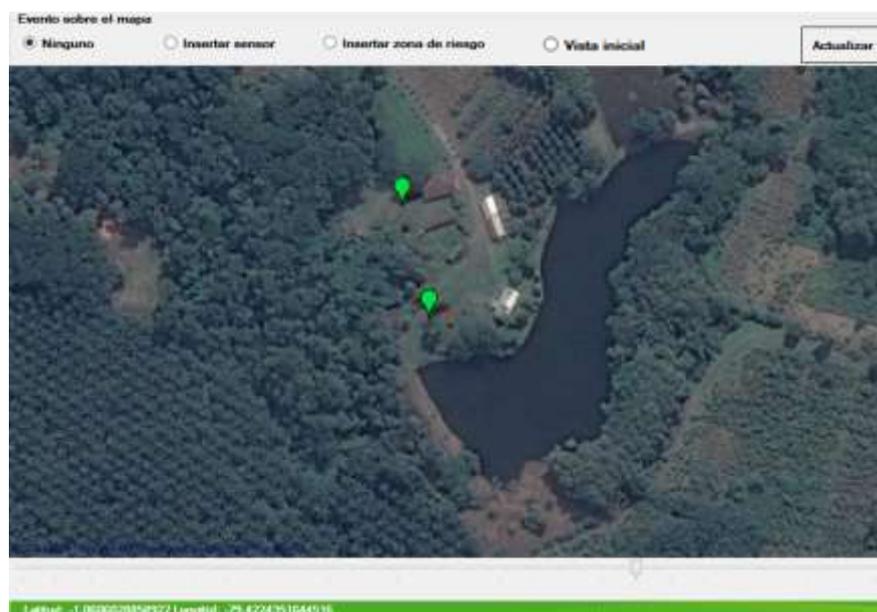
Figura 24. Mapa modo normal



Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

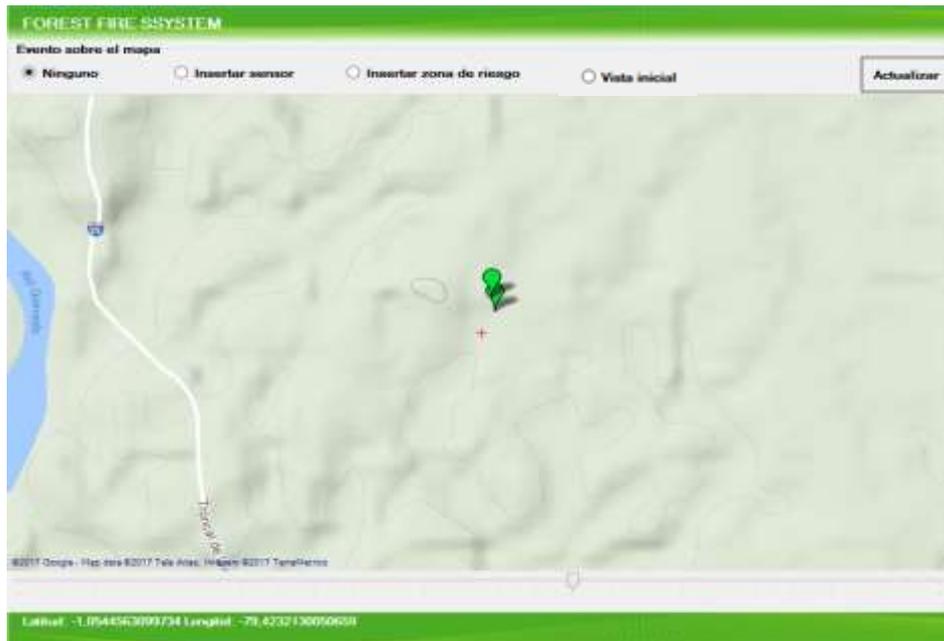
Figura 25. Mapa modo satélite



Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Figura 26. Mapa modo relieve



Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Paso 4: Modo insertar sensor sobre el mapa

Los eventos sobre el mapa se realizan con el evento doble clic sobre el mismo, existen 2 tipos de eventos sobre el mapa los cuales son: el modo Insertar Sensor e Insertar Zona de riesgo. Para activar el **modo Insertar sensor** se selecciona la opción correspondiente y se da doble clic sobre el mapa para insertar un nuevo sensor en esa ubicación.

Figura 27. Formulario para insertar un nuevo sensor



Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Modo insertar zona de riesgo: para insertar una zona de riesgo se activa el modo **Insertar zona de riesgo** y se procede a dar doble clic sobre las coordenadas geográficas consideradas como zonas riesgosas, estas coordenadas se las podrá ir visualizado en la tabla de coordenadas.

Figura 28. Zona de riesgo



Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Figura 29. Tabla de coordenadas consideradas como riesgosas

| Coordenadas de la zona de riesgo | | Limpiar | Pintar | Guardar |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|--------|---------|
| | Latitud | Longitud | | |
| ▶ | -1,06065652088209 | -79,4208419322968 | | |
| | -1,06072088286801 | -79,4200909137726 | | |
| | -1,06169703949055 | -79,4202196598053 | | |
| | -1,06169167599347 | -79,4215124845505 | | |
| | -1,06068333837638 | -79,4211798906326 | | |

Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Luego de ingresar las coordenadas se procede a presionar el botón Pintar para visualizar el resultado del área marcada y para almacenar se da clic sobre el botón guardar el cual presentará un formulario donde se indicará el motivo del incendio así como también la fecha de inicio y fecha de solución.

Figura 30. Formulario de inserción de zona riesgosa

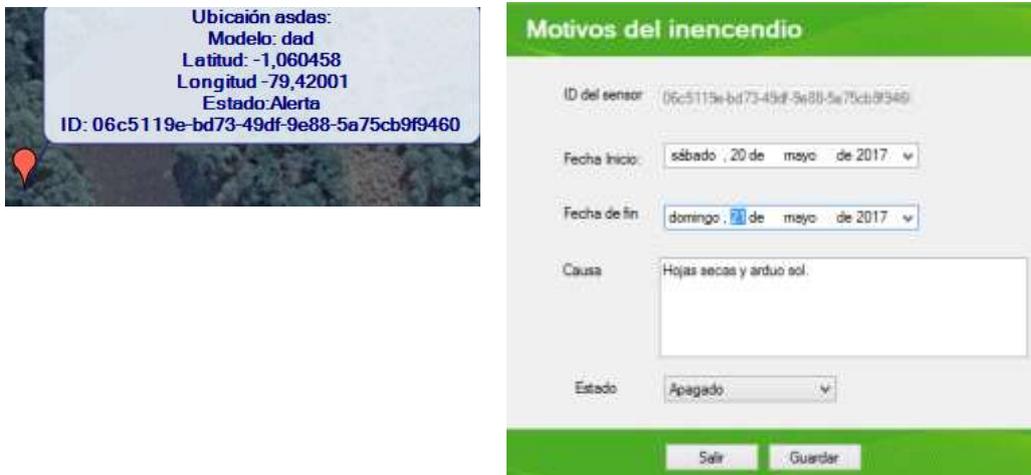


ELABORADO POR: Solís L. Cinthia K., Vicuña G. María B. (2017)

Paso 5: Sensores en modo alerta

Cuando un sensor se encuentra en modo alerta se muestra de color rojo y el usuario le puede dar un clic para poder registrar los motivos del incendio.

Figura 31. Formulario de ingreso de un nuevo incendio al sistema.



Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Paso 6: Sensores del mapa en estado averiado

Los sensores al estar averiados por cualquiera de las causas que sean, alertaran al usuario del sistema y se mostraran con el icono mostrado a continuación en la imagen, en donde al darle un clic sobre el mismo se podrá eliminar dicho sensor.

Figura 32. Visualización de sensores en estado averiado.



Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Paso 7: Listado de sensores

Se visualiza un listado con los sensores que constan actualmente en la base de datos con su respectivo estado.

Figura 33. Listado de sensores

| | ID Sensor | Latitud | Longitud | Nombre | Modelo | Nº Sensor | Estado |
|---|-----------------------------|-----------|-----------|----------|---------|-----------|----------|
| ▶ | d0a3c8b5-4639-4dc0-8805-... | -1,060844 | -79,41986 | Sensor 3 | XbEES2 | 3 | Averiado |
| | 55adc451-ca38-4a67-aa36-... | -1,061415 | -79,42058 | Sensor 2 | XBeeS2 | 2 | Normal |
| | e499d3e0-398f-4c2e-aa79-... | -1,061198 | -79,42066 | Sensor 1 | XBEEES2 | 1 | Normal |
| * | | | | | | | |

<- Salir

Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Paso 8: Listado de usuarios

Se visualiza un listado con los usuarios activos que constan actualmente en la base de datos.

Figura 34. Listado de usuarios



| ID Usuario | Nombre | Apellido | Dirección | Teléfono | Correo |
|-----------------------------|-------------------|--------------|--------------|------------|--------------------------|
| 20e032c3-b43a-41fd-bad4-... | Maria Belen | Vicuña Gabor | Milagro | 0969350744 | maribelen@hotmail.com |
| 742d447-cae9-4db4-528f-4... | Cinthia Katherine | Sols Lopez | Jose padilla | 0969350743 | lindacinthia@hotmail.com |

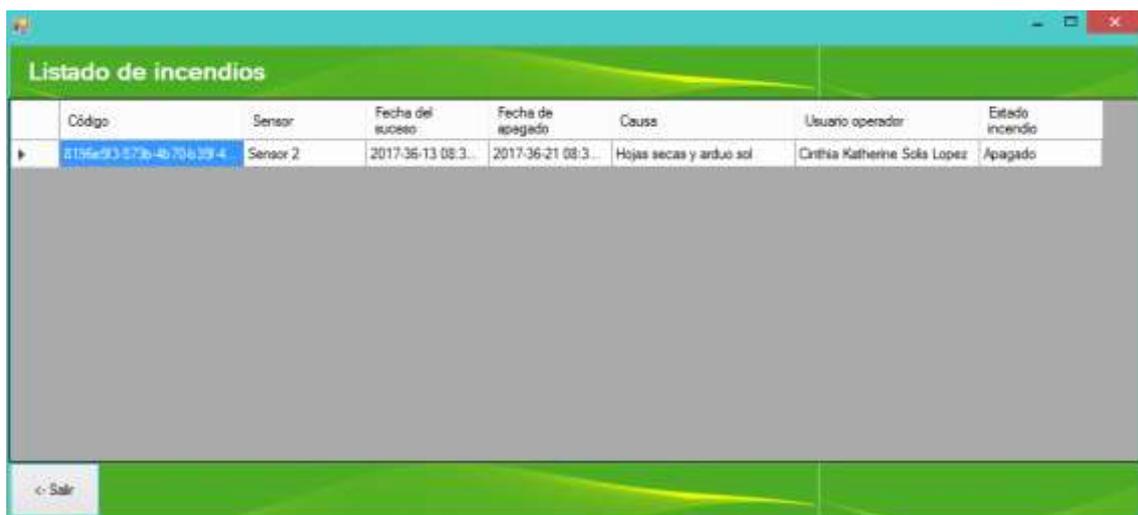
Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Paso 9: Historial de incendios

Se visualiza un historial de los incendios ocurridos que constan actualmente en la base de datos con su respectivo estado.

Figura 35. Historial de incendios.



| Código | Sensor | Fecha del suceso | Fecha de apagado | Causa | Usuario operador | Estado incendio |
|--------------------------|----------|--------------------|--------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------|
| 8125e-933-573e-4b70a3594 | Sensor 2 | 2017-35-13 08:3... | 2017-36-21 08:3... | Hojas secas y arduo sol | Cinthia Katherine Sols Lopez | Apagado |

Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

7.3. Solicitudes de autorización para realizar pruebas en Finca “La Represa”.

Los siguientes documentos constan como autorización proporcionada por las diferentes autoridades de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo para el ingreso a la Finca Experimental “La Represa” con la finalidad de realizar todas las pruebas necesarias para la culminación del proyecto de investigación.

Figura 36. Solicitud del Decano Facultad Ciencias de la Ingeniería

**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**
Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Teléfono: (593) 0521750 2202 / 751 4307 753 302
0521 751 300 / 751303
QUEVEDO - LOS RÍOS - ECUADOR

**UTEQ**
QUEVEDO - LOS RÍOS - ECUADOR
FCI-024-2016

El suscrito Ing. Jorge Murillo Oviedo, Decano Facultad Ciencias de la Ingeniería de Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

CERTIFICO QUE:

La Srta. María Belén Vicuña Gaibor con cédula No. 0950220525 y Srta. Cinthia Katherine Solís López cédula 1207644996 se encuentran matriculadas en la Unidad de Titulación Especial de la carrera de Ingeniería en Telemática de la Facultad Ciencias de la Ingeniería.

Certificación que otorgo por así constar en los archivos de la Facultad, a los cuales me remito en caso de ser necesario.

El interesado puede hacer uso de la presente certificación en la forma legal que estime conveniente.

Quevedo, 19 de Mayo de 2017


Ing. Jorge Murillo Oviedo
DECANO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

* www.uteq.edu.ec
* Correo: info@uteq.edu.ec
* Tel: (593) 0521-0751 | (593) 0521-0752 | Carrera "Ingeniería Manualitas Mera", Av. Gualaico, 1 U22 Vía a Santo Domingo de los Colorados
QUEVEDO - LOS RÍOS - ECUADOR

**UTEQ**
QUEVEDO - LOS RÍOS - ECUADOR

Fuente: La investigación
Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Figura 37. Solicitud del Coordinador de la Carrera Ingeniería en Telemática



Universidad
Técnica Estatal de Quevedo
La primera Universidad Agropecuaria del País



Memorando Nro. UTEQ-SECESCFCI-2017-0020-M

Quevedo, 07 de abril de 2017

PARA: Sr. Mgs. Bolivar Roberto Pico Saltos
Vicerector Administrativo Financiero

ASUNTO: REALIZAR PRUEBAS EN FINCA LA REPRESA

Estimado Ingeniero

En su despacho,

Mediante la presente solicito a usted disponga al encargado de la finca la represa el ingreso de 2 estudiantes de la carrera Ingeniería en Telemática que están realizando un proyecto de investigación y requieren realizar pruebas de conectividad con equipos y sensores para la detección de incendios forestales.

Los estudiantes a realizar las pruebas son:

Maria Belen Vicuña Gaibor CI: 0950220525
Cinthia Katherine Solís López CI: 1207644996

Con sentimientos de distinguida consideración,

Atentamente,

Ing. Emilio Rodrigo Zhuma Mera
COORDINADOR DE LA CARRERA INGENIERÍA EN TELEMÁTICA

Copia:

Ing. Jorge Patricio Murillo Oviedo
Decano FCI

Sra. Ing. Marlene Luzmila Medina Villacis
Subdecana FCI

AUTOCEJADO
Mg Pico

Figura 38. Autorización del Vicerrector Administrativo Financiero

| | | |
|---|---|---|
|  | <p>Universidad Técnica Estatal de Quevedo La primera Universidad Agropecuaria del País</p> |  |
|---|---|---|

Memorando Nro. UTEQ-VICADMIN-2017-0932-M
Quevedo, 19 de mayo de 2017

PARA: Ing. Eduardo Edison Pinto Fernandez
Lider de Producción

ASUNTO: AUTORIZACIÓN PARA ESTUDIANTES - REALIZAR PRUEBAS EN
FINCA LA REPRESA

En vista del pedido realizado por el Ing. Emilio Zhuma Mera, Coordinador de la Carrera de Ingeniería en Telemática, en el memorando de la referencia, mediante la presente se autoriza para que las señoritas María Belen Vicuña Gaibor con Cédula de Identidad: 0950220525 y Cinthia Katherine Solís López con Cédula de Identidad: 1207644996, estudiantes de la Unidad de Titulación Especial de la carrera de Ingeniería en Telemática de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, quienes se encuentran realizando un proyecto de investigación, realicen pruebas de conectividad con equipos y sensores para la detección de incendios forestales.

Se adjunta certificación del Decanato FCI y copias e cédulas de ciudadanía de las señoritas estudiantes.

Atentamente,

Mgs. Bolivar Roberto Pico Saltos
VICERECTOR ADMINISTRATIVO FINANCIERO

Referencias:
- UTEQ-SECESFCI-2017-0020-M

Anexos:
- autorizaciÓn_estudiantes_realizar_pruebas_en_finca_la_represa.pdf

Copia:
Sr. Ing. Emilio Rodrigo Zhuma Mera
Coordinador de la Carrera Ingeniería en Telemática

Sr. Dr. Eduardo Díaz Ocampo
Rector de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Sr. Ing. Flerido Nicanor Aviles Cevallos
Director de Apoyo a la Gestión

Campus "Ingeniero Manuel Agustín Haz Álvarez", Av. Quito km. 1 1/2 vía a Santo Domingo de los Tsáchilas
Tel: (593) 5370-2220 - info@uteq.edu.ec - www.uteq.edu.ec
QUEVEDO - LOS RÍOS - ECUADOR

* Documento generado por Gupire

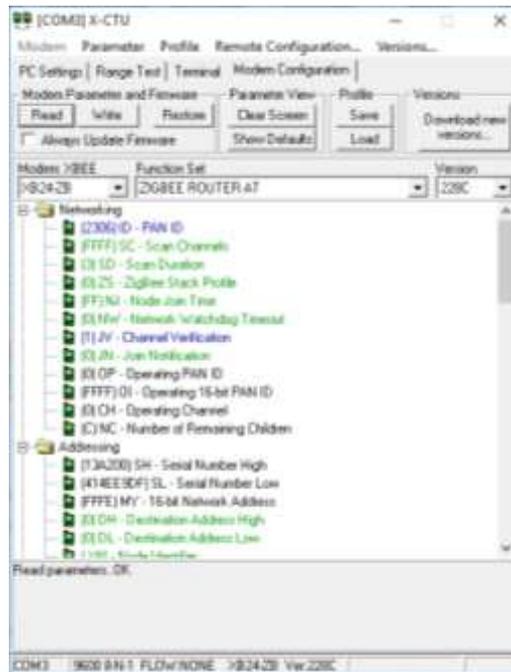
1/1

Fuente: La investigación
Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

7.4. Configuraciones XBee S2 y S2C

En el presente apartado se muestran las configuraciones de los módulos de comunicación XBee modelos S2 y S2C denominados nodo Router 1, nodo Router 2 y nodo coordinador utilizando el software X-CTU.

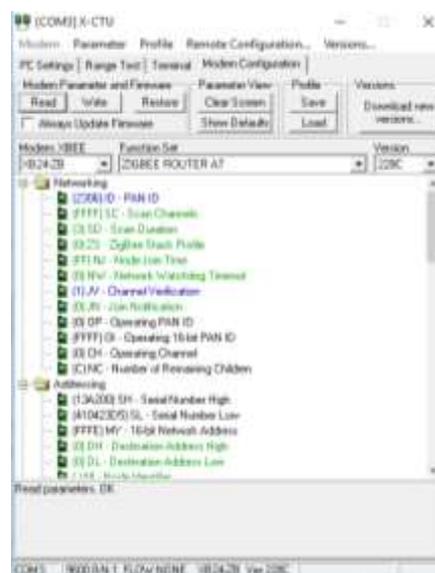
Figura 39. Configuración en X-CTU de nodo router 1



Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

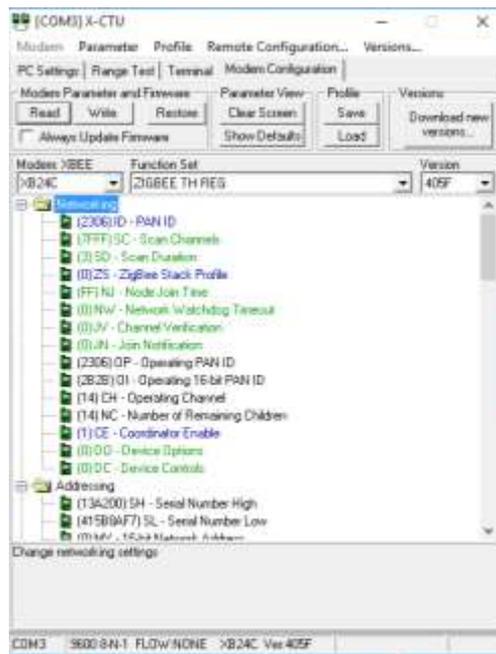
Figura 40. Configuración en X-CTU de nodo router 2.



Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Figura 41. Configuración en X-CTU de nodo coordinador.



Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

7.5. Estado módulos XBee S2

Siguiendo el procedimiento del fabricante:

https://www.digi.com/wiki/developer/index.php/Bootloader_to_force_XBee_reflash

El mensaje de error en los módulos se debe a que no tiene o no hay bootloader activo para actualizar el firmware. Posible defecto en el módulo. Se adjunta capturas de pantalla y logs (del módulo funcional y un módulo defectuoso).

Figura 42. Módulo funcional



Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

Figura 43. Módulo defectuoso



Fuente: La investigación

Elaborado por: Solís Cinthia, Vicuña María B. (2017)

7.5.1. Testing módulo defectuoso

03-14-2017 21:30:58.798,-,AT," ,0013A200410423D5,ZigBee Coordinator
AT,20A7,usbmodem1411 - 9600/8/N/1/N,0"

03-14-2017 21:31:04.622,0,SENT,2B

03-14-2017 21:31:04.966,1,SENT,2B

03-14-2017 21:31:05.269,2,SENT,2B

03-14-2017 21:31:08.782,3,SENT,0D

03-14-2017 21:31:11.067,4,SENT,41

03-14-2017 21:31:11.690,5,SENT,54

03-14-2017 21:31:12.402,6,SENT,49

03-14-2017 21:31:12.762,7,SENT,44

03-14-2017 21:31:13.585,8,SENT,0D

7.5.2. Testing módulo funcional

03-14-2017 21:29:33.064,-,AT," ,0013A200410423D5,ZigBee Coordinator
AT,20A7,usbmodem1411 - 9600/8/N/1/N,0"

03-14-2017 21:29:56.061,0,SENT,2B

03-14-2017 21:29:56.621,1,SENT,2B

03-14-2017 21:29:57.037,2,SENT,2B

03-14-2017 21:29:57.082,3,RECV,4F4B0D

03-14-2017 21:29:59.195,4,SENT,41

03-14-2017 21:29:59.402,5,SENT,54

03-14-2017 21:29:59.612,6,SENT,49

03-14-2017 21:29:59.780,7,SENT,44

03-14-2017 21:30:01.028,8,SENT,0D

03-14-2017 21:30:01.054,9,RECV,313233340D