

**UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA:
DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA REDUCCIÓN DEL ABIGEATO EN LA
HACIENDA LA CAPILLA DE LA CIUDAD DE TULCÁN**

**AUTORES:
CRISTIAN FERNANDO CEVALLOS ALDAS
DAVID RICARDO MUÑOZ ALARCÓN**

**TUTOR:
CARLOS AGUSTO CUICHÁN MORALES**

Quito, julio del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Cristian Fernando Cevallos Aldás con documento de identificación N° 1723385926 y David Ricardo Muñoz Alarcón con documento de identificación N° 1720935434, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA REDUCCIÓN DEL ABIGEATO EN LA HACIENDA LA CAPILLA DE LA CIUDAD DE TULCÁN”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
Cristian Fernando Cevallos Aldás
C.I.: 1723385926



.....
David Ricardo Muñoz Alarcón
C.I.: 1720935434

Quito, julio del 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DE DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, “DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA REDUCCIÓN DEL ABIGEATO EN LA HACIENDA LA CAPILLA DE LA CIUDAD DE TULCÁN”, realizado por Cristian Fernando Cevallos Aldás y David Ricardo Muñoz Alarcón, obteniendo un producto que cumple con todos los requerimientos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, julio del 2020



.....
Ing. Cuichán Morales Carlos Augusto M.Sc.

CI: 1714389721

DEDICATORIA

Dedico el presente Trabajo de Titulación en primer lugar a Dios por guiarme y ayudarme en todos los instantes de la vida. Dedico a mis tíos y a mi madre Gloria. A mis tíos Cecy y Patricio por apoyarme siempre en todo y darme tantos conocimientos y experiencias sobre la vida, educarme para ser una mejor persona cada día. A mi madre por dar todo para verme feliz y que nunca me falte nada, por el esfuerzo que dedica día a día por su hijo único.

A mi familia, tíos y primos que siempre fueron apoyo en todos los instantes de la vida para salir adelante y lograr nuevas metas. Les dedico a todos los que siempre creyeron en mí padres, tíos, abuelos y amigos.

Cristian Cevallos

A mis padres Edgar y Estelita, quienes son lo más importante en mi vida, por haberme enseñado buenos valores, a ellos les debo lo que soy, no me alcanzará la vida para expresar cuanto los amo y para agradecerles por todo lo que me han dado.

A mis Hermanos, Paul y Erika porque siempre han estado conmigo brindándome su cariño, gracias por sus consejos y por lo que hacen por mí... Les amo mucho.

A mi sobrina, Milenita, que con su alegría llena de amor a nuestra familia.

David Muñoz

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ayudarme en momentos tan difíciles en la vida, que gracias a él sigo viviendo y me ha acompañado siempre.

A mi familia y amigos que gracias a su compañía y ayuda es posible conseguir metas y salir adelante.

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana que me permitió educarme tanto como persona como un excelente profesional. Por compartirme conocimientos esenciales para resolver problemas en nuestra área profesional. Agradezco a los docentes por toda la paciencia y exigencia hacia los estudiantes y ser mejores.

A nuestro tutor el Ingeniero Carlos Cuichán, que nos guió en el desarrollo de este trabajo mediante su conocimiento profesional y nos ha orientado en cada dificultad que se nos ha presentado.

Al señor Germán Tapia por permitirnos realizar todos los estudios en su Hacienda y su paciencia para indicarnos toda su información que fue necesaria para el proyecto.

Cristian Cevallos

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios porque jamás me abandonó en los momentos más difíciles de mi vida y por haberme enseñado que los mejores éxitos se consiguen con sacrificio y esfuerzo haciendo lo correcto.

A mi familia por todo el apoyo brindado en esta etapa de mi vida, siempre haré todo lo posible para que estén orgullosos de mí.

A mis queridos amigos, por tener el placer de conocer a personas que te enseñan apreciar la vida sin esperar algo a cambio y sobre todo gracias por los momentos compartidos.

A nuestro tutor el Ingeniero Carlos Cuichán, por la ayuda en el desarrollo de este proyecto técnico mediante todo su conocimiento profesional.

Al señor Germán Tapia por permitirnos realizar todos los estudios en su Hacienda

A la Universidad Politécnica Salesiana por la formación profesional y a los docentes por compartir sus conocimientos para llegar a la excelencia.

David Muñoz

ÍNDICE GENERAL

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DE DOCENTE TUTOR.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiii
CAPÍTULO 1.....	1
ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	2
1.3. OBJETIVOS	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO 2.....	4
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	4
2.1. ABIGEATO EN EL ECUADOR	4
2.2. ABIGEATO EN CARCHI	5
2.3. DEFINICIÓN DE LA HACIENDA.....	6
2.3.1. Ubicación	6
2.3.2. Tamaño.....	6
2.3.3. Topografía.....	7
2.3.4. Tipo de Producción	7
2.3.5. Límites de la Hacienda La Capilla	8
2.4. SISTEMAS INALÁMBRICOS EXISTENTES PARA LA VIGILANCIA Y MONITOREO DEL GANADO	9
2.5. COMUNICACIONES INALÁMBRICAS	9
2.5.1. Ventajas de las redes inalámbricas sobre las alámbricas	10

2.6.	TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS.....	10
2.6.1.	Análisis de prestaciones tecnológicas	11
2.6.2.	Elección de la tecnología a utilizar en el proyecto.....	12
2.6.3.	Ventajas y desventajas de la red WIFI.....	13
2.7.	DISPOSITIVOS FINALES WIFI PARA EL PROYECTO	14
2.7.1.	Dispositivos finales WIFI para la prevención del abigeato	14
2.8.	API DE GOOGLE	15
2.8.1.	Geolocalización mediante WIFI con API de Google	16
2.9.	BASE DE DATOS FIREBASE	16
2.10.	ANÁLISIS DEL SOFTWARE PARA LA SIMULACIÓN.....	16
2.10.1.	Comparación de las características de cada software	17
CAPÍTULO 3.....		19
DISEÑO DEL SISTEMA PROPUESTO.....		19
3.1.	REDES INALÁMBRICAS PARA EL SISTEMA PROPUESTO	19
3.2.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA A DISEÑAR.....	19
3.3.	DELIMITACIÓN DE ÁREAS DE COBERTURA EN LA ZONA DE CRIANZA DE LA HACIENDA.....	20
3.4.	DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA.....	22
3.4.1.	Arquitectura de red WIFI y elementos para el diseño de la propuesta	22
3.4.2.	Método de propagación de la red WiFi a utilizar.....	23
3.5.	SIMULACIÓN DE LA COBERTURA DE RED WIFI PARA EXTERIORES DEL DISEÑO	25
3.5.1.	Parámetros de simulación	25
3.5.2.	Simulación de la red inalámbrica WIFI (802.11).....	27
3.6.	ARQUITECTURA DEL DISPOSITIVO PARA EL MONITOREO DEL GANADO EN LA HACIENDA	32
3.7.	CONFIGURACIÓN DEL DISPOSITIVO PARA EL MONITOREO DEL GANADO EN LA HACIENDA	33
3.7.1.	Conexión del dispositivo MCU a la red WIFI diseñada	33
3.7.2.	Envío de datos a la API de WIFILocation para la Geolocalización	34
3.8.	DISEÑO DE LA INTERFAZ WEB Y COMPLEMENTOS EN EL DISPOSITIVO MCU	34
3.8.1.	Direccionamiento IPV4 para el acceso a la red diseñada	35
3.9.	DISEÑO DEL NODO CENTRAL (MCU-CONTROLLER).....	36
3.10.	COMUNICACIÓN DE DATOS POR LA FIREBASE	37
3.11.	CONFIGURACIÓN DE ALERTAS DEL SISTEMA	39

3.11.1. Alertas por correo electrónico.....	40
3.11.2. Alertas por Notificación Push y Alertas vía Twitter	41
3.12. INTERFAZ DEL USUARIO PARA MONITOREAR EL GANADO ..	41
3.13. SEGURIDAD ADICIONAL	42
CAPÍTULO 4.....	43
ANÁLISIS DEL SISTEMA DE SEGURIDAD DISEÑADO	43
4.1. PRUEBAS DE SIMULACIÓN DE LE RED WIFI OUTDOOR	43
4.1.1. Análisis del sistema utilizando tres Access Points	43
4.2. PRUEBAS DE COBERTURA EN LA HACIENDA LA CAPILLA.....	44
4.2.1. Medición de señal WIFI en la zona de crianza de la Hacienda y sus límites	44
4.2.2. Mediciones del Sistema de puntos de acceso para la inserción WDS .	45
4.2.3. Salida de la red diseñada hacia el Internet	47
4.2.4. Datos finales de la simulación y las pruebas de cobertura.....	48
4.3. ANÁLISIS DE POTENCIA DE RECEPCIÓN DEL DISPOSITIVO MCU..	49
4.4. PRECISIÓN DEL SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN WIFI CONTRA GPS CELULAR	50
4.5. ANÁLISIS DE TIEMPO DE DIFERENTES PROCESOS EN EL SISTEMA PROPUESTO	52
4.5.1. Análisis de retardos de tiempo del Dispositivo MCU	52
4.5.2. Análisis de retardos de tiempo del MCU-CONTROLLER	52
4.6. ANÁLISIS DE TRÁFICO EN LA RED WIFI	53
4.6.1. Cantidad de tráfico en Dispositivo-MCU	53
4.6.2. Cantidad de tráfico en MCU-Controller	55
4.7. ANÁLISIS DE COSTOS	56
4.7.1. Costo de Implementación	56
4.7.2. Relación Costo Beneficio (RBC).....	57
CONCLUSIONES.....	58
RECOMENDACIONES.....	60
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Número de ganado vacuno y producción de leche en el Ecuador	5
Figura 2.2 Ubicación Hacienda La Capilla	6
Figura 2.3 Linderos de la Hacienda La Capilla.....	8
Figura 3.1 Zona límite de cobertura de la hacienda.	20
Figura 3.2 Perfil de elevación del área de estudio a lo largo de su territorio.....	21
Figura 3.3 Estructura de red WIFI para el diseño del sistema de seguridad.....	23
Figura 3.4 Topología de red WIFI para el diseño del sistema de seguridad.....	23
Figura 3.5 Centralización de puntos de acceso por Triangulación.	24
Figura 3.6 Configuración inicial de un nodo en ICS Telecom.	28
Figura 3.7 Configuración de la antena del nodo en ICS Telecom.	29
Figura 3.8 Configuración del nivel de recepción del nodo en ICS Telecom.	30
Figura 3.9 Simulación de la cobertura del sistema en el ICS Telecom para el diseño.	31
Figura 3.10 Cobertura del sistema exportada en Google Earth para el área de diseño.	32
Figura 3.11 Diagrama de bloques del sistema para la ubicación de Dispositivo-MCU.	33
Figura 3.12 Datos de conexión de la API de WIFILocation de Google.	34
Figura 3.13 Diagrama de bloques del sistema para la ubicación de Dispositivo-MCU.	34
Figura 3.14 Sitio web para el monitoreo del ganado en la zona de crianza	35
Figura 3.15 Diagrama de bloques del Nodo central en el diseño.....	36
Figura 3.16 Diagrama de Flujo del Nodo Central.....	37
Figura 3.17 Base de datos de Firebase con los datos necesarios del sistema.....	38
Figura 3.18 Diagrama de Flujo que permite la comunicación segura HTTPS	38
Figura 3.19 Configuración inicial del sistema de alertas con Blynk (IOT Software)	39
Figura 3.20 Configuración de alertas y notificaciones con Blynk (IOT Software) ...	40
Figura 3.21 Alertas por correo electrónico del dispositivo-MCU.....	40
Figura 3.22 Alerta por Notificación Push y Alertas vía Twitter	41
Figura 3.23 Ubicación del ganado en el mapa de Google Maps.....	42
Figura 3.24 Esquema de conexión encendido y apagado de una sirena en la Hacienda.....	42
Figura 4.1 Ubicación del sistema de Puntos de Acceso en la zona de crianza	44
Figura 4.2 Enlace WIFI entre el ISP y el sistema de Puntos de Acceso diseñado....	47
Figura 4.3 Conexión en modo Mesh del sistema inalámbrico diseñado.....	48
Figura 4.4 Alcance WIFI entre Dispositivo MCU y un Medidor WIFI.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Características para el sistema de seguridad inalámbrico.....	10
Tabla 2.2 Tecnologías Inalámbricas	11
Tabla 2.3 Análisis Cuantitativo de las diferentes tecnologías.....	12
Tabla 2.4 Características para el monitoreo de ganado.....	13
Tabla 2.5 Características de los dispositivos WIFI finales	14
Tabla 2.6 Dispositivos WIFI para el proyecto propuesto	15
Tabla 2.7 Modelos de propagación del software	17
Tabla 2.8 Sistemas de comunicación y compatibilidad entre dispositivos	18
Tabla 3.1 Dimensiones de las zonas de crianza de la Hacienda La Capilla.....	22
Tabla 3.2 Parámetros generales que necesita la red 802.11.....	25
Tabla 3.3 Parámetros generales del estándar 802.11.	25
Tabla 3.4 Parámetros específicos del estándar 802.11.....	26
Tabla 3.5 Análisis de los parámetros específicos de WIFI en el diseño.....	27
Tabla 3.6 Valores generales para la simulación de sistema.	28
Tabla 3.7 Parámetros principales de simulación para la antena.....	29
Tabla 3.8 Ubicación nodos en diseño de la cobertura en la Hacienda.	30
Tabla 3.9 Umbral de recepción para la simulación del sistema.....	31
Tabla 3.10 Direccionamiento IPV4 del ganado en la red y complementos.	36
Tabla 4.1 Datos de la simulación de la red utilizando un sistema de tres Aps.	43
Tabla 4.2 Mediciones de la red WIFI Outdoor diseñada en el Ap Central.....	45
Tabla 4.3 Mediciones de la red WIFI Outdoor diseñada entre el Ap2 y Ap1.....	46
Tabla 4.4 Mediciones de la red WIFI Outdoor diseñada entre el Ap2 y Ap3.....	46
Tabla 4.5 Mediciones de la red WIFI Outdoor diseñada entre el Ap1 y Ap3.....	47
Tabla 4.6 Valores simulados y experimentados de la red WIFI diseñada.	48
Tabla 4.7 Ubicación final de nodos en diseño de la cobertura en la Hacienda.....	49
Tabla 4.8 Precisión de la geolocalización WIFI del MCU y GPS celular en la Hacienda.....	51
Tabla 4.9 Tiempo en realizar cada proceso en el Dispositivo MCU y MCU-Controller	53
Tabla 4.10 Costos totales de cada sección del sistema	57

RESUMEN

El proyecto de titulación presenta un sistema inalámbrico alternativo a los existentes que ayuda a la seguridad y monitoreo del ganado para reducir cifras de abigeato en el Cantón Tulcán, ya que no existe un control adecuado de esta problemática que afecta a los sectores ganaderos de la Provincia del Carchi y a la Hacienda La Capilla donde se realizó el diseño. El proyecto parte del análisis de las tecnologías inalámbricas existentes en busca de una solución más económica y viable para optimizar recursos de diseño accesibles en zonas rurales. Se utilizó un sistema de triangulación basado en la tecnología inalámbrica WIFI debido al uso de protocolos que mejoran la comunicación hacia el internet, además de sus bajos costos, mayor velocidad de transmisión, bajo consumo de potencia, alta compatibilidad con muchas aplicaciones y dispositivos. Con la red diseñada se realizaron pruebas de cobertura y simulación en el sitio estudio utilizando al NodeMCU como dispositivo para el monitoreo de ganado por ser un hardware desarrollador libre reemplazando el uso del GPS por Geolocalización WIFI que es una API de Google sin costo. El almacenamiento de datos se lleva a cabo en la nube de Google llamada Firebase y se registra las notificaciones por aplicaciones web, lo cual evita el uso de mayor infraestructura. Se realizó un análisis económico que indica la factibilidad del sistema con el costo beneficio estableciendo la rentabilidad del proyecto para la Hacienda.

ABSTRACT

This project is about an alternative wireless system to the existing ones that help the security and monitoring of livestock to reduce the rates of cattle-raiding in the city of Tulcán, since there is no adequate control of this problem that affects the livestock sectors of the Carchi Province and in the treasury La Capilla where the design was developed. The project analyzed the existing wireless technologies for a more economical and viable solution to optimize accessible design resources in rural areas. It utilized a triangulation system based on WIFI wireless technology due to the use of protocols that improve communication to the internet, in addition to its low costs, higher transmission speed, low power consumption, high compatibility with many applications and devices. With the designed network, coverage tests and simulations were carried out in the study site; the NodeMCU was used as a device for monitoring livestock because it is free developer hardware, replacing the use of GPS with WIFI Geolocation, which is a free Google API. The data is stored in the Google cloud called Firebase and notifications are registered by web applications, which avoids the use of more infrastructure. The economic analysis indicates the feasibility of the system with the cost-benefit, establishing the profitability of the project for the Treasury.

INTRODUCCIÓN

La Hacienda La Capilla ubicada en el sector Los Cuases, cantón Tulcán, Provincia del Carchi es una empresa que se dedica exclusivamente a la producción de leche, cuenta con grandes extensiones de terreno para la crianza de terneros y vacas lecheras. El lugar donde pastorea el ganado de crianza es el sector más vulnerable dentro de la Hacienda con la facilidad de que exista robo o pérdida de ganado. Por el poco control que existe en torno al abigeato se ha convertido en una problemática social con la que viven los ganaderos de esta zona. Partiendo de este problema se analizan los casos de abigeato existentes en los últimos años buscando una solución tecnológica que reduzca la realidad de este mal acorde al cumplimiento de los objetivos.

El proyecto se basa en comunicaciones inalámbricas diferentes a las existentes en el mercado por características de funcionamiento y propagación en el medio. Se diseña un sistema de seguridad y monitoreo que consta de dos partes, la de infraestructura inalámbrica con el estudio de la red para exteriores y la del dispositivo final que se coloca en el ganado, con las pruebas de cobertura y simulación se configura al dispositivo geolocalizador que cuenta con características de funcionamiento compatibles con la red inalámbrica analizada, la programación del dispositivo tiene diferentes acciones necesarias para el monitoreo y envío de alertas a los administradores de la Hacienda sobre los eventos de seguridad.

Al final se presenta el presupuesto de implementación y la viabilidad del proyecto usando la metodología de costo-beneficio.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El abigeato en las haciendas del cantón Tulcán es una problemática que se viene dando a lo largo de los últimos años, lo cual está afectando a los sectores ganaderos de la provincia y a la Hacienda La Capilla como tal. Esta problemática está causando que el sector ganadero opte por sistemas de seguridad.

El problema principal es que no existe un adecuado monitoreo continuo sobre el ganado debido al excesivo costo que sería implementar un sistema inalámbrico que los pueda monitorear de forma remota y así conocer si el ganado se encuentra seguro y dentro del área de pastoreo.

Los sistemas de comunicaciones para el monitoreo del ganado existentes se enfocan en su mayoría al del estado del animal más que para su seguridad. Los sistemas inalámbricos que se preocupan para evitar el abigeato en la actualidad son sistemas que utilizan tecnología SMS/GPRS para poder monitorear el ganado, pero es un sistema muy caro debido a que se necesita servicios móviles avanzados y la contratación de operadoras móviles. Tal sistema de monitoreo existente está compuesto por un nodo de supervisión y un nodo administrador. (Boasberg et al., 2019)

Por tal motivo el presente proyecto técnico plantea el desarrollo de un sistema inalámbrico alternativo más barato para el fácil acceso económico de los hacendados y evitar el robo o pérdida de su ganado.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto técnico se encuentra enfocado a reducir el abigeato en la hacienda La Capilla ubicado en el sector de los Cuases cantón de Tulcán debido a la inseguridad existente en el lugar. Las pérdidas de ganado han aumentado considerablemente ya que el promedio de venta de cada cabeza de ganado está valorado en 1500 dólares expresado por Germán Tapia propietario de la Hacienda. Los casos de abigeato son comunes en las zonas rurales de la provincia, así como en la Hacienda La Capilla.

Después de analizar de los principales problemas que existen entorno al abigeato en la Hacienda La Capilla y la Geografía del sector se propone un sistema inalámbrico que permita monitorear el ganado existente y brinde seguridad al sector de crianza de la hacienda La Capilla, donde no se cuentan con un servicio de seguridad inalámbrica de su ganado, se buscar lugares estratégicos en la hacienda ganadera y en todo el sector alejado de ella implementando la cobertura con una correcta línea de vista permitiendo controlar el ganado eliminando las falencias geográficas del sector, además se verifica el funcionamiento del sistema mediante pruebas de cobertura y de simulación para obtener un análisis de los costos de implementación y operación futura.

Por todo lo expuesto anteriormente en este proyecto técnico se desarrolla el sistema de comunicación inalámbrico para poder monitorear cada cabeza ganado y reducir el abigeato en la hacienda La Capilla.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de seguridad para la disminución del abigeato en la hacienda La Capilla de la ciudad de Tulcán utilizando medios de comunicación inalámbricos.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Analizar los principales problemas que existen entorno al abigeato y la Geografía del sector Los Cuases del Cantón Tulcán para el diseño del sistema inalámbrico.

- Diseñar un sistema de seguridad y monitoreo inalámbrico para las cabezas de ganado en el sector de crianza de la hacienda La Capilla mediante cálculos de propagación.

- Verificar el funcionamiento del diseño propuesto mediante pruebas de cobertura y de simulación del sistema.

- Analizar los costos de implementación y operación del sistema propuesto para su funcionamiento futuro.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ABIGEATO EN EL ECUADOR

El Abigeato consiste en el robo o hurto de animales de cría (cuatrerismo), delito de receptación de ganado bovino mular, equino en ganado mayor y en ganado menor el porcino, ovino o caprino. El robo de gallinas que son bípedos no es considerado abigeato, pero si es un delito la apropiación de crines, plumas, pelos, cerdas o algún elemento del pelaje de animales ajenos. El abigeato aún se da todavía en todo el mundo en áreas ganaderas y surge más esta amenaza cuando el precio de la carne sube. (Puppo Grezzi, 2006)

Según el artículo 199 del Código Orgánico Integral Penal sobre el Abigeato cita que la persona que se posea de cabezas de ganado vacuno, porcino, caballar, lanar, se le sancionará con pena privativa de 1 a 3 años. Al igual que se considera delito a las personas que supriman, inserten, alteren, falsifiquen marcas, fierros, señales u otros dispositivos utilizados para la identificación de las cabezas de ganado. Si a consecuencia del crimen muere una persona será sancionada con pena privativa de libertad de 22 a 26 años. Si el delito se comete con violencia utilizando la fuerza bruta, se sancionará con pena privativa de 3 a 7 años.(COIP, 2014)

Se muestra en el anexo 1, la tasa de abigeato en zonas rurales en el Ecuador (Valor/dato), considerando el número de noticias por delito de abigeato en zonas rurales y la población total existente en los años 2014 al 2018, donde el porcentaje mostrado es por cada 100 mil habitantes, utilizando la ecuación 2.1 se tiene lo siguiente:

$$TAR = \frac{\sum_{i=1}^n NDD}{\sum PPR} * 100.000 \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Donde:

TAR= Tasa de Abigeato en zonas rurales

NDD= Número de noticias de delito de abigeato en zonas rurales

PRR= Población total del área rural

Dados los datos analizados en el anexo1, se observa que el mayor porcentaje de abigeato en el Ecuador fue en el año 2017 con un denominador poblacional rural de 6094829 equivalente a un 34,37 % analizando en los últimos 6 años.

2.2. ABIGEATO EN CARCHI

La provincia del Carchi es una de las provincias más importantes en el sector ganadero, ya que aportan en la producción de leche y cárnicos. En la producción de leche, Carchi se encuentra en el cuarto puesto del país como se observar en la figura 2.1 y posee una gran cantidad de cabezas de ganado aproximadamente 100 mil en el año 2017. Por lo cual es una de las provincias donde es muy propenso el abigeato debido a la cantidad de ganado existente y la producción de leche que forman una parte importante en la economía del Cantón.(Agro Sur (Valdivia), 2017).

Figura 2.1 Número de ganado vacuno y producción de leche en el Ecuador

REGIÓN Y PROVINCIA	NÚMERO DE CABEZAS			VACAS ORDENADAS			PRODUCCIÓN DE LECHE (Litros)		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017
TOTAL NACIONAL	4.115.213	4.127.311	4.190.611	860.886	896.170	856.164	4.982.370	5.319.288	5.135.405
REGIÓN SIERRA	1.941.731	2.042.144	2.048.097	522.717	570.270	550.596	3.677.687	4.106.855	3.915.787
REGIÓN COSTA	1.770.142	1.731.772	1.773.500	272.717	271.194	256.803	1.024.009	955.272	1.009.644
REGIÓN ORIENTAL	391.160	351.228	367.422	63.336	54.537	48.515	273.188	256.421	207.898
ZONAS NO DELIMITADAS	12.180	2.167	1.592	2.115	169	251	7.487	740	2.075
REGIÓN SIERRA									
AZUAY	296.298	335.123	323.735	81.880	99.473	94.961	417.790	561.431	482.401
BOLÍVAR	158.191	167.922	188.680	36.696	40.595	46.533	154.778	159.055	197.040
CAÑAR	129.508	170.816	155.095	43.502	60.419	50.669	227.073	370.231	324.578
CARCHI	101.423	96.539	99.803	34.596	32.835	34.801	322.282	311.680	360.598
COTOPAXI	234.615	221.960	254.709	65.673	61.179	63.932	529.614	483.699	514.759
CHIMBORAZO	208.509	228.500	222.316	59.990	72.524	64.846	405.036	458.181	431.325
IMBABURA	80.116	97.299	91.807	15.960	24.808	19.261	152.561	246.454	160.473
LOJA	185.051	185.109	169.226	31.908	31.664	27.770	125.571	143.666	103.152
PICHINCHA	295.462	273.085	286.586	91.427	80.640	85.172	893.463	845.963	835.663
TUNGURAHUA	120.199	126.754	108.133	39.505	40.470	34.103	330.239	355.679	297.060
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS	132.358	139.036	148.006	21.579	25.663	28.548	119.281	170.816	208.738
REGIÓN COSTA									
EL ORO	144.631	164.173	186.544	16.716	14.938	15.051	65.579	63.677	110.030
ESMERALDAS	331.028	285.941	309.469	30.794	28.504	33.077	122.047	100.556	128.874
GUAYAS	290.821	282.841	270.029	44.051	41.149	40.160	171.214	121.903	145.698
LOS RÍOS	103.300	114.149	107.084	12.834	12.525	9.876	54.740	47.607	37.341
MANABI	893.088	879.592	896.476	168.122	173.924	158.505	609.863	621.174	587.252
SANTA ELENA	7.275	5.077	3.898	200	155	133	567	355	449
REGIÓN ORIENTAL									
MORONA SANTIAGO	152.022	148.047	137.942	21.991	19.619	17.972	101.468	79.432	67.041
NAPO	18.234	21.978	21.620	3.849	4.354	3.949	25.782	36.326	23.892
ORELLANA	48.365	31.306	29.576	4.701	5.132	2.960	21.315	19.520	18.754
PASTAZA	13.409	13.866	11.815	2.781	2.835	1.992	18.793	18.632	11.223
SUCUMBIOS	73.488	69.184	86.565	8.634	6.744	8.918	31.998	24.671	33.446
ZAMORA CHINCHIPE	85.642	66.847	79.904	21.380	15.853	12.724	73.832	77.839	53.542
ZONAS NO DELIMITADAS									
ZONAS NO DELIMITADAS	12.180	2.167	1.592	2.115	169	251	7.487	740	2.075

Cifras del ganado existente en las provincias del Ecuador. Fuente: (Agro Sur (Valdivia), 2017)

Analizando los datos de la figura 2.1 se observa que la región en donde se tiene mayor número de cabezas ganado es la región Sierra con un promedio 2010657.33 cabezas

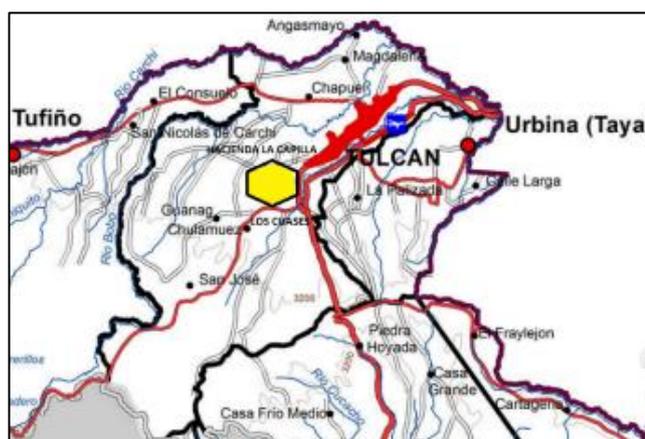
de ganado correspondiente a los años 2015-2017, este dato es importante ya que ayuda a interpretar el volumen de ganado que puede ser afectado por el abigeo que existe en el país. Es por eso que en el país existe una unidad especializada para este delito que es la Unidad de Investigación Contra el Abigeato UICA, la misma que realiza operativos con el apoyo del Grupo de Operaciones Especiales (GOE), Criminalística, la Unidad de Telefonía Móvil Avanzada (UTMA) y la Fiscalía vistas en el anexo 1.

2.3. DEFINICIÓN DE LA HACIENDA

2.3.1. Ubicación

La Hacienda La Capilla está ubicada en la provincia del Carchi en los alrededores de la ciudad de Tulcán, en el sector los Cuases, entrada de la ciudad cerca al monumento El Obelisco. En la figura 2.2 utilizando Google Maps se muestra la ubicación de la hacienda.

Figura 2.2 Ubicación Hacienda La Capilla



Ubicación de la Hacienda. Fuente: Google Maps.

2.3.2. Tamaño

La extensión de toda la hacienda es de aproximadamente 760 mil metros cuadrados equivalente a 76 Hectáreas. El área de la hacienda consta de pequeñas montañas y algunos lugares de pastoreo que son llanuras separadas con linderos naturales como pequeños árboles y arbustos. Existen también linderos con cercado eléctrico para mantener el ganado en un área específica y no se salga del lugar de pastoreo u ordeño.

Posee varios caminos que permiten el acceso vehicular a toda el área de la hacienda. Tiene una infraestructura con energía eléctrica, agua potable, internet y todos los servicios básicos, además tiene una casa de hacienda con toda comodidad necesaria como también con una casa de empleados, las mismas que cuentan con todos los servicios básicos.

2.3.3. Topografía

La hacienda tiene una altitud entre los 3000 y los 3100 m sobre el nivel del mar, el terreno pertenece al clásico suelo andino característico de los Andes ecuatorianos. La vegetación es fértil, los potreros en su totalidad poseen pastos. En el lugar no se ha presentado “heladas” fuertes, por lo cual los pastos no se pierden en forma significativa. El terreno es apto para desarrollar actividad ganadera donde su altura es ideal para ganadería en general. La Hacienda “La Capilla” tiene su fecha de adquisición en el año 1990, como una propiedad ganadera la misma que se ha distinguido como productora de leche.

2.3.4. Tipo de Producción

En la hacienda solo se realiza la actividad lechera no de carnicería por lo cual para ordeñar se cuenta con un ordeño mecánico móvil, portátil con carpas en los potreros donde se encuentra el ganado lechero y además una casa de ordeño con toda una infraestructura para poder realizar chequeos al ganado y vacunarlos. Se tiene potreros de crianza que se encuentran a lado de la casa hacienda y las razas que se tienen son: Holstein y la F1, la F1 es un híbrido entre el cruce de 2 razas puras (bos taurus y bos indicus). La raza Holstein tiene origen en Holanda y es la raza por excelencia lechera. El rendimiento de esta raza es aproximado de 6500 kg por lactación que se mide en 305 días. La producción diaria de leche de cada bobino es de 10 a 13 litros. Los F1 al ser híbridos ayudan a elevar la producción de leche. El área de pastoreo es muy amplia con alrededor de 150 vacas lecheras y 50 en crecimiento. Los ordeños se realizan dos veces al día a las 5 am y las 4 pm, todo lo recogido en el día se guarda en depósitos para llevarlo a pasteurizar.

2.3.5. Límites de la Hacienda La Capilla

En el terreno se tiene 7 áreas de pastoreo de las cuales se ocupa 4 áreas rotando cada cierto tiempo hasta que los terrenos restantes se recuperen del uso que realiza el ganado de ordeño diariamente. Además, tiene 3 áreas pequeñas de crianza de ganado que después de dos años servirán para la producción de leche. En la figura 2.3 se observa los linderos de la Hacienda.

Figura 2.3 Linderos de la Hacienda La Capilla



Sección de la Hacienda la capilla donde se encuentra el ganado. Fuente: Google Earth

2.3.6. Zona de crianza de ganado

En la figura 2.4 se observa la zona de crianza que cumple un rol importante ya que es allí donde los terneros desarrollan su crecimiento necesitando un cuidado adicional. Por lo expresado, esta es la zona donde se realiza el diseño del proyecto técnico. Se encuentra subdividida por linderos de alambres de púas en cinco espacios diferentes.

Figura 2.4 Área de pastoreo de terneros de la Hacienda La Capilla



Sección de la Hacienda La Capilla donde se encuentran los terneros. Fuente: Google Earth

2.4. SISTEMAS INALÁMBRICOS EXISTENTES PARA LA VIGILANCIA Y MONITOREO DEL GANADO

Existen actualmente algunos sistemas comerciales que utilizan diferentes tecnologías para el monitoreo de ganado, la mayoría de estos sistemas tienen un costo elevado y el uso común de un GPS para monitorear y vigilar al ganado, se detallada en el anexo 2 características de comunicación, infraestructura y precio de estos sistemas para comparar sus valores con sistemas inalámbricos alternativos descritos en este capítulo.

2.5. COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

Las comunicaciones inalámbricas consisten en una serie de transmisores y un receptor que se comunican mediante el espectro radioeléctrico donde la información se transmite en una frecuencia fija y la energía se distribuye sobre un espectro limitado. Las señales que viajan son ondas electromagnéticas que varían su longitud de onda, frecuencia, Amplitud. Se utilizan varios métodos para manipular y recibir las señales transmitidas en el espectro, lo que permite mejorar el ancho de banda y la velocidad, reduciendo las interferencias, mejorando la transmisión y recepción de señales. Además, al ser un medio no guiado facilita la comunicación entre diferentes dispositivos que se conectan en un área determinada y entre ellos.

2.5.1. Ventajas de las redes inalámbricas sobre las alámbricas

- **Accesibilidad:** La gran mayoría de equipos portátiles puede acceder de forma segura a sus recursos de red desde cualquier ubicación dentro de su área de cobertura. (CISCO, 2014)
- **Movilidad:** Se puede permanecer conectado a la red desde cualquier ubicación hasta donde llegue la cobertura del transmisor.
- **Productividad:** Evitar instalar cables físicos en su diseño resultando más rápido y rentable.
- **Escalabilidad:** Para ampliar el área de cobertura de redes inalámbricas no se necesita más cableado, lo que se puede necesitar es otro punto de acceso.
- **Costos:** Se reducen costos porque existe mucho menos cableado que una red alámbrica.(CISCO, 2014)

2.6. TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS

Para la ejecución del proyecto técnico es necesario describir los requisitos generales que debe tener el diseño antes de su ejecución vistas en la tabla 2.1. Estas características se establecen en base a la geografía del sitio de estudio y a la prevención del abigeato en la Hacienda La Capilla.

Tabla 2.1 Características para el sistema de seguridad inalámbrico.

ELEMENTO	CARACTERISTICA
Red Inalámbrica	Red para exteriores de largo alcance
Dispositivo Geolocalizador	Dispositivo localizador para exteriores (robusto)
Sistema de prevención	Sistema que alerte a los administradores sobre el estado del ganado

Elementos generales para el diseño. Elaborado por Cristian Cevallos y David Muñoz

Partiendo de los requisitos del sistema se toma en cuenta diferentes tecnologías inalámbricas con aplicaciones de área local que se pueden utilizar como Bluetooth,

Zigbee, WIFI, Lora y SMA detalladas en el anexo 3. En la tabla 2.2 se muestran los datos más relevantes que tiene cada tecnología con sus características de funcionamiento y propagación en el medio.

Tabla 2.2 Tecnologías Inalámbricas

Red Inalámbrica	SMA 2G / 3G	Bluetooth	Zigbee	WIFI Exterior	LORA
Tipo de Red	WWMAN (Wireless Wide Area Network)	WPAN (Wireless Personal Area Network)	WPAN (Wireless Personal Area Network)	WLAN (Wireless Local Area Network)	LPWAN(Low Power Wide Area Network)
Estándar	GSM/UMTS/HSPA	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4	IEEE 802.11	LORAWAN
Velocidad	9,6/170/2000/14400 Kbps	24 Mbps	250 Kbps	1/2/11/54/300/1000 Mbps	0.3 Kbps a 50 Kbps.
Frecuencia	900/1800/2100 MHz	2,4 GHz	868/915 / 2400 MHz	2,4 GHz / 5 GHz	Depende el país
Rango	Max 35 Km por celda	hasta 100 m	menor a 50 m	150 a 400 m	long-range
Técnica de modulación	Varias	FHSS	DSSS	DSSS, FHSS, OFDM	FSK
Latencia	Depende distancia	2,5 ms	20 ms	1,5 ms	Depende la clase
Consumo de Potencia	Depende área a cubrir	40 mA	30 mA	400 mA	50 mW
Memoria	Depende de los dispositivos	100 Kb	32-60 Kb	100 Kb	Depende de los dispositivos
Número de nodos por red	Depende estación	7	65536	255 por SSID	Depende estación
Topología	Topología Celular	Punto a Punto, Estrella, árbol	Punto a Punto, Estrella, árbol, malla	Bus, Estrella, árbol, anillo	Estrella
Licencia	Si	No	No	No	No

Comparación técnica de sistemas inalámbricos para el monitoreo de ganado. Fuente: (Gonzalez Vergara & Pérez Carmona, 2008), (Viloria, Cardona, & Lozano, 2009)

2.6.1. Análisis de prestaciones tecnológicas

Se realiza un análisis cuantitativo de las diferentes tecnologías inalámbricas utilizables para el diseño del proyecto en base a características de una red inalámbrica de área local y al precio, vistas en la tabla 2.2, donde se califica del 1 al 10 los parámetros que

necesita el sistema inicialmente, 1 es bajo rendimiento y 10 es alto rendimiento.(Camargo, 2009)

Tabla 2.3 Análisis Cuantitativo de las diferentes tecnologías

TECNOLOGÍAS	SMA 2G / 3G	Bluetooth	Zigbee	WIFI	Lora
N° de Nodos	10	1	9	9	10
Cobertura	9	2	2	8	8
Velocidad	6	7	7	5	8
Latencia	5	6	6	8	6
Compatibilidad	7	8	5	9	7
Gestión	5	8	7	9	8
Precio	6	8	5	8	5
Consumo Energético	4	6	7	6	5
TOTAL	52	46	48	62	57

Calificación propuesta analizando la tabla 2.1. Elaborado por: Cevallos Cristian y Muñoz David

2.6.2. Elección de la tecnología a utilizar en el proyecto

La tecnología SMA (2G/3G) tiene un costo por el uso del espectro debido a que opera en bandas privadas haciendo con un pago mensual a una operadora telefónica, además la cobertura que ofrece en algunos lugares alejados (zonas rurales) no cuenta con una infraestructura ideal para diseño. La tecnología WIFI es compatible con la mayoría de los sistemas inalámbricos, utiliza protocolos de comunicación facilitando la conexión a internet constantemente actualizada, visto en el Anexo 8, así como la gestión y configuración a nuevas aplicaciones referentes a la agricultura y ganadería en tiempo real. La tecnología LORAWAN usa protocolos de comunicación a baja potencia y de largo alcance para conectarse a una red privada, carece de transmisión de datos en tiempo real y no es fiable ya que no cuenta con espectros licenciados en términos generales.

Tabla 2.4 Características para el monitoreo de ganado

Tecnología	Alcance	Capacidad	Calidad de servicio/ Fiabilidad	Consumo /Vida Útil
SMA	√	√	--	√
LORA	√	√	--	--
WIFI	√	√	√	√

Tecnología para el diseño. Elaborado por: Cevallos Cristian y Muñoz David

Luego de realizar un análisis general, en la tabla 2.4 se muestra cuatro características adicionales para la aplicación (monitoreo) a desarrollar. Siendo WIFI la tecnología que más se adapta al diseño del sistema inalámbrico cumpliendo con los parámetros de red, compatibilidad, acceso, calidad de servicio, consumo y bajo costo. (Viloria et al., 2009)

2.6.3. Ventajas y desventajas de la red WIFI

La red WIFI tiene diversas características de propagación y funcionamiento analizadas en el Anexo 8 que facilitan la transmisión de información en un área determinada.

- La ventaja más importante de una red WIFI es que realiza interconexión con diversos dispositivos sin utilizar un medio guiado lo hace de forma inalámbrica accediendo al internet desde cualquier dispositivo que disponga de servicio WIFI.
- Al ser un estándar utilizado a nivel mundial solo configurando la información de conexión entre punto de acceso-dispositivos (Consolas de juegos, Pcs, tablets, Smartphone, etc.) la red funciona correctamente dependiendo el uso que se le dé.

- Al poseer un sistema WIFI se puede tener una red LAN sin cablear, eso ayuda a los lugares difíciles de acceder o que no tengan condiciones óptimas de conexión y puedan comunicarse hacia el internet.
- Una desventaja es el hecho de tener un radio de alcance en propagación de 10 a 300 metros aproximadamente en su estado básico que es menor a otras tecnologías, esto depende de la potencia de propagación que tiene un punto de acceso y el nivel de recepción del dispositivo conectado, así como la aplicación a desarrollar.

2.7. DISPOSITIVOS FINALES WIFI PARA EL PROYECTO

En la tabla 2.5 se describe las características que debe tener el dispositivo WIFI para la realizar aplicaciones de geolocalización y sistema de alerta.

Tabla 2.5 Características de los dispositivos WIFI finales

Estándar	b/g/ n
Sensibilidad	Alta
Consumo de potencia	Bajo
Dimensiones	Compacto, pequeño, robusto
Protocolo de Red	IPv4, TCP/UDP, HTTP/ SSL.
Gestión	Gestionable que se pueda programar fácilmente.
Temperatura	-10 °C ~ 50 °C
Seguridad	Garantía de datos
Costo	Menores Costos
Disponibilidad en Ecuador	si

Características para el funcionamiento del dispositivo. Elaborado por: Cevallos Cristian y Muñoz David

2.7.1. Dispositivos finales WIFI para la prevención del abigeato

La red inalámbrica para prevenir el abigeato requiere de un dispositivo optimizado en recursos como se indica en la tabla 2.5, ya que existen en el mercado sistemas similares a costos elevados que cumplen funciones similares, vistas en el Anexo 2. En la tabla 2.6, se analiza las diferentes características de dispositivos en el mercado con

tecnología WIFI programables y gestionables, en base a los requerimientos establecidos.

Tabla 2.6 Dispositivos WIFI para el proyecto propuesto

	Arduino MKR1000	NodeMCU ESP8266	ESP-01 + Arduino Nano
Estándar	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n
Sensibilidad	b: -91 dbm (11 Mbps) g: -75 dbm (54 Mbps) n: -75 a -80 dbm (MCS7)	b: -91 dbm (11 Mbps) g: -75 dbm (54 Mbps) n: -72 a -80 dbm (MCS7)	b: -91 dbm (11 Mbps) g: -75 dbm (54 Mbps) n: -72 a -80 dbm (MCS7)
Voltaje de trabajo	3.3 V	3.3 V	5 V
Consumo Promedio de corriente	Rx: 80mA Tx: 287mA	Rx: 80mA Tx: 287mA	Rx: 85mA Tx: 300mA
Dimensiones	61.5 mm x 25 mm	58mm x 31mm	45mm x 18mm
Frecuencia de Operación CPU	48 Mhz	80Mhz	16 Mhz
Protocolo de Red	IPv4,TCP/UDP HTTP/FTP/SSL	IPv4,TCP/UDP HTTP/FTP/SSL	IPv4,TCP/UDP HTTP/FTP/SSL
Temperatura	-40 °C ~ 125 °C	-40 °C ~ 125 °C	-40 °C ~ 125 °C
Seguridad	WPA2, WEP	WPA2, WEP, AES	WPA2, WEP, AES
Costo (USD.)	30	9	15
Disponibilidad en Ecuador	si	si	si

Comparación de dispositivos WIFI para el proyecto. Elaborado por: Cevallos Cristian y Muñoz David

Con las características principales del dispositivo WIFI, se elige al NodeMCU por tener mayor sensibilidad de recepción, menor consumo de batería, menor consumo promedio de corriente, por ser un dispositivo compacto con un procesador de 80Mhz de frecuencia de operación, por tener un bajo costo y por soportar altas/bajas temperaturas evidenciando un dispositivo compatible a los requerimientos vistos anteriormente para el diseño del dispositivo localizador.

2.8. API DE GOOGLE

Google tiene muchas herramientas en su mayoría gratuitas que sirven para diferentes actividades. Entre ellas estan APIs, base de datos, buscadores, chats, etc. API (Application Programming Interfaces) que significa interfaces de programación de aplicaciones son conjuntos de códigos, comandos, protocolos que permiten a los programadores simplificar sus programas para no escribir comandos desde cero. Para el proyecto se utiliza una API que sirve para geolocalización mediante WIFI.

2.8.1. Geolocalización mediante WIFI con API de Google

Con la biblioteca WiFiLocation puesta en un microcontrolador (Dispositivo) se envía a la API de Google Maps GeoLocation una solicitud con una lista de todo el sistema BSSID WIFI (Red de Puntos de Acceso) conectado a la red, para que luego Google responda con la ubicación y precisión en formato JSON. La API encuentra la ubicación y un radio de precisión basados en información de la MAC de cada AP y la intensidad de señal que cada dispositivo tiene conectado a la red. Esto se utiliza principalmente cuando el uso del GPS no es posible o apropiado. Para tener una mejor precisión de la ubicación del dispositivo es necesario utilizar métodos de propagación que utilicen la intensidad de señal WIFI como distancia.

2.9. BASE DE DATOS FIREBASE

Firestore es la base de datos de Google gratuita hasta cierta cantidad de datos, en descargas se ofrece un máximo de 360 MB por día y en almacenamiento 1 GB en un mes. Ofrece estadísticas, mensajería, informe a fallos, etc. Es compatible con muchas plataformas como iOS, Android, web, Unity, C++, Arduino. Utiliza certificado SSL por lo que es segura y confiable detallado en el Anexo 6. Es de fácil administración con un diseño amigable. Firestore Realtime Database posee servidores en la nube NoSQL, en el Anexo 5 se detalla las ventajas de usar NoSQL sobre base de datos SQL. Los datos se sincronizan en tiempo real y permanecen disponibles. Se puede acceder a la base de datos desde un navegador en la computadora o dispositivo móvil donde los cambios se actualizan en milisegundos, además se puede crear reglas de seguridad para la lectura y escritura de los datos llamado Firestore Realtime Database Security Rules. Por lo cual utilizar la Firestore es adecuado para el diseño propuesto. (Google, 2020).

2.10. ANÁLISIS DEL SOFTWARE PARA LA SIMULACIÓN

Existen múltiples softwares para la planificación y simulación de redes inalámbricas a media escala que se encuentran en el mercado las cuales permiten realizar diseños de una manera más aproximada al comportamiento de una red real. En el Anexo 7 se detalla con más precisión sus características. A partir de lo expuesto se analizan las

características técnicas y de simulación de tres paquetes de software distintos los cuales son:

- ICS Telecom (Herramienta de simulación y planificación) ATDI (Advanced Topographic Developmet & Images)
- Xiro (Software para simulaciones radioeléctricas de la empresa Aptica)
- Atoll (Herramienta de simulación de cobertura para redes de Forsk)

2.10.1. Comparación de las características de cada software

Es importante señalar que en medio de las características generales que tiene una simulación de una red WIFI, el modelo de propagación cumple un rol importante a la hora de elegir un software que simule WIFI, siendo así el modelo de propagación propio que utiliza WIFI es ITU-R 525/526, con sus respectivas diferencias referentes a geografía, clima y zona en la que se encuentra, por eso se realiza una comparación de sus características descritas en el Anexo 7 para escoger la más adecuada, como se observa en la tabla 2.7.(ITU, 2019)

Tabla 2.7 Modelos de propagación del software

MODELOS DE PROPAGACIÓN	TIPO	CALIDAD DE CARTOGRAFÍA	ICS TELECOM	ATOLL	XIRIO
ITU-R P.525 /Bullington	Determinístico	Alta	X		
ITU-R P.525 / 526 Deygout 94	Determinístico	Alta	X	X	
ITU-R P.525	Determinístico	Alta	X		X
ITU-R P.1548	Semi-Empírico	Alta		X	X
ITU-R P.1411	Semi-Empírico	Alta			X
Okumura Hata	Empírico	Media	X	X	X
Hata-Cost 231	Empírico	Media	X	X	X
3GPP LTE Urbano/ Rural	Empírico	Media	X		
Longley-Rice	Empírico	Media		X	

Modelos de propagación estándares de los programas. (Barrera Daniela, 2015)

En el diseño se toma en cuenta los softwares que tienen este modelo de propagación como se observa en la tabla 2.7, los tres tienen uno o los dos modelos principales referidos a WIFI, pero sobre sale ICS TELECOM ya que con su actualización utiliza más modelos de propagación sobre WIFI que los otros programas dando una mejor experiencia en coberturas inalámbricas como tal.

Tabla 2.8 Sistemas de comunicación y compatibilidad entre dispositivos

CONFIGURACIÓN	DESCRIPCIÓN	ICS TELECOM	ATOLL
SISO	No se utiliza técnicas MIMO	X	
SU-MIMO SD	Mejora el desempeño de un único usuario utilizando Diversidad de Transmisión	X	X
SU-MIMO SM	Mejora el desempeño de un único usuario utilizando Multiplexación Espacial.	X	X
MU-MIMO	Mejora el desempeño de múltiples usuarios utilizando Multiplexación Espacial.	X	X
ADAPTIVE	Permite cambiar entre multiplexación espacial a diversidad de transmisión en función de la calidad de la señal	X	X

Configuración de compatibilidad entre usuario-dispositivo. (Barrera Daniela, 2015)

Al tener un área extensa de análisis es necesario complementar el diseño de la red WIFI con sistemas que mejoren la comunicación punto de acceso-dispositivo como se muestra en la tabla 2.8, es por eso que a la simulación se debe agregar sistemas como MIMO (Múltiples entradas, múltiples salidas) que mejoran la velocidad, la capacidad y la fiabilidad del sistema sin un aumento del ancho de banda de la señal o potencia de transmisión, eso da la pauta para conseguir un sistema de múltiples puntos de acceso que compacten la señal dando un mejor servicio inalámbrico al diseño.

Realizado el análisis de cada Software con sus principales características y parámetros de propagación en las tablas anteriores y en el Anexo 7, se escoge a ICS Telecom como el programa para la simulación de la red WIFI en el diseño de cobertura ya que utiliza más complementos en base a la ITU-R mejorando así la simulación de la red WIFI con un valor más cercano a la realidad, además el programa ICS Telecom es facilitado por la Universidad Politécnica Salesiana para el correspondiente uso en este el proyecto técnico mejorado el análisis de la red para una posterior implementación.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL SISTEMA PROPUESTO

3.1. REDES INALÁMBRICAS PARA EL SISTEMA PROPUESTO

Hecho el análisis en el capítulo 2 de las redes inalámbricas, se determina que la tecnología que mejor se adapta a las necesidades y requerimientos del sistema por sus características técnicas generales mostradas en el Anexo 9 es WIFI, cumple con las características del sistema propuesto para un diseño estructurado, con mayor alcance, compatibilidad y con costos menores a otras tecnologías analizadas.

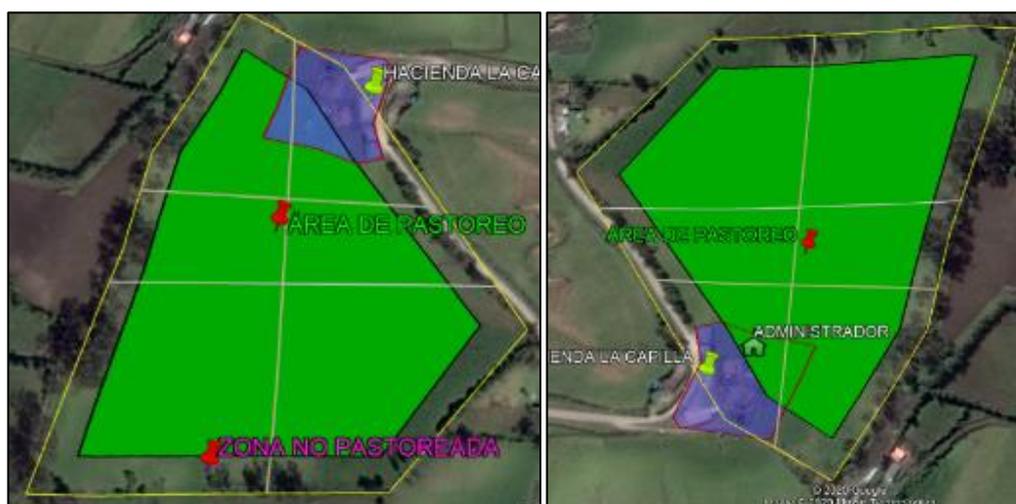
3.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA A DISEÑAR

Se diseña un sistema de seguridad y monitoreo basándose en redes inalámbricas, con una red WIFI para exteriores que garantiza la comunicación en toda el área de crianza, con las características mencionadas anteriormente se realiza por medio de simulaciones y pruebas de campo la cobertura inalámbrica de red WIFI con una potencia adecuada de conexión dadas en la norma IEEE 802.11. Ya con la red WIFI diseñada se monitorea las cabezas de ganado utilizando un dispositivo en cada vaca que tenga comunicación WIFI y pueda enviar su ubicación por medio de la Geolocalización, sabiendo que se encuentran en áreas abiertas (outdoor), el dispositivo debe ser robusto, resistente a los cambios climáticos y con un circuito de baterías de larga duración con recarga solar existente en el mercado, el dispositivo manda los datos necesarios para tener la ubicación en tiempo real utilizando una API Geolocalización de Google donde sí el dispositivo en la vaca se sale del rango límite de cobertura (desconexión del sistema) o excede espacios denegados de pastoreo envía una señal a la aplicación que monitorea al ganado y al sistema WIFI, como también da alerta por medio de una sirena instalada en un lugar estratégico de la administración, además al tener una alta compatibilidad con otros dispositivos que utilizan esta tecnología inalámbrica se puede incluir en el diseño sistemas de seguridad alternativos como CCTV, sensores de movimiento, sensores infrarrojos, monitoreo de cercado eléctrico, alarma, etc.

3.3. DELIMITACIÓN DE ÁREAS DE COBERTURA EN LA ZONA DE CRIANZA DE LA HACIENDA

Al delimitar las áreas de crianza de la hacienda La Capilla se observa que cuenta con tres zonas establecidas que son el área de pastoreo, el área no pastoreada y la hacienda como tal vista en la figura 3.1 El ganado generalmente transita por la zona de color verde, esta es la zona principal que cuenta el diseño para la comunicación con el dispositivo puesto en el animal obteniendo la ubicación con los complementos necesarios para el monitoreo.

Figura 3.1 Zona límite de cobertura de la hacienda.

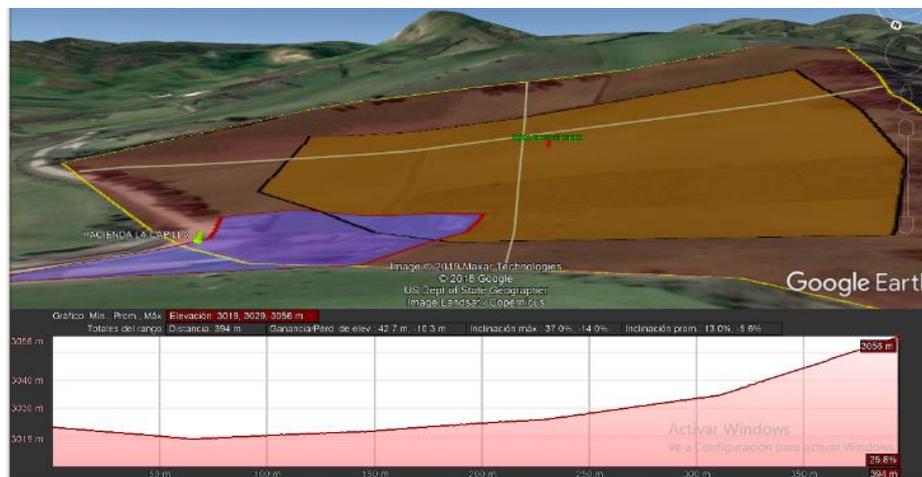


Ubicación de áreas limite no pastoreadas de la Hacienda Fuente: Google Earth.

Se utiliza esta delimitación estableciendo las partes más utilizadas por los hacendados para la crianza de su ganado que periódicamente cambian de lugar de pastoreo hasta que el anterior lugar se regenere y el pasto pueda ser utilizado por las cabezas de ganado nuevamente. Partiendo de los conceptos anteriores se analiza el área de pastoreo, buscando una zona central para que al momento de realizar la cobertura de la red WIFI se tenga una correcta línea de vista de todo el sector pastoreado, ya que al ser un sistema inalámbrico es necesario la comunicación entre nodos (Access Points) en el área, utilizando interconexiones inalámbricas.

Para la propagación de la señal WIFI a lo largo de la zona de estudio (Área de pastoreo) es importante tener una línea de vista adecuada donde se reduzcan las interferencias, pérdidas u obstáculos que impidan que señal inalámbrica se propague, en la figura 3.2 se observa que el área geográfica tiene un perfil de elevación mínimo de 3015 m sobre el nivel del mar hasta un máximo de 3056 m sobre el nivel del mar con una distancia entre ellos de 394 m aproximadamente. También se observa que existen zonas con pequeños levantamientos de terreno que pueden afectar a la interconexión inalámbrica, sin embargo, al ubicar las antenas con una altura adecuada minimiza este problema geográfico, el terreno tiene una inclinación de 37% geográficamente es por eso que los niveles de recepción de la señal en el lugar de estudio (zona de pastoreo) pretenden ser altos.

Figura 3.2 Perfil de elevación del área de estudio a lo largo de su territorio.



Perfil de elevación de crianza de la Hacienda para el diseño de cobertura Fuente: Google Earth

Para encontrar las dimensiones más precisas que tiene la hacienda se registran valores de tres plataformas mostradas en la tabla 3.1 que ayudan a medir el terreno de análisis:

- Google Earth
- OpenstreetMaps
- Satellites.pro

Tabla 3.1 Dimensiones de las zonas de crianza de la Hacienda La Capilla.

ZONAS DE CRIANZA	A1 (m ²)	P1 (m)	A2 (m ²)	P2 (m)	A3 (m ²)	P3 (m)	\bar{A} (m ²)	\bar{P} (m)
HACIENDA (ADMIN)	7 442	353	7 439	354	7 441	351	7 440	352.66
AREA DE PASTOREO	68 785	1064	68 790	1064	68 787	1062	68 787	1063.33
LÍMITES ZONA DE CRIANZA	100 280	1269	100 290	1269	100 272	1268	100 281	1268.67
AREA NO PASTOREADA	24 053	---	24 061	---	24 044	---	24 054	-----

Dimensiones de la zona de pastoreo y no pastoreo. Elaborado por: Cevallos Cristian y Muñoz David

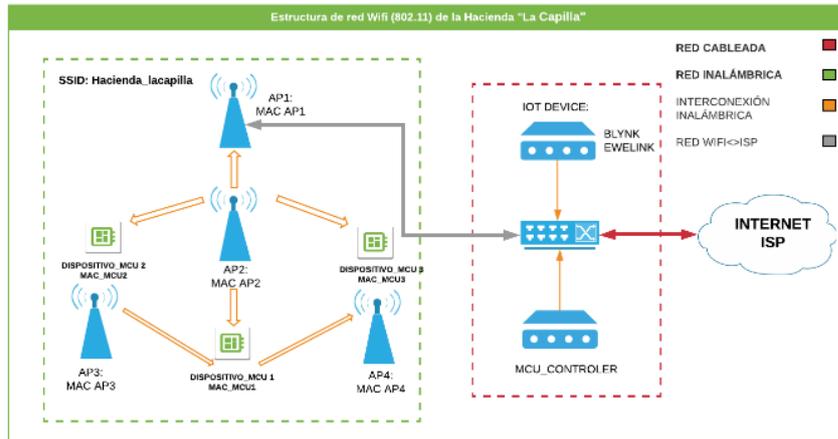
Dadas las dimensiones promedio de las zonas principales que tiene la hacienda expresadas en la tabla 3.1 para la cobertura inalámbrica se tiene la zona de pastoreo con un perímetro de 1063,33 m y un área de 68 787 metros cuadrados aproximadamente, al ser la principal área de trabajo se realizan aquí los estudios de cobertura necesarios para el diseño. La zona no pastoreada que sin duda también es muy importante en el diseño es el área limite que tienen las cabezas de ganado de crianza para su pastoreo, los estudios de cobertura acorde a los requerimientos de diseño tienen restricciones de uso, ya que en este sistema lo principal es que no sobrepasen esta zona en donde pueden ser protegidas y monitoreadas de forma correcta.

3.4. DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA

3.4.1. Arquitectura de red WIFI y elementos para el diseño de la propuesta

La arquitectura del sistema de Puntos de Acceso cuenta una estructura de tres Access Point (AP2-AP4) para que el dispositivo esté conectado a la red enviando datos de geolocalización en tiempo real, los tres Access Points realizan un triángulo que cubre todo el sitio de estudio como se observa en la figura 3.3 haciendo que en la red siempre exista triangulación entre los Access Point y el dispositivo utilizando el método de triangulación APIT descrita en el Anexo 10. Además, un AP1 realiza la comunicación con el ISP y el controlador del sistema. Esto se visualiza en la figura 3.3 con la (ubicación/ monitoreo).

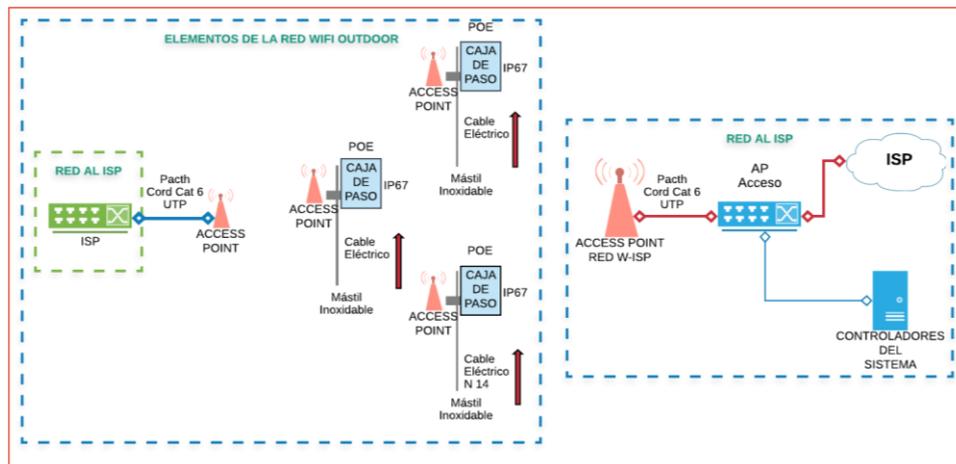
Figura 3.3 Estructura de red WIFI para el diseño del sistema de seguridad.



Estructura WIFI. Elaborado en Visio estudio por: Cevallos Cristian y Muñoz David.

La topología de red se basa en la interconexión de los nodos (Access Points) en diferentes áreas del terreno, ubicados a una altura adecuada por seguridad y comunicación entre ellos, utilizan elementos resistentes a cambios climáticos, vistas en la figura 3.4.

Figura 3.4 Topología de red WIFI para el diseño del sistema de seguridad.



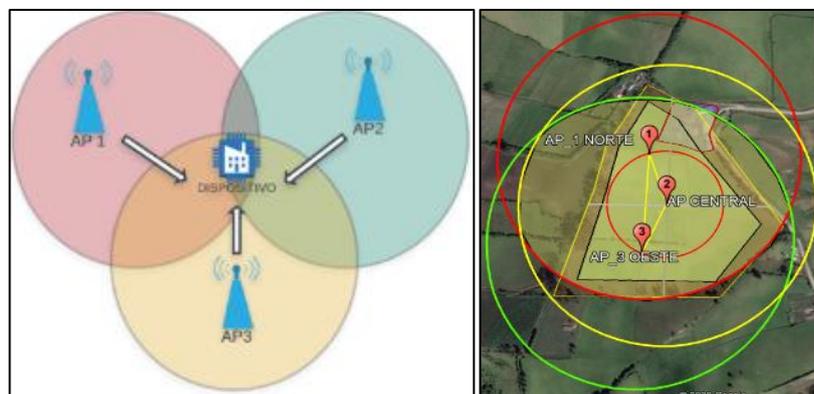
Elaborado en Visio estudio por: Cevallos Cristian y Muñoz David.

3.4.2. Método de propagación de la red WiFi a utilizar

El Método de estimación de la geolocalización para el diseño del sistema WIFI se basa en los estudios del Anexo 9 que utiliza el RSSI (Received Signal Strength Indicator) en entornos de exteriores (outdoor), estableciendo que el número de componentes que

afectan a la señal principal es menor a otros entornos (indoor), por ello se utiliza el método Punto Triangulación Aproximado (APIT) que funciona relacionando la potencia recibida (Nivel de Recepción) con la distancia. La geolocalización del dispositivo se realiza prediciendo que las antenas de cada Access Point generan un patrón de radiación de forma esférica con centro en la propia Antena y ese patrón de radiación al conectarse con otros patrones realiza una estimación del lugar convirtiendo la propagación en un sistema de rejillas. Se localiza al dispositivo en el área por medio de su dirección MAC (física) que es única, todo este proceso se lo hace en base a la potencia (-dbm). Este método es factible con un mínimo de tres de estas Antenas ya que cierran el circuito inalámbrico con un radio establecido por la potencia recibida. Como se ilustra en la figura 3.5.

Figura 3.5 Centralización de puntos de acceso por Triangulación.



Triangulación WIFI con el dispositivo a localizar. Elaborado por: Cevallos Cristian y David Muñoz.

La ventaja de este sistema es que se aplica de forma directa a cualquier escenario siempre y cuando se ajuste a la propagación real. Al ser un método que trata al RSSI como distancia su utilización es adecuada para el diseño de red ya que se encuentra en un área libre y sin muchos obstáculos que alteren su propagación para una geolocalización más precisa.

3.5. SIMULACIÓN DE LA COBERTURA DE RED WIFI PARA EXTERIORES DEL DISEÑO

3.5.1. Parámetros de simulación

Para realizar la simulación de la propagación de la señal inalámbrica es necesario definir los parámetros generales que debe tener la red WIFI en el diseño, vistas en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Parámetros generales que necesita la red 802.11.

Característica	Valor
Alcance	Radio > 190 m
Latencia	Tiempo Real
Compatibilidad	Dispositivos en el mercado
Transporte de datos	Seguridad e Integridad
Redundancia	Soporte a fallos

802.11 para el diseño. Elaborado por: Cevallos Cristian y Muñoz David

Partiendo de las características principales que necesita el sistema, en la tabla 3.3 y 3.4 se muestran los parámetros generales y específicos de IEEE 802.11 para el diseño, dependiendo de la banda de frecuencia de 2.4 GHz o 5GHz analizados en el Anexo 8, se realiza la elección de los parámetros necesarios para una adecuada simulación de la red.

Tabla 3.3 Parámetros generales del estándar 802.11.

PARÁMETRO	2.4GHZ	5GHZ
Canales	14 canales no superpuestos	25 canales no superpuestos
Interferencias	Más interferencias/menos sensible a obstáculos	Menos interferencias/ más sensible a obstáculo
Velocidad Máxima	Mbps	Gbps
Rango de red	Mayor rango de cobertura	Menor rango de cobertura
Estándar	IEEE 802.11b, 802.11g, 802.11n (B, G y N)	IEEE 802.11a, 802.11n, 802.11ac (A, N, AC)

802.11 características. Elaborado por: Cevallos Cristian y Muñoz David

Los parámetros específicos de la tecnología WIFI en la tabla 3.4 que conforman la comunicación 802.11 se enfocan en la velocidad de transmisión, potencia, sensibilidad de recepción, seguridad y características de las antenas Tx/Rx, etc.

Tabla 3.4 Parámetros específicos del estándar 802.11.

Factor	2.4 GHz	5 GHz
Frecuencia de operación	2.4 GHz	5 GHz
Ancho de Banda	(20-40) GHz	(40-80) GHz
Potencia Tx	(0-50) dBm	(0-50) dBm
Umbral de recepción	-36 dBm a -97 dBm	-51 dBm a -97 dBm
Velocidad de Tx	-11n: Hasta 300Mbps (D) -11g: hasta 54Mbps (D) -11b: hasta 11Mbps (D)	-11a: Hasta 54 Mbps (D). -11n: Hasta 150 Mbps (D). -Hasta 300Mbps 40MHz(D) -ac: hasta los 1.300 Mbps
Estándares red inalámbrica	b, g, n, ac, ad	a, n, ac, ad
Modos de Seguridad	WEP (64,128), WPA-PSK (TKIP, AES), WPA 2-PSK (TKIP, AES), WPAWPA2-PSK (TKIP/AES)	WEP (64,128), WPA-PSK (TKIP, AES), WPA 2-PSK (TKIP, AES), WPAWPA2-PSK (TKIP/AES)
Tipo de Antena	<ul style="list-style-type: none"> • Direccionales • Omnidireccionales 	<ul style="list-style-type: none"> • Direccionales • Omnidireccionales
Ganancia de Antena	Depende de la propagación de la antena y Potencia (dBi)	Depende de la propagación de la antena y Potencia (dBi)

802.11 características específicas. Elaborado por: Cevallos Cristian y Muñoz David

La red WIFI requiere una evaluación entorno a las características de cobertura, propagación, alcance y compatibilidad con diferentes dispositivos de estándar 802.11 vistas en la tabla 3.5, para eso se tiene un intervalo de 1 a 5, donde 1 es el valor de calificación más bajo y 5 es más alto, analizadas las características necesarias para la red descritas en la tabla 3.2 y con el promedio de 4.5 a 3.833 de calificación entre las frecuencias 2.4 GHz y 5 GHz respectivamente se elige al estándar IEEE 802.11 “n” como el modelo de propagación utilizado para el desarrollo del proyecto, ya que es el

estándar que más se adapta a las características de diseño en áreas abiertas y de extensa propagación inalámbrica.

Tabla 3.5 Análisis de los parámetros específicos de WIFI en el diseño.

Factor	n, g, b	a, n, ac
Frecuencia de operación	2.4 GHz	5 GHz
Ancho de Banda	5	5
Alcance	5	4
Umbral de recepción	5	3
Modos de Seguridad	4	4
Transmisión de datos	3	4
Sensibilidad	5	3
Promedio Total	4.5	3.833

802.11 características específicas calificación del 1-5. Elaborado por: Cevallos Cristian y Muñoz

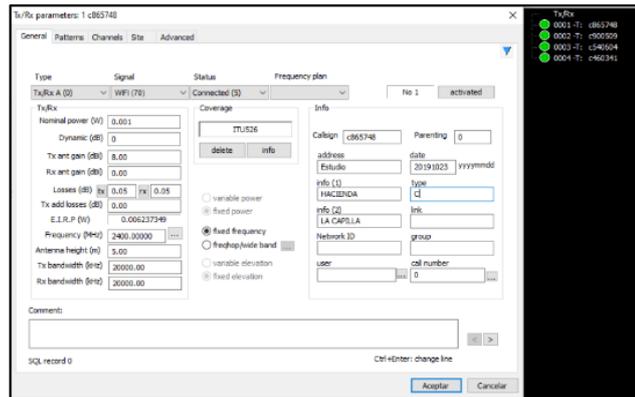
David

3.5.2. Simulación de la red inalámbrica WIFI (802.11)

Se procede a realizar la simulación de la red WIFI con las características del estándar 802.11 n en propagación y transporte de datos más convenientes para el diseño descritas en cada uno de los siguientes procesos que utiliza el software elegido anteriormente.

En la figura 3.6 se observa la configuración inicial del ICS Telecom para insertar un nodo (Access Point) en el simulador, donde se ingresa la potencia nominal, la ganancia de la antena, las pérdidas en la transmisión, la frecuencia de operación, la altura donde se pondrá el punto de acceso y la banda en la que trabaja que para este diseño es de 20 MHz, este proceso es similar para todos los nodos necesario en la cobertura.

Figura 3.6 Configuración inicial de un nodo en ICS Telecom.



Configuración inicial del sistema. Elaborado en ICS Telecom por: Cevallos Cristian y Muñoz David.

Los valores ingresados en la configuración inicial del simulador se detallan en la tabla 3.6, que contiene los parámetros adecuados al propósito del diseño, así como también la interconexión entre Puntos de Acceso con el Sistema de Distribución Inalámbrica WDS (Wireless Distribution System) descrito en el Anexo 8, estos valores de configuración representan a la tecnología WIFI 802.11 n que varían dependiendo los resultados que se obtienen. (Suárez, 2005)

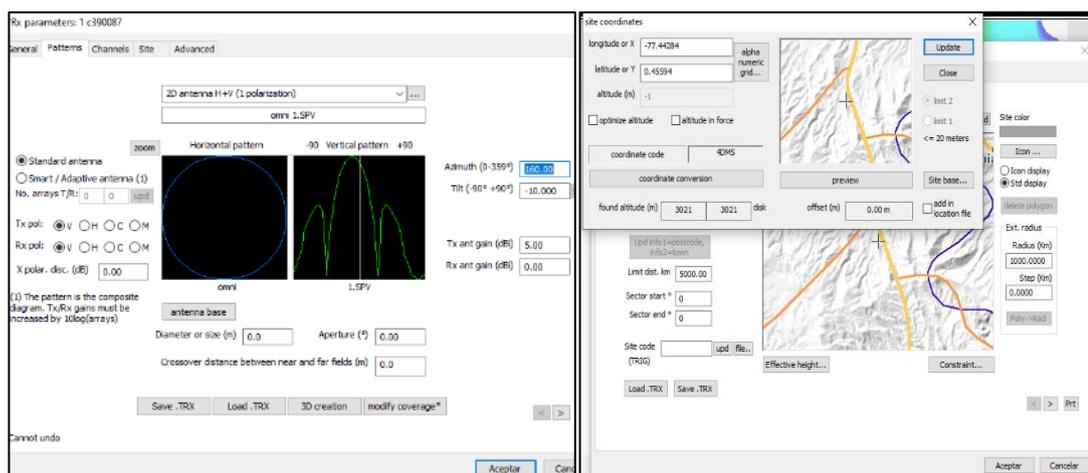
Tabla 3.6 Valores generales para la simulación de sistema.

Nominal Power	Tx ant gain	Frequency	Antenna Height	Tx Bandwidth	Tecnología	Interconexión
0-20(dBm)	0-10(dBi)	2400 Mhz	4-5 (m)	20-40 Mhz	WIFI	WDS

Valores generales para la simulación. Elaborado por: Cevallos Cristian y Muñoz David

Después, se configura los parámetros de la antena que realiza la propagación del nodo, así como su polaridad, azimut, ganancia, el tipo de irradiación y también la ubicación geográfica que tendrá cada uno como se observa en la figura 3.7.

Figura 3.7 Configuración de la antena del nodo en ICS Telecom.



Configuración de la antena. Elaborado en ICS Telecom por: Cevallos Cristian y Muñoz David.

En la tabla 3.7 se describe los valores ingresados que utiliza 802.11 n aplicado al diseño de esta red para exteriores en términos generales, así como el Azimut y Tilt apuntando cada una a la interconexión entre nodos.

Tabla 3.7 Parámetros principales de simulación para la antena.

Variable	Valor AP2	Valor AP3	Valor AP4
Azimut	160°	250°	30°
Tilt M	-10°	-5°	10°
Ganancia	5 dBi	5 dBi	5 dBi
Polaridad	Tx:v /Rx:v	Tx:v /Rx:v	Tx:v /Rx:v
Tipo de antena	Omnidireccional	Omnidireccional	Omnidireccional
Patrón de radiación	V,H	V,H	V,H

Parámetros principales de simulación. Elaborado por: Cevallos Cristian y Muñoz David

Se ingresan las ubicaciones geográficas (latitud y longitud) de cada nodo (Access Point), estos parámetros se podrán modificar dependiendo de cómo se obtiene la cobertura del área de análisis, vistas en la tabla 3.8.

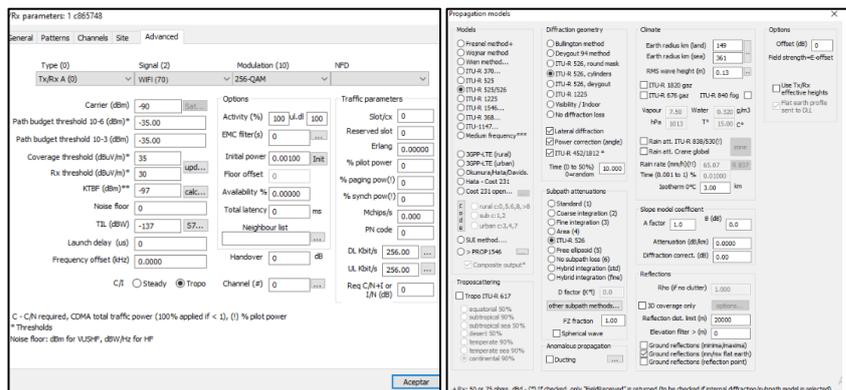
Tabla 3.8 Ubicación nodos en diseño de la cobertura en la Hacienda.

NODOS	LONGITUD	LATIITUD
NODO A	-77.44284	0.45594
NODO B	-77.44263	0.45567
NODO C	-77.44273	0.45538

Ubicación nodos en la hacienda. Elaborado por: Cevallos Cristian y Muñoz David.

Luego, se configura el nivel de recepción para la señal que el nodo irradia cuando se realiza la simulación de la cobertura, esta configuración es importante ya que es aquí en donde se ingresa la sensibilidad de recepción que define a una red WIFI (802.11) cercano a lo real, estos valores analizados en el Anexo 8 se fundamentan en las especificaciones generales que tiene un receptor WIFI y que en base los resultados de la simulación se busca la mejor opción para la elección del Dispositivo WIFI, como se observa en la figura 3.8. Además, se configura el modelo de propagación partiendo de las recomendaciones ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) sobre redes WLAN con la ITU-R 525/526 como base. (ITU, 2019)

Figura 3.8 Configuración del nivel de recepción del nodo en ICS Telecom.



Configuración de recepción de señal. Elaborado en ICS Telecom por: Cevallos Cristian y Muñoz David.

En la tabla 3.9 se muestran los valores ingresados en el simulador para la recepción de la señal WIFI, cabe recalcar que estos valores ingresados son los que utiliza el NodeMCU 802.11n de forma general vistas en el Anexo 20, teniendo el nivel de

cobertura de 802.11n entre un rango de (25-35) dBuV/m y el umbral de recepción del dispositivo entre y un rango de -36dbm a -80dbm.

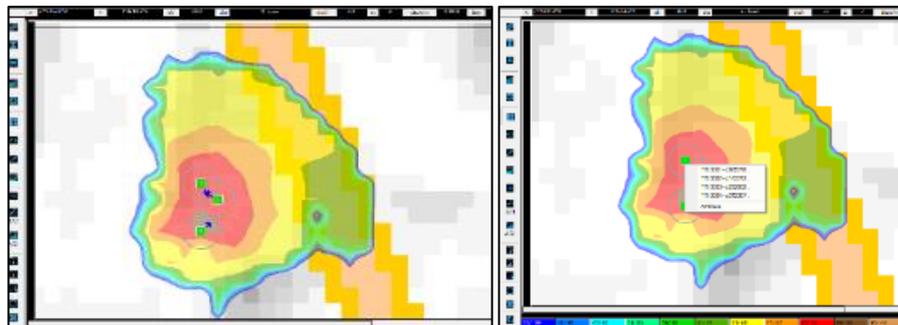
Tabla 3.9 Umbral de recepción para la simulación del sistema.

Coverage Threshold	Modulación	Nivel de recepción	Tecnología
(25-35) dBuV/m	(64-256) QAM	(-36 a -80) dbm	WIFI

Valores avanzados. Elaborado por: Cevallos Cristian y Muñoz David.

Ya con las configuraciones realizadas en el simulador, especificando la ubicación, modelo de propagación, geografía del terreno y niveles de recepción, se procede a realizar la cobertura con los niveles de potencia acorde al área de análisis.

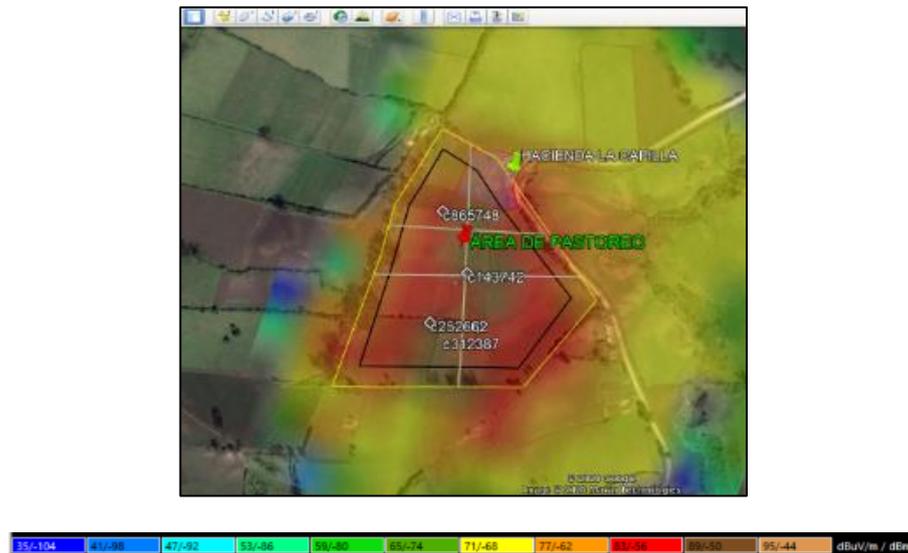
Figura 3.9 Simulación de la cobertura del sistema en el ICS Telecom para el diseño.



Simulación de la red WIFI. Elaborado en ICS Telecom por: Cevallos Cristian y Muñoz David.

En la figura 3.9 se obtiene ya la simulación del sistema. Una vez obtenida la simulación se lo exporta a la aplicación Google Earth para tener una visualización más detallada del terreno analizado, así como los niveles de propagación de la señal, este proceso indica cuanto de señal WIFI abarca el diseño y si se necesita más o menos nodos en el área para el correcto funcionamiento del sistema vista en la figura 3.10.

Figura 3.10 Cobertura del sistema exportada en Google Earth para el área de diseño.



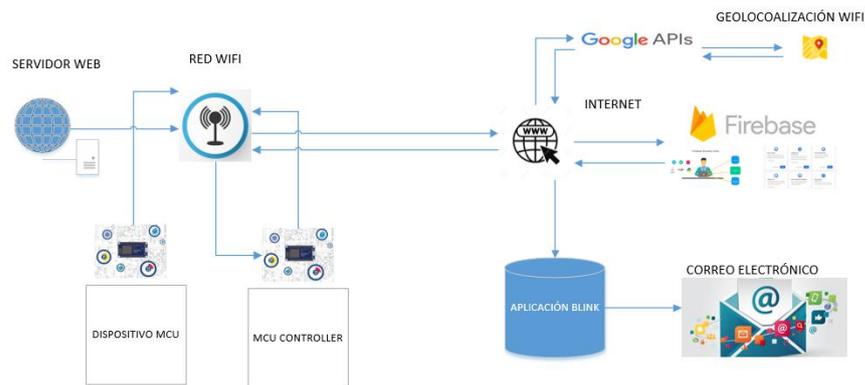
Simulación de la red WIFI. Elaborado en Google Earth por: Cevallos Cristian y Muñoz David.

Como se observa en la figura 3.10 la mayor concentración de señal en el área de pastoreo de crianza es el color rojo con un valor de -56 dBm hasta el color verde que es -80 dBm aproximadamente, estos valores entran en un nivel de recepción estable (Bueno) dadas las pautas de simulación WIFI en este capítulo y en el Anexo 8, esta simulación cuenta con tres nodos (Access Points) predeterminados e interconectados entre sí. Todas estas configuraciones son muy importantes para la elección de los equipos más apropiados y para una futura implementación del sistema diseñado.

3.6. ARQUITECTURA DEL DISPOSITIVO PARA EL MONITOREO DEL GANADO EN LA HACIENDA

En la localización del ganado se utilizar la placa NodeMCU detallada en el Anexo 20, que cuenta incorporado el SoC Wi-Fi ESP8266 para la conexión 802.11, mediante la API de Google WIFI Location y el NodeMCU se obtiene las coordenadas del nodo localizador (dispositivo), en este proceso se utiliza la dirección MAC que es única tanto para cada NodeMCU como para el sistema de puntos de acceso, luego de tener esta información se sube a la Firebase de Google en tiempo real para utilizar las coordenadas y colocarlo en la interfaz de Google Maps, este proceso se observa en la figura 3.11.

Figura 3.11 Diagrama de bloques del sistema para la ubicación de Dispositivo-MCU.



Arquitectura del sistema localizador. Elaborado por: Cevallos Cristian y Muñoz David.

Se describe los elementos que conforman el diseño a continuación:

- Dispositivo MCU y MCU COTROLLER
- Sistema de cobertura WIFI y Acceso a la red de la Hacienda (SSID)
- Internet
- Geolocalizador (Google API)
- FireBase (Google)
- Google Maps
- Blynk
- Servidor Web local

3.7. CONFIGURACIÓN DEL DISPOSITIVO PARA EL MONITOREO DEL GANADO EN LA HACIENDA

3.7.1. Conexión del dispositivo MCU a la red WIFI diseñada

Los dispositivos MCU necesitan conectarse a la red WIFI para enviar y recibir la información, se ingresa la SSID y la contraseña del Access Point para conectarse a la red. La primera seguridad del sistema es la contraseña WIFI que contiene mayúsculas, minúsculas, símbolos, números y debe ser mayor a 8 caracteres vista en el Anexo 10. Además, Se utiliza WPA2 como método de encriptación que en el Anexo 8 se detalla.

3.7.2. Envío de datos a la API de WiFiLocation para la Geolocalización

En la Figura 3.12, se observa el esquema como el dispositivo MCU envía los datos de la MAC, potencia y canal de los Access Point detectados a la API de WiFiLocation de Google.

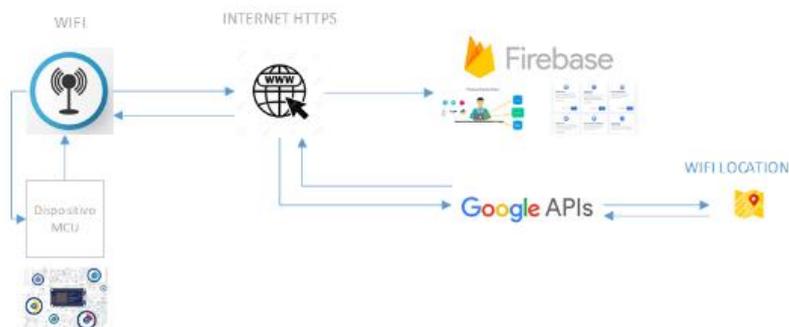
Figura 3.12 Datos de conexión de la API de WiFiLocation de Google.

```
[{"macAddress": "60:F1:8A:9E:A6:90", "signalStrength": -67, "channel": 1}, {"macAddress": "AC:CF:85:8F:38:98", "signalStrength": -88, "channel": 1}, {"macAddress": "C8:1F:BE:F5:15:68", "signalStrength": -71, "channel": 10}, {"macAddress": "FC:BC:D1:E5:45:C0", "signalStrength": -76, "channel": 5}]
```

MacAddress, nivel de potencia y canal de conexión. Extraídos de Monitor Serial Arduino.

A continuación, la API aplica algoritmos en base a la triangulación WIFI con los datos recibidos y envía como respuesta la latitud, longitud y precisión al dispositivo MCU, este proceso se realiza con SSL (Security Socket Layer) que proporciona una conexión segura entre el cliente y el servidor usando el puerto 443. En la figura 3.13 se indica el esquema de comunicación a la geolocalización y a la Firebase descrita posteriormente.

Figura 3.13 Diagrama de bloques del sistema para la ubicación de Dispositivo-MCU.



Ubicación del dispositivo y envió la Firebase. Elaborado por: Cevallos Cristian y Muñoz David.

3.8. DISEÑO DE LA INTERFAZ WEB Y COMPLEMENTOS EN EL DISPOSITIVO MCU

Se diseña una interfaz web que permite administrar el nodo localizador (dispositivo-MCU) utilizando un servidor web donde se adiciona el uso de un botón de pánico y la

desconexión del collar puesta en el ganado. El botón de pánico es accionado desde cada interfaz del dispositivo-MCU. En la figura 3.14 se observa el sitio web creado desde los dispositivos MCU para ver el estado de cada ganado utilizando código HTML visto en el Anexo 11, que muestra la página web con la ubicación de cada vaca en tiempo real.

Figura 3.14 Sitio web para el monitoreo del ganado en la zona de crianza



Ubicación de cada dispositivo en la vaca. Elaborado por Cristian Cevallos y David Muñoz

Para el monitoreo del collar puesto en el ganado se utiliza un conductor conectado a un puerto digital del dispositivo MCU enviando pequeños voltajes de entrada, en caso de corte o desconexión del collar se envía una alerta al o los administradores de la Hacienda activando una alarma en el dispositivo-MCU.

3.8.1. Direccionamiento IPV4 para el acceso a la red diseñada

Cada dispositivo-MCU(ganado) cuenta con una dirección estática IPV4 privada/24, la cual es única y registrada en la información general de cada animal. Con esta dirección IP se puede ingresar al sitio web que tiene cada dispositivo MCU para observa su ubicación y también controlar la función del botón de pánico. De esta manera se puede manipular al dispositivo de una forma más autónoma, en la tabla 3.10 se observa el direccionamiento Ipv4 asignado a cada vaca y su Mac Address.

Tabla 3.10 Direccionamiento IPV4 del ganado en la red y complementos.

Nombre Dispositivo	IP	Gateway	Mac Address
MCU CONTROLLER	192.168.0.50	192.168.0.1	84:F3:EB:4F:57:72
MWH_SIRENA	192.168.0.51	192.168.0.1	84:F3:FB:EF:75:31
Vaca_1	192.168.0.70	192.168.0.1	84:F3:EB:ED:59:42
Vaca_2	192.168.0.71	192.168.0.1	84:F3:EB:0F:4A:13
Vaca_3	192.168.0.72	192.168.0.1	84:F3:EB:.....
...	..	192.168.0.1	84:F3:EB:.....
Vaca_50	192.168.0.120	192.168.0.1	84:F3:EB:.....

Elaborado por: Cevallos Cristian y Muñoz David.

3.9. DISEÑO DEL NODO CENTRAL (MCU-CONTROLLER)

Con los dispositivos-MCU conectados al sistema WIFI es necesario identificar su estado en la red, para ello que se utiliza un nodo central (MCU-CONTROLLER) programado para que permita verificar la permanencia de los dispositivos en la red. Si el nodo central (Controlador de dispositivos) no encuentra alguno de los dispositivos-MCU conectados en el sistema se envía una alerta al o los administradores de la Hacienda indicando a que dirección IP y número de vaca pertenecen los datos, así como su última ubicación en tiempo real, este proceso se lo realiza usando la plataforma Blynk (IOT Software) que transporta los datos hacia el correo electrónico visto en la figura 3.15.

Figura 3.15 Diagrama de bloques del Nodo central en el diseño.

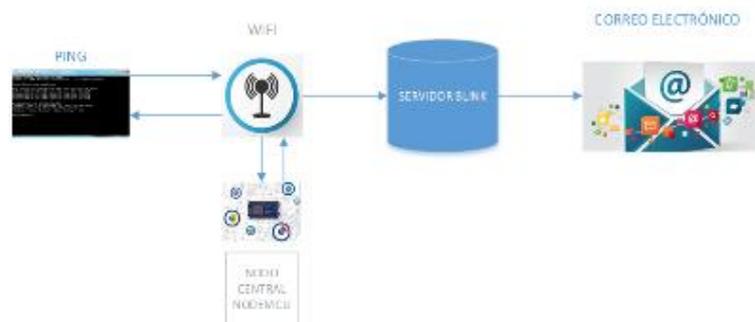


Diagrama de bloques del MCU CONTROLLER. Elaborado por: Cevallos Cristian y Muñoz David.

En la figura 3.16, se indica todos los procesos que realiza el nodo central para escanear los dispositivos MCU conectados al sistema utilizando el protocolo ICMP. Adicional a esto el dispositivo MCU envía la potencia (Nivel de recepción) con la que se encuentra conectado a la red WIFI y el MCU-CONTROLLER monitorea este proceso.

Figura 3.16 Diagrama de Flujo del Nodo Central

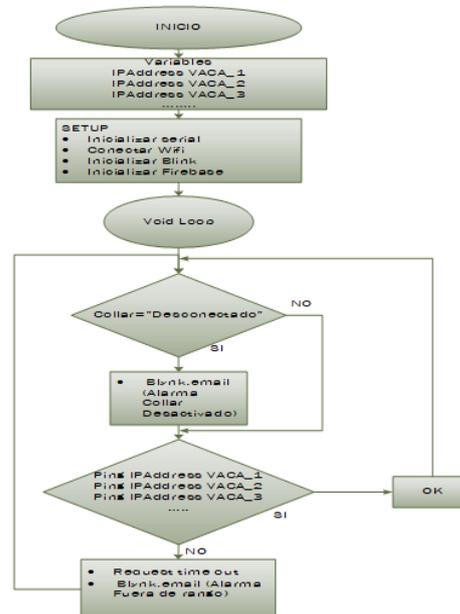


Diagrama de flujo con la estructura del IDE de Arduino. Elaborado por: Cevallos Cristian y Muñoz David.

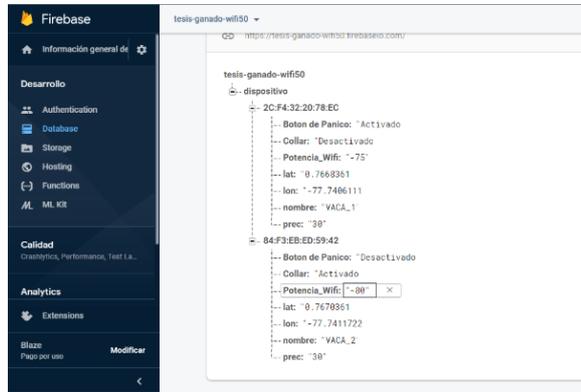
Con la potencia y la ubicación de cada dispositivo el MCU-CONTROLLER delimita las zonas en las que puede o no transitar la vaca, esto ayuda a tener un mejor control del ganado de crianza que necesita un cuidado especial para su crecimiento. El control de potencia depende del área de movilidad y de la sensibilidad del dispositivo. Además, se envía una alerta al o los administradores en caso de que el dispositivo MCU salga de este rango de potencia.

3.10. COMUNICACIÓN DE DATOS POR LA FIREBASE

La comunicación entre los dispositivos MCU y el MCU Controller se realiza mediante la Firebase, donde los dispositivos MCU están todo el tiempo actualizando su ubicación y enviando la MAC, el estado del collar, la alarma de pánico y la potencia

del Access Point, mientras el MCU CONTROLLER a la vez descarga esa información de Firebase y compara sus datos como se observa en la figura 3.17.

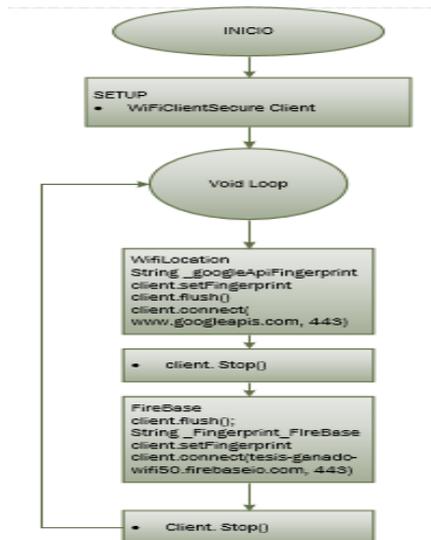
Figura 3.17 Base de datos de Firebase con los datos necesarios del sistema



Datos enviados a la Firebase. Fuente: Firebase de Google

Para conexiones seguras se utiliza WiFiClientSecure y Fingerprint en cada API que permite a los usuarios utilizar el mismo puerto 443 como se indica en la figura 3.18.

Figura 3.18 Diagrama de Flujo que permite la comunicación segura HTTPS



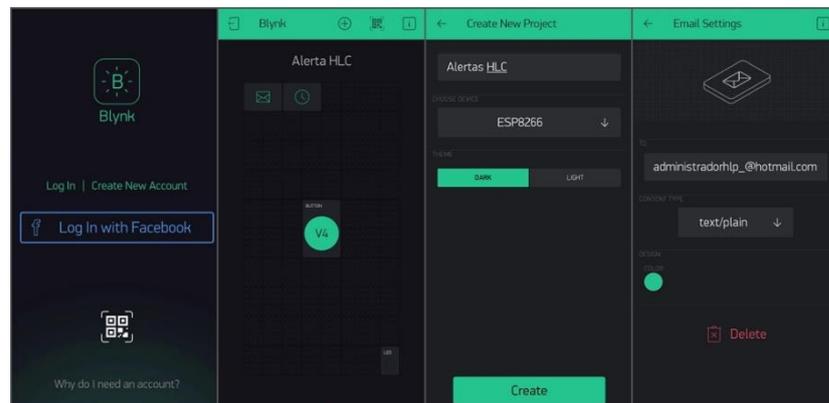
Conexión segura y correcta utilizando el puerto 443. Elaborado por: Cevallos Cristian y Muñoz David.

3.11. CONFIGURACIÓN DE ALERTAS DEL SISTEMA

Con el monitoreo del ganado establecido es necesario configurar un medio que permita alertar a los administradores de la Hacienda de cómo se encuentra el estado de seguridad de su ganado, para ello se implementa un sistema de alertas. Para el sistema de alertas se utiliza la plataforma Blynk (IOT Software) adjuntado en el Anexo 12, la cual cuenta con muchos procesos y funcionalidades para controlar a un dispositivo-MCU, pero para el diseño principal se utiliza las funcionalidades de envío de correo, notificaciones Push y vía Twitter como se observa en las figuras 3.19 y 3.20.

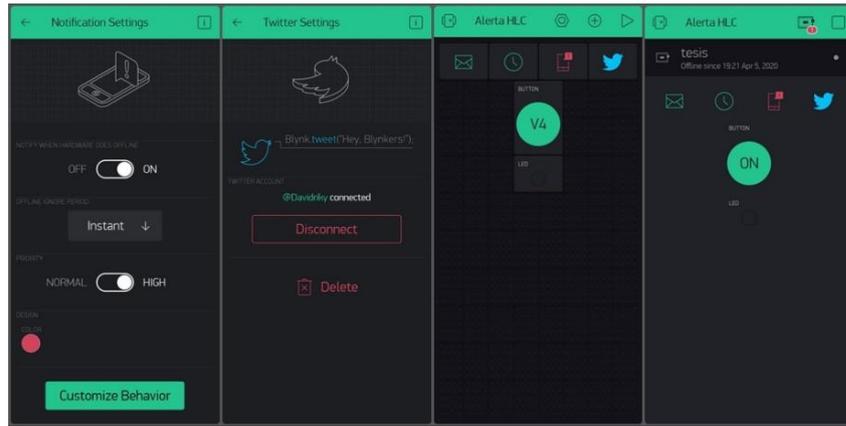
- Se registra un usuario (Administrador Principal)
- Se agrega el proceso de envío de correo
- Se selecciona el dispositivo (MCU-Controller)
- Se configura el correo a donde se envía las alertas que generan el sistema
- Se configura la alerta vía Twitter
- Se activa las notificaciones Push
- Se activa la sesión Blynk por del administrador

Figura 3.19 Configuración inicial del sistema de alertas con Blynk (IOT Software)



Proceso para el envío de alertas. Elaborado en Blynk por Cristian Cevallos y David Muñoz.

Figura 3.20 Configuración de alertas y notificaciones con Blynk (IOT Software)

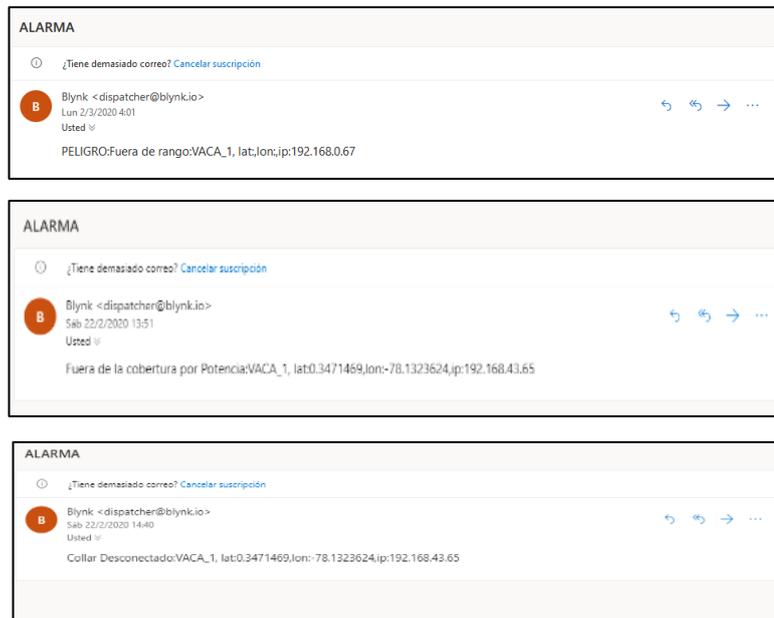


Proceso para el envío de alertas. Elaborado en Blynk por Cristian Cevallos y David Muñoz.

3.11.1. Alertas por correo electrónico

En la figura 3.21 se describe las alertas por desconexión del dispositivo-MCU, dispositivo (vaca) fuera de Rango de Potencia (nivel de recepción) y por desconexión del collar.

Figura 3.21 Alertas por correo electrónico del dispositivo-MCU

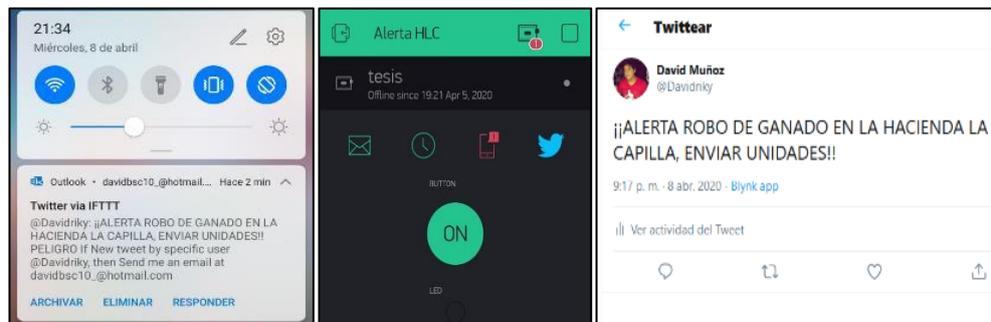


Elaborado en Blynk por Cristian Cevallos y David Muñoz.

3.11.2. Alertas por Notificación Push y Alertas vía Twitter

En la figura 3.22 se describe las alertas por desconexión del MCU CONTROLLER, alertas vía twitter que se realizan pulsando el botón de seguridad en Blynk para alertar a la policía comunitaria de turno del sector “Los Cuases” Tulcán y a los administradores cuando se encuentran fuera de la Hacienda.

Figura 3.22 Alerta por Notificación Push y Alertas vía Twitter



Elaborado en Blynk por Cristian Cevallos y David Muñoz.

Para su funcionamiento basta que se encuentre inicializado y conectado a la red WIFI diseñada y al MCU CONTROLLER.

3.12. INTERFAZ DEL USUARIO PARA MONITOREAR EL GANADO

Con los datos de la ubicación del ganado se utiliza la aplicación de Google Maps para mostrar el sitio en el mapa de cada dispositivo MCU (ganado), los datos de la ubicación son enviados por cada dispositivo que utiliza la API de geolocalización de Google. Para la visualización en el mapa se generan dos archivos, un archivo en Java Script y HTML vistos en el Anexo 11, los dos archivos deben encontrarse en la misma carpeta donde se ejecuta el archivo HTML que genera el mapa con la ubicación del ganado como se muestra en la figura 3.23.

Figura 3.23 Ubicación del ganado en el mapa de Google Maps.

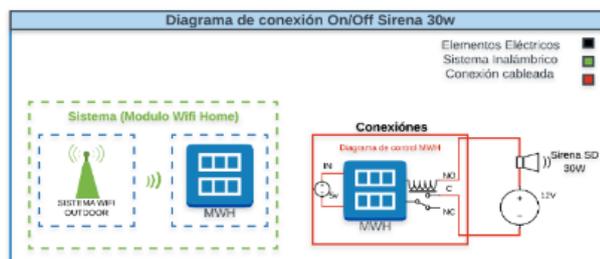


Ubicación geografía de la vaca 1 y vaca 2. Exportado de Google Maps.

3.13. SEGURIDAD ADICIONAL

Al tener una red inalámbrica compatible con diversas tecnologías se procede a complementar el sistema de seguridad utilizando el Módulo Smart Home WIFI Relé detallado en el Anexo 13. El Módulo Smart Home WIFI Relé se conecta a la red WIFI diseñada configurando una Dirección IP fija del direccionamiento establecido, para ello se ingresan a la aplicación del dispositivo Ewelink descargada de App Store o Play Store gratuitamente. Como se observa en la figura 3.24 se utiliza el Módulo Smart Home WIFI Relé para agregar una alerta efusiva con el encendido y apagado de una Sirena para exteriores alertando a los administradores y trabajadores que se encuentran en la Hacienda. El dispositivo MWH se lo controla inalámbricamente desde cualquier parte del mundo que tenga salida al internet o de forma física por un operador en la Hacienda.

Figura 3.24 Esquema de conexión encendido y apagado de una sirena en la Hacienda.



Conexiones del MWH en la red WIFI diseñada. Elaborado por Cristian Cevallos y David Muñoz.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE SEGURIDAD DISEÑADO

4.1. PRUEBAS DE SIMULACIÓN DE LE RED WIFI OUTDOOR

Para el correcto funcionamiento de la red de puntos de acceso se analizan los datos obtenidos en las simulaciones partiendo de la potencia de transmisión, nivel de recepción (RSSI) y el alcance de propagación vistas en el Anexo 14.

4.1.1. Análisis del sistema utilizando tres Access Points

Como se observa en la tabla 4.1, se tiene los valores de cuatro simulaciones de la red utilizando un sistema de tres puntos de acceso, con lo cual se tiene un nivel de recepción a la mínima potencia de -65.8 dbm a -88.8 dbm alrededor del área de estudio y un nivel de recepción máximo de la señal de -44.8 dbm a -58.8 dbm, si se consideran los parámetros establecidos de propagación WIFI desde -36 dbm a -75 dbm que garantizan la estabilidad de la red, se debe encontrar un valor que afirme lo dicho, para ello se toman los valores en las simulaciones que se encuentren en el rango de funcionamiento que son desde -44.8 dbm a -74.8 dbm en S2,S3,S4.

Tabla 4.1 Datos de la simulación de la red utilizando un sistema de tres Aps.

N: Simulación	P Tx. (W)/dbm	G. Antena (dbi)	RSSI E(- dbm)	RSSI Max (-dbm)	Alcance (-80 dbm) (Km)	V (0-300 Mbps)
S 1	0.001/0	3-5	-65.8/-88.8	-139.8	0.493	256 QAM
S 2	0.01/10	3-5	-56.8/-74.8	-139.8	0.736	256 QAM
S 3	0.05/16.99	3-5	-48.8/68.8	-139.8	0.900	256 QAM
S 4	0.1/20	3-5	-44.8/-58.8	-139.8	1.206	256 QAM

Valores que arroja la simulación de la red WIFI Outdoor. Elaborado por Cristian Cevallos y David Muñoz

Con un sistema de tres puntos de acceso se garantiza la cobertura de red en el sitio de estudio (Zona de Crianza) utilizando los valores de las simulaciones S2, S3, S4, que tienen niveles en propagación y alcance acorde a los requerimientos establecidos

procurando dar un correcto funcionamiento al sistema, para la utilización en el diseño se analiza también la optimización de recursos en propagación e infraestructura.

4.2. PRUEBAS DE COBERTURA EN LA HACIENDA LA CAPILLA

Una vez obtenida la simulación del sistema de Access Points se realizan pruebas de cobertura en el sitio de estudio para obtener un valor real de la red WIFI diseñada, visto en la figura 4.1, con este análisis de cobertura se evidencia la propagación de la red WIFI Outdoor, así como el traspaso de datos y disponibilidad de conexión.

Figura 4.1 Ubicación del sistema de Puntos de Acceso en la zona de crianza



Sistema de tres Access Points en la Hacienda. Elaborado por: Cristian Cevallos y David Muñoz.

Para las mediciones en el sitio de estudio se utiliza el Access Point Tp-Link EAP110 Outdoor configurado con las características de diseño escogido en el Anexo 15, obteniendo así el nivel de recepción, velocidad de enlace, frecuencia de trabajo y el porcentaje de conexión entre un medidor WIFI y el AP Outdoor vistas en el Anexo 16, que muestra las mediciones que se realizan en la zona de crianza de la Hacienda.

4.2.1. Medición de señal WIFI en la zona de crianza de la Hacienda y sus límites

En la tabla 4.2, se describe las mediciones de la señal WIFI que tiene el Ap2 Central tanto en el primer medidor de señal como en el segundo medidor que son de -36 dbm

y -25 dbm respectivamente, cabe recalcar que las mediciones estan tomadas desde el Ap2 Central hasta sus limites en la zona de crianza (N,S,E,O), los valores que se obtienen en los limites superior e inferior se encuentran en un rango minimo (Malo) de señal WIFI con un promedio de -79 dbm de intensidad y los limites Oriental y Occidental se encuentran en un rango estable mas no deseable de señal WIFI con un promedio de -72 dbm de intensidad y si a esto se le suma el valor promedio en toda el área de 52,86 % de conexión inalámbrica se comprueba que el nivel de señal alrededor del sitio de estudio necesita de un sistema de Puntos de Acceso para la propagación adecuada de la señal como se lo realiza en el diseño garantizando la transmisión de datos con los parámetros establecidos.

Tabla 4.2 Mediciones de la red WIFI Outdoor diseñada en el Ap Central.

N: Medición	RSSI (-dbm)	V (Mbps)	Fr (Mhz)	Canal	N Señal	RSSI Pr (-dbm)
M 1 (Ap2 Central)	-36	72	2462	11	99%	-30,2
M 2 (Ap2 Central)	-25	72	2462	11	99%	
M 1 (Ap2 - N)	-81	50	2462	11	49%	-79,5
M 2 (Ap2 - N)	-78	52	2462	11	50%	
M 1 (Ap2 - S)	-79	50	2462	11	49%	-78,5
M 2 (Ap2 - S)	-78	52	2462	11	51%	
M 1 (Ap2 - E)	-73	61	2462	11	54%	-72,5
M 2 (Ap2 - E)	-72	59	2462	11	56%	
M 1 (Ap2 - O)	-72	61	2462	11	56%	-71,5
M 2 (Ap2 - O)	-71	59	2462	11	58%	

Mediciones de la red WIFI en el sitio de estudio. Elaborada por Cristian Cevallos y David Muñoz.

4.2.2. Mediciones del Sistema de puntos de acceso para la inserción WDS

En la tabla 4.3, respecto a las mediciones entre el Ap2 Central y el Ap1 Norte se evidencia que existe un nivel de recepción acorde a los parámetros establecidos con un valor de -67 dbm del primer medidor de señal y -63 dbm del segundo medidor de señal, ademas al tener un porcentaje medio de 80,2 % referente al nivel de conexión en la red y velocidad de enlace promedio de 40 Mbps se puede realizar la comunicación WDS entre los Access Points 1 y 2 sin problemas por características de propagación y conexión del sistema.

Tabla 4.3 Mediciones de la red WIFI Outdoor diseñada entre el Ap2 y Ap1.

N: Medición	RSSI (-dbm)	V (Mbps)	Fr (Mhz)	Canal	Nivel Señal
M 1 (Ap2-Ap1)	-67	26	2412	1	79 %
M 2 (Ap2-Ap3)	-63	52	2412	1	82 %
Valor Promedio	---	40	---	---	80,2%

Mediciones de la red WIFI en el sitio de estudio. Elaboradas por Cristian Cevallos y David Muñoz

En la tabla 4.4, respecto a las mediciones entre el Ap2 Central y el Ap3 Sur se evidencia que existe un nivel de recepción acorde a los parametros establecidos con un valor de -67 dbm del primer medidor de señal y -64 dbm del segundo medidor de señal, ademas al tener un porcentaje medio de 79,5 % referente al nivel de conexión en la red y con velocidad de enlace promedio de 45,5 Mbps se puede realizar la comunicación WDS entre los Access Points 2 y 3 sin problemas por características de propagación y conexión del sistema.

Tabla 4.4 Mediciones de la red WIFI Outdoor diseñada entre el Ap2 y Ap3.

N: Medición	RSSI (-dbm)	V (Mbps)	Fr (Mhz)	Canal	Nivel Señal
M 1 (Ap2-Ap3)	-67	39	2412	1	78 %
M 2 (Ap2-Ap3)	-64	52	2412	1	81 %
Valor Promedio	---	45,5	---	---	79,5%

Mediciones de la red WIFI en el sitio de estudio. Elaboradas por Cristian Cevallos y David Muñoz

En la tabla 4.5, respecto a las mediciones entre el Ap1 Norte y el Ap3 Sur se evidencia que existe un nivel de recepción acorde a los parametros establecidos con un valor de -60 dbm del primer medidor de señal, -66 dbm del segundo medidor de señal, con el porcentaje promedio de 76,5 % referente al nivel de conexión en la red y con velocidad de enlace promedio de 48,5 Mbps se puede realizar la comunicación WDS entre los Access Points 2 y 3 sin problema por características de propagación y conexión del sistema analizado.

Tabla 4.5 Mediciones de la red WIFI Outdoor diseñada entre el Ap1 y Ap3.

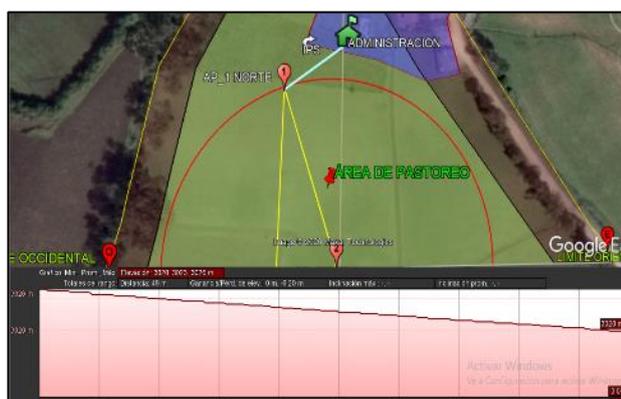
N: Medición	RSSI (-dbm)	V (Mbps)	Fr (Mhz)	Canal	Nivel Señal
M 1 (Ap1-Ap3)	-60	58	2462	1	77 %
M 2 (Ap1-Ap3)	-66	39	2462	1	76 %
Valor Promedio	---	48,5	---	---	76,5%

Mediciones de la red WIFI en el sitio de estudio. Elaboradas por Cristian Cevallos y David Muñoz.

4.2.3. Salida de la red diseñada hacia el Internet

La salida hacia el internet se lo realiza mediante un proveedor (ISP), al ser un sistema inalámbrico WIFI se utiliza una conexión en modo Brigde(Puente)/Mesh(Malla) entre la red diseñada y la red del proveedor, para ello se utiliza un punto de acceso adicional a una distancia entre el transmisor y receptor de 49 m como se observa en la figura 4.2.

Figura 4.2 Enlace WIFI entre el ISP y el sistema de Puntos de Acceso diseñado

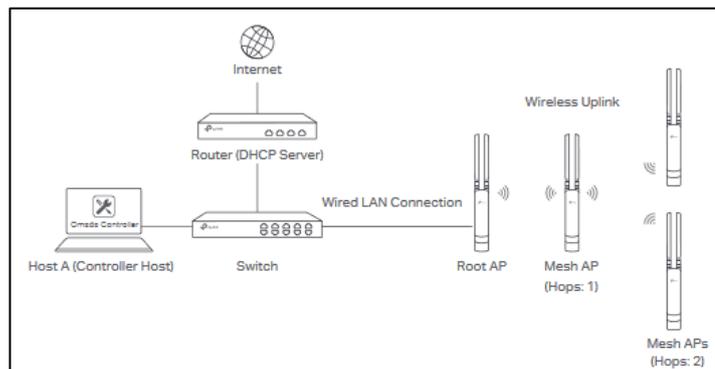


Distancia entre la red WIFI y la red ISP. Elaborado por Cristian Cevallos y David Muñoz.

La implementación de un modo WIFI es factible ya que la distancia es corta entre los dos puntos, tienen una línea de vista apropiada y la mayoría de dispositivos (AP Outdoor) en el mercado utilizan estos protocolos a distancias mayores obteniendo resultados de propagación y comunicación adecuados para el funcionamiento visto en el Anexo 15. La conexión WDS entre los Puntos de Acceso se lo realiza utilizando el modo Mesh que proporciona el dispositivo elegido en el Anexo 15, con el cual se realizaron las pruebas de cobertura, la topología que sigue el ISP y la red WIFI diseñada se detalla el Anexo 21, En la figura 4.3 se observa la red Mesh recomendada por el proveedor Tp-Link, esta topología se adapta a los requerimientos del diseño

propuesto vistos anteriormente garantizando que el sistema de Puntos de Acceso se acople correctamente a las características de conexión (Mesh APs) y el enlace con el ISP se lo realiza configurando el Punto de Acceso adicional en modo Root AP (Administrador) controlado por la interfaz Omada Controller desde cualquier parte del mundo como se observa en la figura 4.3.

Figura 4.3 Conexión en modo Mesh del sistema inalámbrico diseñado.



Sistema Omada Controller modo Mesh para la red de tres Puntos de Acceso. Fuente: (Tp-Link, 2019)

4.2.4. Datos finales de la simulación y las pruebas de cobertura

En la tabla 4.6 se observan los valores más referentes a la propagación de la red WIFI diseñada tomados de la simulación y en las pruebas de campo, donde se tiene un valor promedio en los límites del sitio de estudio de la simulación y en las pruebas de cobertura de -65,8 dbm y -75,5 dbm respectivamente en base al RSSI.

Tabla 4.6 Valores simulados y experimentados de la red WIFI diseñada.

Descripción	RSSI (-dbm) N	RSSI (-dbm) S	RSSI (-dbm) E	RSSI (-dbm) O	Nivel Señal
Simulación (0-10 dbm)	-65.8	-65.8	-65.8	-65.8	75 %
Experimentación	79,5	78,5	72,5	71,5	62,10 %

Datos de la red WIFI en el sitio de estudio. Elaboradas por Cristian Cevallos y David Muñoz.

$$\text{Error Porcentual \%} = \left| \frac{\text{Valor simulado} - \text{Valor real}}{\text{Valor real}} \right| \times 100 \quad \text{Ec. (4.1)}$$

$$\text{Error Porcentual \%} = \left| \frac{65,8 - 75,5}{75,5} \right| \times 100$$

$$\text{Error Porcentual \%} = 12,848 \%$$

Con los datos de la simulación y las pruebas de campo se tiene un error porcentual del 12,848 %, este error es significativo a los valores reales prediciendo que la simulación tiene un error de medición de 0,12 en términos generales. Si se observa el nivel de señal WIFI en la sitio de estudio se tiene un porcentaje del 62,1% generando un rango estable de señal. Estos valores afirma que la red diseñada cumple con los parámetros establecidos llevando la cobertura a toda el area de análisis.(Orozco, Siles, & Radiocomunicaciones, 2018)

Por lo establecido, la ubicación de los Puntos de Acceso Outdoor (nodos) quedan registrados en la tabla 4.7 en longitud y latitud, se recalca que los nodos están ubicados en este lugar ya que logran en sus límites valores aceptables de propagación vistos en el Anexo 8, optimizando la red y reduciendo mayor infraestructura.

Tabla 4.7 Ubicación final de nodos en diseño de la cobertura en la Hacienda.

NODOS	LONGUITUD	LATIITUD
NODO 1	77°44'28.30"O	0°45'59.30"N
NODO 2	77°44'26.45"O	0°45'56.56"N
NODO 3	77°44'26.93"O	0°45'53.36"N
ISP	77°44'27.31"O	0°46'0.61"N

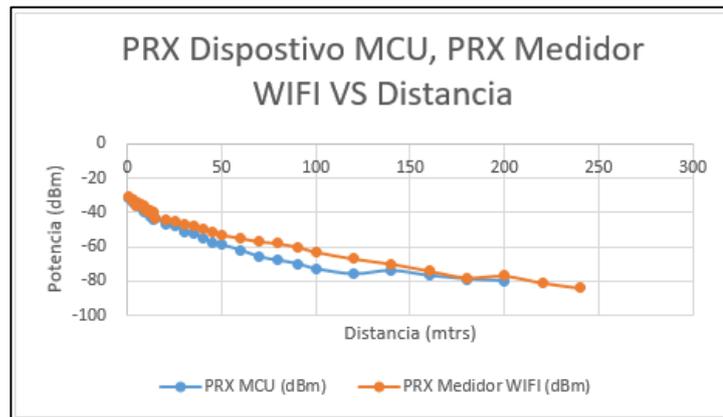
Ubicación nodos en la Hacienda. Elaborado por: Cevallos Cristian y Muñoz David.

4.3. ANÁLISIS DE POTENCIA DE RECEPCIÓN DEL DISPOSITIVO MCU

La señal inalámbrica que recibe el dispositivo MCU depende de la potencia y la ganancia de las antenas del Access Point Outdoor, así también de las pérdidas en el espacio libre y la ganancia de la antena del dispositivo MCU. (Monachesi) Para

analizar la Potencia de Recepción del dispositivo MCU se realiza una medición del nivel de la recepción vs distancia comparada con un medidor de señal WIFI visto en el Anexo 17. El Access Point irradia una potencia de 20 dBm con ganancia de 6 dBi en sus antenas.

Figura 4.4 Alcance WIFI entre Dispositivo MCU y un Medidor WIFI



La potencia de recepción medida (-32 dBm y -84 dBm). Elaborado por Cristian Cevallos y David Muñoz

En la Figura 4.4 se presenta la gráfica Prx vs Distancia medida en el sitio de estudio, en donde se observa que la sensibilidad del dispositivo MCU es menor que el medidor WIFI por la ganancia interna de sus antenas, el alcance del dispositivo MCU es de 200 metros a -80 dBm de nivel de señal recibida y el del medidor WIFI supera los 240 metros a -84 dBm nivel de señal recibida. Ya que el territorio a cubrir tiene un radio aproximado de 200 metros y la propagación de la red WIFI soporta niveles mayores a -80 dBm, comparando con los valores obtenidos en la gráfica, los resultados de propagación son óptimos para el diseño del sistema propuesto.

4.4. PRECISIÓN DEL SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN WIFI CONTRA GPS CELULAR

En la tabla 4.8 se compara la precisión de la geolocalización por WIFI del MCU con la de un GPS celular, se calcula el error de precisión midiendo la ubicación actual(real) con la ubicación que envían los dos sistemas de posicionamiento. Las pruebas se toman en la ciudad de Quito en el sector de Santa Ana. En el Anexo 18 se observa las

mediciones realizadas de posicionamiento y error. El error de precisión en la geolocalización WIFI del MCU en la ciudad es de 6,94 m y el del GPS celular es de 6,18 m. En la tabla 4.8 se compara la precisión de la geolocalización por WIFI del MCU con la de un Gps celular, las pruebas se tomaron en la Hacienda en Tulcán. En el Anexo 19 se observa las mediciones realizadas de posicionamiento y error.

El promedio de error de precisión en la geolocalización WIFI del MCU en la Hacienda es de 13,23 m y el del GPS celular es de 35,65 m. Se observa en la tabla 4.8 que la precisión del dispositivo MCU con la precisión del GPS son muy similares en la ciudad, la precisión del GPS celular es mejor porque tiene un sistema de GPS asistido o A-GPS lo que ayuda a mejorar la precisión en el caso de que exista una buena señal de las bases telefónicas, en zonas rurales el nivel de precisión del dispositivo MCU no cambia, pero la del GPS disminuye en relación a un sitio urbano. Por ello en la hacienda utilizar el sistema de geolocalización WIFI es mucho mejor que la del GPS como se observa en la tabla 4.8, el sistema de geolocalización WIFI depende de la red de Puntos de Acceso diseñada y del algoritmo de funcionamiento, a diferencia del GPS que sin una buena señal telefónica su precisión disminuye.

Tabla 4.8 Precisión de la geolocalización WIFI del MCU y GPS celular en la Hacienda

Ciudad	LATITUD	LONGITUD	PRECISIÓN	Error de precisión (m)
Ubicación Actual	-0.239488	-78.520.412	---	---
Ubicación Mcu	-0.2395428	-785.204.468	20	6,94
Ubicación Gps Celular	-0.239539	-78.520.392	16	6,18
Ubicación Actual	0°45'56.72"N	77°44'28.25"O	--	
Ubicación Mcu	0°45'57.90"N	77°44'28.39"O	25	13,23
Ubicación Gps Celular	0°45'57.78"N	77°44'27.78"O	21	35,65

Dos pruebas de precisión realizadas en la hacienda. Elaborado por Cristian Cevallos y David Muñoz.

4.5. ANÁLISIS DE TIEMPO DE DIFERENTES PROCESOS EN EL SISTEMA PROPUESTO

4.5.1. Análisis de retardos de tiempo del Dispositivo MCU

El dispositivo MCU realiza algunas operaciones para la vigilancia del ganado, las cuales incluyen: la conexión del dispositivo a la red WIFI, el envío de datos de los APs cercanos, la recepción de la ubicación desde la API de geolocalización por WIFI, el envío de datos a la Firebase de la ubicación, el estado del collar, el estado de la alarma de pánico, la potencia del AP y el nombre del ganado. Además, el dispositivo MCU es un servidor web para observar el estado del ganado desde algún navegador. Todas estas operaciones utilizan tiempos de funcionamiento para cada proceso detallados en la tabla 4.9.

4.5.2. Análisis de retardos de tiempo del MCU-CONTROLLER

El dispositivo MCU-Controller realiza algunas operaciones para la vigilancia del ganado, las cuales son: la conexión de los dispositivos a la red WIFI, la recepción de datos de ubicación de la Firebase, el estado del collar, la potencia del AP, rastreo los dispositivos MCU que estén conectados en la red mediante ping y el envío de correo electrónico mediante la plataforma Blynk a las diferentes alertas. Todas estas operaciones utilizan tiempos de funcionamiento para cada proceso detalladas en la tabla 4.9.

Tabla 4.9 Tiempo en realizar cada proceso en el Dispositivo MCU y MCU-Controller

Intento	1	2	3	4	Tiempo Promedio(s)
Dispositivo MCU					
Conexión a la red WIFI (s)	7.5	7.3	7	7.7	7.38
Conexión con API de Geolocalización WIFI (s)	11	10	10.8	10.6	10.6
Envío de Datos a la Firebase (s)	45	46	45.5	46.3	45.7
Tiempo de respuesta del interfaz usuario con el ganado (s)	2.3	1.8	3	2.5	2.4
MCU-Controller					
Tiempo conexión a la red WIFI (s)	3.7	3.8	3.8	3.9	3.8
Tiempo de envío de las notificaciones (s)	8.9	11	6.5	8.4	8.7
Tiempo del Ping de cada dispositivo MCU (s)	5.3	5.4	5.5	5.4	5.4

Los tiempos promedios para analizar cada proceso. Elaborado por Cristian Cevallos y David Muñoz.

4.6. ANÁLISIS DE TRÁFICO EN LA RED WIFI

El tráfico en la red es la cantidad y velocidad de información promedio que se transfiere a través del canal de comunicación. Existen herramientas que permiten analizar el tráfico en la red como Wireshark, Netspot, bettercap, Colasoft caps, etc. Estas herramientas permiten observar la mayoría de tráfico en la red, pero el tráfico que utiliza conexión segura como HTTPS con protocolo SSL es difícil de descifrar y observar el tráfico de la Firebase y la Geolocalización WIFI de Google.

4.6.1. Cantidad de tráfico en Dispositivo-MCU

El dispositivo MCU utiliza la red en tres operaciones: conexión con API de Geolocalización WIFI de Google, envío de datos a la Firebase y como servidor web. La Geolocalización WIFI de Google envía y recibe la información mediante el formato JSON. La conexión segura SSL utiliza aproximadamente 10 092 bytes indicado en el

Anexo 6, se necesita 10432 Bytes para la conexión con la API de Geolocalización cada 45,7s. El envío de datos desde el dispositivo MCU a la Firebase utiliza el formato JSON para enviar los datos. La cantidad de datos que ocupa la información es de 152 Bytes, además la conexión segura SSL utiliza aproximadamente 10 092 bytes indicado en el Anexo 6. Por lo que se necesita 10244 Bytes para la conexión con la API de Geolocalización cada 45,7s.

En el anexo 19 se observa el tráfico capturado con Wireshark de la conexión del servidor web con un cliente, el cual utiliza los protocolos TCP para un transporte seguro y el protocolo HTTP para el servidor web, utilizando 41 paquetes con 3893 bytes de información, esto sucede cada vez que el cliente requiere acceder al servidor. Además, cuando se utiliza los botones de PANICO ON o PANICO OFF la cantidad de datos es de 2384 bytes como se observa en el anexo 19. En el caso que el administrador de la hacienda se conecte a diferentes dispositivos-MCU en un tiempo de 1 minuto, se puede abrir ocho dispositivos en este tiempo y accionar uno de los botones. Se calcula que ocupa un máximo de 50216 bytes por minuto. Entonces se obtiene la tasa promedio de datos por segundo que ocupan los 50 dispositivos-MCU de la siguiente manera:

En la conexión con la API de Geolocalización: $T_{GEO} = \frac{10432 \text{ bytes}}{45.7s} = 228,27 \text{ Bytes/s}$

En el envío de datos a la Firebase: $T_{FIRE} = \frac{10244 \text{ bytes}}{45.7s} = 224,16 \text{ Bytes/s}$

Comunicación servidor web y cliente: $T_{WEB} = \frac{50216 \text{ bytes}}{60s} = 836.93 \text{ Bytes/s}$

La Tasa promedio de datos por segundo que ocupa un dispositivo MCU es:

$$T_{DISP} = T_{GEO} + T_{FIRE} + T_{WEB} = 1289,36 \text{ Bytes/s}$$

En total con 50 dispositivos-MCU es de 64468 bytes/s o 62.96 KB/s.

$$T_{TOTALDISP} = 50 \times 1289,36 \text{ Bytes/s} = 64468 \text{ Bytes/s}$$

4.6.2. Cantidad de tráfico en MCU-Controller

El dispositivo MCU-controller utiliza la red de internet en dos operaciones: Obtención de datos de la Firebase y envío de notificaciones al correo electrónico utilizando la aplicación Blynk. Para la red local y la vigilancia del ganado se utiliza el protocolo ICMP para verificar la conexión de los dispositivos-MCU a la red, el ping (ICMP) se detalla en el Anexo 19. La recepción de datos de la Firebase al dispositivo MCU-Controller contiene el estado del collar que puede ser “Activado” o “Desactivado” y la potencia a la que se encuentra conectado cada dispositivo-MCU, se utiliza el formato JSON para la petición. La petición a la Firebase en este formato es de 100 Bytes y la respuesta recibida es de 40 Bytes, además, la conexión segura SSL es aproximadamente de 10 092 bytes indicado en el Anexo 6. Si se monitorea 50 dispositivos-MCU la cantidad de datos es de 511600 Bytes en 100 segundos, dando como valor de recepción de datos a la Firebase de 5116 Bytes/s.

El envío de los datos a la aplicación Blynk es de 114 Bytes como se observa en el Anexo 19, además, la conexión segura SSL es aproximadamente de 10 092 bytes indicado en el Anexo 6. En caso del abigeato de todo el ganado se manda 50 notificaciones en un minuto. La cantidad de datos que utiliza el MCU-Controller hacia el internet es:

Notificaciones:
$$T_{NOT} = \frac{(114\text{bytes}+10092\text{bytes})*50\text{ disp}}{60\text{s}} = 8505\text{ Bytes/s}$$

El MCU-Controller necesita 13621 bytes/s para el envío y recepción de datos al internet.

El consumo total entre los dispositivos-MCU y el MCU-Controller es de:

$$T_{TOTAL-SISTEMA} = 64448 \frac{\text{bytes}}{\text{s}} + 13621 \frac{\text{bytes}}{\text{s}} = \frac{78069\text{ Bytes}}{\text{s}} = 76.24\text{ KB/s}$$

$$T_{TOTAL-SISTEMA} = 76.24 \frac{\text{kB}}{\text{s}} * 8\text{bits} = 609.92\text{ Kbps}$$

Analizado los diferentes procedimientos que realiza el sistema diseñado, se observa que el ancho de banda que ocupan los datos es muy pequeño y entra en los parámetros de funcionamiento de la red ocupando un plan de Internet económico existente en el mercado, varios proveedores de Internet cuentan con planes desde 5 Mbps ideales para todos los procesos que necesita el sistema en función de vigilar y monitorear al ganado.

4.7. ANÁLISIS DE COSTOS

4.7.1. Costo de Implementación

Se analiza los costos de implementación del sistema de seguridad y monitoreo, primero, el costo de los dispositivos-MCU que son colocados en cada vaca, segundo, el MCU-Controller que es el dispositivo que monitorea y notifica las diferentes acciones del ganado, y por último la red WIFI Outdoor diseñada detallados en el Anexo 22.

Los elementos a utilizar en el sistema de red WIFI Outdoor detallados en el Anexo 22, cumplen con las características de funcionamiento, aplicación y costo. Por la propagación en el medio, ganancia de sus antenas, potencia de transmisión, ajuste inalámbrico, sensibilidad de recepción, seguridad inalámbrica, certificación FCC, CE y RoHS, comparado con 4 equipos diferentes en el mercado visto en el Anexo 15, se ha elegido para el diseño al Access Point Tp-Link EAP 110 (300 Mbps), el cual cuenta con un sistema de administración (Omada Controller) que centraliza la red en una interfaz gestionable desde cualquier parte del mundo, además la empresa TP-Link desde 2019 se encuentra en el cuadrante de Gartner (Wired and Wireless Access Infrastructure) vista en el Anexo 15, dando anotar su evolución en aplicaciones de área local.

El costo total de implementación sumando los costos de los dispositivos, la cobertura de la red WIFI y el plan de internet acorde a análisis de tráfico es de \$ 2237.41 con se observa en la tabla 4.10 que describe el costo de implementación de cada parte del sistema.

Tabla 4.10 Costos totales de cada sección del sistema

Sistema	Costo totales
Red WIFI Outdoor	\$365
Dispositivos-MCU	\$1877,50
MCU-Controller	\$28
Plan Internet	\$25,91
Dispositivo MHW	\$8
Costo total	\$2237,41

El costo total del sistema de seguridad y monitoreo. Elaborado por Cristian Cevallos y David Muñoz.

4.7.2. Relación Costo Beneficio (RBC)

La Relación costo beneficio es aquella en la cual el flujo de beneficios como el de los costos se restablecen a una tasa de interés que se considera en futuro para el costo de oportunidad del capital. (Díaz, Carlos, Castro, & Julián, 2015). Este parámetro es útil para la evaluación de proyectos. Si el proyecto es rentable la relación costo-beneficio es mayor a la unidad. A continuación, se indica la fórmula de la relación costo beneficio:

$$RB/C = \frac{\text{Valor Actualizado de los beneficios}}{\text{Valor Actualizado de los costos}} \quad \text{Ec. (4.2.)}$$

El valor actualizado de los beneficios es el precio del ganado a proteger, el número de cabezas de ganado es 50 y de cada vaca se estima en un valor de dos mil dólares, por lo cual el valor del ganado a proteger es de cien mil dólares. El valor actualizado de los costos del sistema diseñado que previene el robo de ganado es de \$2237,41 dólares.

$$RB/C = \frac{100000}{2237}$$

$$RB/C = 44,70$$

La relación costo-beneficio del proyecto tiene un valor significativo de 44,7. El análisis de VAN y TIR no se calcula debido a que el proyecto no genera una nueva fuente de ingresos para el tipo de negocio.

CONCLUSIONES

Existen algunos antecedentes de años pasados sobre el abigeato en el Cantón Tulcán, esto se debe a la gran cantidad de ganado existente en el lugar con un valor promedio de 99255 cabezas de ganado analizados en los últimos años y por ser una zona de producción lechera, esta problemática social afecta en nivel general a la economía del sector ganadero que intenta ser controlada por la UICA, al encontrarse en una área rural y de difícil acceso se encontró necesario un sistema de seguridad y monitoreo para el ganado.

El diseño del sistema de seguridad y monitoreo planteado se compone de la red inalámbrica WIFI para exteriores y del dispositivo Geolocalizador. Para la red diseñada se utilizó sistemas de comunicación y propagación inalámbricos obteniendo una red centralizada y redundante. Para la vigilancia del ganado se utilizó al dispositivo NodeMCU que realiza procesos de geolocalización en tiempo real y control de alertas por notificaciones. El sistema garantiza tomar acciones a los administradores del lugar cuando existan incidentes, tales como la desconexión del dispositivo o del collar puesta en el animal, la salida fuera de la hacienda y el monitoreo del ganado, las notificaciones se envían por correo electrónico y red social, además se agregó una sirena general que realiza una alerta efusiva en la hacienda para advertir cuando se suscite algún problema relacionado con la seguridad en la zona de crianza obteniendo así un sistema inalámbrico proporcional al diseño.

Para el funcionamiento del sistema de seguridad se realizaron pruebas de simulación y cobertura en la zona de crianza de hacienda La Capilla, donde por características de propagación y comunicación inalámbrica se estableció que el sistema diseñado funciona correctamente con un conjunto de tres Access Point que irradian RSSI entre -71,5 dbm a -79.5 dbm equivalente a un 62,1 % de señal WIFI en el terreno analizado, con estos valores de señal es adecuado utilizar sistemas de comunicación como WDS y triangulación APIT que mejoran la calidad de información y la precisión de ubicación del ganado respectivamente, con ello se redujo el error de geolocalización del dispositivo MCU a 12,26 m aproximadamente que si se lo compara con un GPS tradicional que tiene un error de medición de 35.325 m en la hacienda, el uso del dispositivo MCU es conveniente para el proyecto que además utiliza tasas mínimas de envío y recepción de datos al sistema de 609,92 Kbps.

El control de distancia es importante ya que delimita la zona donde el ganado puede pastorear, utilizando la sensibilidad de recepción que tiene el dispositivo MCU se logró controlar este proceso con valores estables de funcionamiento de -32 dbm a -80 dbm equivalentes a un radio 200 m, obteniendo una vigilancia permanente entre rangos de potencia que evitan la extracción del dispositivo de la zona de estudio.

El sistema diseñado se caracteriza por utilizar elementos que reducen los costos al mínimo con una inversión de \$ 2237,41 totales necesarios para su implementación, comparado con otras tecnologías existentes en el mercado se obtuvo un sistema más económico y optimizado en propagación e infraestructura con la cualidad de ser compatible a muchas aplicaciones así como nuevas técnicas de seguridad inalámbrica, a la vez se consiguió un valor significativo de 44,7 costo beneficio que refleja que la rentabilidad del proyecto es garantizada para su futura ejecución.

RECOMENDACIONES

Al encontrarse en un ambiente externo el sistema diseñado tiende a sufrir perturbaciones, por ello se recomienda elaborar un plan de mantenimiento para el cuidado del sistema, este plan debe contemplar tanto la parte de la infraestructura con los equipos utilizados como la del software con las actualizaciones de la geolocalización WIFI y la de la base de datos Firebase.

El diseño cuenta con varios procesos que ayudan a mejorar la seguridad del ganado, por esta razón se recomienda elaborar un manual de usuario que ayude a los administradores al uso correcto del sistema, este manual debe incluir procesos tales como, el registro de un nuevo animal, configuración de alertas por notificaciones, desactivación de la alarma de pánico por la interfaz web y el uso la sirena general.

Se recomienda desarrollar un sistema de alimentación basado en energías alternativas para el dispositivo, debido a que la batería solar que alimenta al dispositivo MCU tiende a disminuir su sensibilidad y funcionamiento paulatinamente haciendo necesario un ajuste cada cierto tiempo de uso.

La hacienda La Capilla cuenta con un cercado eléctrico en las áreas de crianza, como seguridad adicional se recomienda realizar un sistema de control para el encendido, apagado y monitoreo del cercado eléctrico utilizando el MCU Controller del diseño propuesto.

Si el número de ganado analizado aumenta aceleradamente se recomienda utilizar dos nodos centrales (MCU Controller) para un mejor funcionamiento del sistema obteniendo una red redundante.

REFERENCIAS

- Acens. (2014). Base de datos NoSQL. Qué son y tipos que nos podemos encontrar. *Acens.Com*, 7.
- Agro Sur (Valdivia). (1974). Contenido. *Agro Sur*, 2(2), 88–88.
<https://doi.org/10.4206/agrosur.1974.v2n2-09>
- Baran, N. (2012). Redes Inalámbricas. In *Redes* (Vol. 2). Retrieved from <http://www3.uah.es/vivatacademia/ficheros/n54/redesinalam.PDF>
- Barrera Daniela, S. E. (2015). SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE COBERTURA PARA TECNOLOGÍA LTE EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE CUENCA. *Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de La Universidad de Cuenca*.
- Camargo, J. (2009). Redes Inalámbricas De Area Local (Wlan). *Modelo De Cobertura Para Redes Inalámbricas De Interiores*, 330. Retrieved from <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11761/fichero/Volumen1%252F6-Capítulo2+-+Redes+inalámbricas+de+área+personal+%28WPAN%29.pdf+>
- Díaz, M., Carlos, L., Castro, M., & Julián, F. (2015). in *Financial Evaluation of a Vaccination Program Against Foot and mouth Disease in Venezuela*.
- Diego, M., Gómez, Córdova, F., Ciencia, E., Tecnología, Y., En Diseño, L., & Tema, P. (2017). *Diseño e implementación de un sistema de gestión Wi-Fi centralizado, en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, mediante routerOS, para mejorar la calidad de servicio*. 8. Retrieved from http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6609/1/05_FECYT_3105_TRABAJO_DE_GRADO.pdf
- Francisco, A. R. L. (2017). ANÁLISIS DE REDES INALÁMBRICAS. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gonzalez Vergara, S. A., & Pérez Carmona, J. E. (2008). “*Tecnología Bluetooth*.” 86.
- Guevara C., R. C., & Serna M., É. (2013). Una propuesta de solución al problema de la interferencia entre redes WiFi por solapamiento de canales. *Ciencia e*

Ingeniería Neogranadina, 23(2), 7. <https://doi.org/10.18359/rcin.220>

Jorge Pablo Dignani. (2011). *Trabajo final integrador de especialización en Redes y Seguridad*. 42. <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0053-5>

Karen Hernández ,Jorge Pelayo, L. A. (2010). Transmisión En Banda Ancha Para Zonas. *8th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, 1–8.

Lara Cueva, R. A., Fernández Jiménez, C. B., & Morales Maldonado, C. A. (2016). Análisis del desempeño en un enlace descendente de redes basadas en los estándares IEEE 802.11b, IEEE 802.11n y WDS. *Revista Iberoamericana de Las Ciencias Computacionales e Informática*, 5(10), 1–19.

LoRa Alliance. (2018). LoRaWAN 1.0.3 specification. *Lora-Alliance.Org*, (1 [Online], Accessible: <https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-07/lorawan1.0.3.pdf>), 1–72.

Maestr, D. E. P., & Inform, E. N. (2016). *Resolución del Problema Profesional*. Retrieved from http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23057/1/EC_t1113mif.pdf

Monachesi, E., López, F. A. G., Frenzel, A. M., Chaile, G., Monachesi, E., López, F. A. G., ... El, E. E. De. (n.d.). *Estudio de viabilidad de un enlace WiFi*.

Montiel, M. E. P., & Rincón, C. A. (2015). Algoritmo para geolocalización de dispositivos móviles a partir de emisores de WIFI. *Enl@ce Revista Venezolana de Información, Tecnología y Conocimiento*, 12(1), 11–22.

Mora, J. (2012). *Acceso a Internet vía WiFi-WiMax*. Retrieved from http://www.coitaoc.org/files/estudios/tecnologia_facil_7aba8393.pdf

Orozco, J., Siles, G., & Radiocomunicaciones, L. De. (2018). Estudio radioeléctrico y problemáticas en una red WiFi con alta densidad de usuarios Radio study and problems in a WiFi network with high user density. *Telecomunicaciones*, 9, 32–52. Retrieved from http://www.scielo.org/bo/pdf/ran/v9n1/v9n1_a03.pdf

Ortega Martorell, S., & Canino Gutiérrez, L. (2006). Protocolo de seguridad SSL. *Ingeniería Industrial*, 27(2), 12.

- Puppo Grezzi, B. (2006). El delito de abigeato. *Revista de Derecho Penal*, (16), 545–554.
- Suárez, B. R. (2005). Implementación del protocolo WDS para redes 802.11 bajo ns-2. *Recercat.Net*, 83. Retrieved from <http://www.recercat.net/handle/2072/7673>
- Suryani, A. T., & Pantjawati, A. B. (2018). Analysis of the Coverage Area of the Access Point Using Netspot Simulation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 384(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/384/1/012001>
- Viloria, C., Cardona, J., & Lozano, C. (2009). Analisis Comparativo de tecnologías inalámbricas para una solución de servicios de telemedicina. *Ingeniería y Desarrollo*, 200–217. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/852/85212371012.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1: ABIGEATO EN ZONAS RURALES

Tasa de abigeato en zonas rurales a nivel Nacional.

Nombre del indicador	Mes_Año	Fuente	Nivel de desagregación	Valor/Date	NDO rural	De nominador poblacional rural PRR
Tasa de Abigeato por cada 100 mil habitantes en zonas rurales	ene-dic 2014	Ministerio del Interior	Nacional	27,73	*1631	3861591
Tasa de Abigeato por cada 100 mil habitantes en zonas rurales	ene-dic 2015	Ministerio del Interior	Nacional	30,19	*1797	3962460
Tasa de Abigeato por cada 100 mil habitantes en zonas rurales	ene-dic 2016	Ministerio del Interior	Nacional	31,69	*1909	6023550
Tasa de Abigeato por cada 100 mil habitantes en zonas rurales	ene-dic 2017	Ministerio del Interior	Nacional	34,37	*2095	6094829
Tasa de Abigeato por cada 100 mil habitantes en zonas rurales	ene-dic 2018	Ministerio del Interior	Nacional	22,19	*1398	6366200

Estadística sobre el Abigeato realizada en zonas rurales de cada 100 mil habitantes de Enero 2014 a Diciembre 2018. Fuente: Ministerio del interior

Unidad de Investigación Contra el Abigeato UICA

LA UICA realiza varias actividades para contrarrestar este delito determinando que los antisociales sustraen los mejores ejemplares empleando la violencia como arma principal para cometer el delito, por lo que las acciones que se toman en esta problemática van dirigidas a delitos como la tenencia ilegal de armas y receptación. La modalidad de los delitos por abigeato, se ejecutan alquilando vehículos y camiones para sustraerse el ganado de excelencia y calidad, que luego comercializan en diferentes provincias del país como Santo Domingo o en países como Colombia. (Puppo Grezzi, 2006)

ANEXO 2: SISTEMAS INALÁMBRICOS EXISTENTES PARA LA VIGILANCIA Y MONITOREO DEL GANADO BOVINO

Comparación de sistemas existentes para la vigilancia y monitoreo del ganado bovino

Sistema	ACTIVO	TRÁCIDO	REACTIVO	DIGITAL
Comunicación	Radiofrecuencia	Radiofrecuencia	Radiofrecuencia	Radiofrecuencia
GPS	si	si	si	si
Área de Cobertura	hasta 300 metros	ilimitada depende proveedor telefónica	ilimitada depende proveedor telefónica	Depende proveedor del sistema
App de gestión	si	si	si	si
Memoria/ave	si	no	si	no
Batería Solar	no	no	si	no
Duración batería	3 años	6 meses	depende de la intensidad de la luz del sol	2 años
Disponibilidad Ecuador	si	si	si	si
Costo Dispositivo	120 \$	165 \$	40 \$	180 \$
Costo de Gestión	dos años gratis y 0,87 \$ por problema	primer año gratis y costo anual sistema 55 \$	Gratis	---
Manejo estado del animal	si	si	no	si
Alarma de retardo	no	no	si	no

Diferentes sistemas que ayudan a prevenir el abigeato. Elaborado por: Cevallos Cristian y Muñoz David

ANEXO 3: TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS

Tecnología	WiFi	WiMAX	GPRS	3G	WiMesh
Estándares	802.11	802.16	GPRS	IMT2000	802.11s
Radio de celda	0.01 - 0.1 km	1 - 15 km	30 km		
Banda de transmisión	2.4 GHz, 5 GHz	2.3 GHz, 3.5 GHz	800 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz	1900 MHz, 2100 MHz	2.4 GHz, 5 GHz
BW del canal	20 MHz	1.25 - 20 MHz	200 kHz	5 MHz	20 MHz
Tasa de transmisión	54 Mbps	100 Mbps	114 kbps	2 Mbps	54 Mbps
Throughput	36 Mbps	75 Mbps	22 kbps	1.8 Mbps	36 Mbps
Encriptación	WPA, WEP	x.209 con DES en modo CBC	GEA		AES
Modulación	PSK, QPSK, OFDM	OFDM	GMSK	QPSK-16QAM	PSK
Tecnología de acceso	CSMA/CA	DAMA - TDMA	FDMA - FDD	CDMA	QDMA
Calidad de servicio	No	Si	No	Si	Si
Licenciada	No	Si	Si	Si	No

Fuente: (Telecomunicaciones, 2014)

Standard	Network	Bluetooth	IEEE	Qbit	WiFi	WWAN
IEEE 802.15.3	IEEE 802.15.3	IEEE 802.15.3	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.4	IEEE 802.11	IEEE 802.16
Versiones	V1.2, V1.3, V2.0, V2.1+HS	V1.0, V1.2, V2.0, V2.1+HS	802.15.4, 802.15.3, 802.15.1, 802.15.2	802.15.4, 802.15.3, 802.15.1, 802.15.2	802.11 (b/g/n), 802.11ac, 802.11ad	802.16 (e), 802.16 (m)
Frequency band	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz, 5.8 GHz, 2.4 GHz	2.4 GHz, 5.8 GHz, 2.4 GHz	2.4 GHz, 5 GHz, 60 GHz	2.4 GHz, 5 GHz, 60 GHz
Data rate	1-3 Mbps	1-3 Mbps	1-3 Mbps, 1-3 Mbps, 1-3 Mbps	1-3 Mbps, 1-3 Mbps, 1-3 Mbps	1-3 Mbps, 1-3 Mbps, 1-3 Mbps	1-3 Mbps, 1-3 Mbps, 1-3 Mbps
Coverage	100m	100m	100m, 100m, 100m	100m, 100m, 100m	100m, 100m, 100m	100m, 100m, 100m
Transmission power	100mW	100mW	100mW, 100mW, 100mW	100mW, 100mW, 100mW	100mW, 100mW, 100mW	100mW, 100mW, 100mW

Fuente: (Telecomunicaciones, 2014)

Technology	RF, lin. h	MAX	Figures	LTE-M	Sigfox	LoRa
Sensitivity	-106 dBm	-92 dBm	-100 dBm	-117 dBm	-120 dBm	-142 dBm
Link Budget	126dB	112dB	108dB	147dB	144dB	142dB
Range (Outdoor)	0.700m	0.200m	0.150m	1.7km urban	2km urban	3km urban
Range (Indoor)	1.100m	1.30m	1.30m	200m rural	200m rural	300m rural
Data rate	100kbps	60kbps	250kbps	10bps	600bps	57.5 - 0.200bps
Tx current	300 mA	250 mA	250 mA	30mA	12mA	12mA
Standby current	30 mA	20 mA	20 mA	30mA	20mA	20mA
ES current	30mA	20mA	20mA	30mA	10mA	10mA
Battery Life	2000mAh	700mAh	700mAh	18 months	90 months	105 months
Localization	no	1-5m	no	20m	no	10-20m
Interference	moderate	moderate	moderate	bad	moderate	bad
Security	moderate	moderate	moderate	bad	moderate	good
Network Type	Star	Star	Mesh	Star	Star	Star

Fuente: www.crtfantennas.com

Figura. Topología de la red LoRa



Fuente: AME-IOT

Comparación de precios de dispositivos inalámbricos

Red Inalámbrica	SMA 2G/3G	Bluetooth	Zigbee	WiFi	LORA
DISPOSITIVOS	Micro módulo Sim8001 GSM/GPRS	Módulo Bluetooth Arduino Nrf51822	Módulo Xbee Zigbee Wireless Transport	Node MCU	Lora-GPS Shield
Precios	135 \$	105 \$	115 \$	85 \$	65 \$

Fuente: Mercado Libre, Amazon.

ANEXO 4: DIFERENCIAS ENTRE WIFI Y OTRAS TECNOLOGÍAS

LORA vs WIFI

Características	Lora-GPS Shield + Arduino Uno	Módulo GPS LoRaWAN con acelerómetro	GPS Tracker LGT-02	Módulo Lora V3 Wifi	NodeMCu Esp8266
Precio	\$75	\$63	\$60	\$55	\$8
Administrable/ Gestionable	Si	Si	No	Si	Si
Diseño/Estructura	May grande	May grande	Compacto	May grande	Pequeño
Batería	No	No	1000mA	No	No
Movilidad/Transición	Difícil	Difícil	Fácil	Difícil	Medio

Elaborado por: Cevallos Cristian y Muñoz David.

Características	Lora-GPS Shield + Arduino Uno	Módulo GPS LoRaWAN con acelerómetro	GPS Tracker LGT-02	Módulo Lora V3 Wifi	NodeMCu Esp8266
Frecuencia	868 MHz-433 MHz-915 MHz	868 MHz-433 MHz-915 MHz	868 MHz-433 MHz-915 MHz	868 MHz-433 MHz-915 MHz	2.4-5GHz
Consumo de Energía	3.3-5 v	3.3-5 v	3 v	3.3-5 v	3.3 v
Nivel de Recepción	-148dbm	-148dbm	-100dbm	-148dbm	-100dbm
Potencia Tx	10dBm	10dBm	10dBm	10dBm	15dBm
Velocidad de Tx	250 kbps - 50 kbps	250 kbps - 50 kbps	250 kbps - 50 kbps	250 kbps - 50 kbps	300Mbps/ 50Hz (867Mbps)

Elaborado por: Cevallos Cristian y Muñoz David.

ANEXO 5: CARACTERÍSTICAS BASE DE DATOS

Ventajas de NoSQL

- Utilizan pocos recursos en las máquinas
- Escalabilidad horizontal que se consigue añadiendo más nodos
- Manejar gran cantidad de datos mediante tabla HASH
- No permitir cuellos de botella

Base de datos NoSQL Firebase de google con MCU

Para acceder a Firebase se necesita una cuenta en Google y suscribirse en Firebase. Lo más importante de la Firebase es su seguridad ya que utiliza el puerto de seguridad (443) SSL para una conexión segura. La plataforma que se utiliza en el proyecto es la IDE de Arduino, conecta el MCU a la Firebase con código llamado Fingerprint el cual se renueva cada cierto tiempo. Además, es importante colocar el URL del host, por ejemplo: <https://WIFI-arduino-nodemcu.firebaseio.com> y el puerto (443) SSL para subir los datos desde el MCU utilizando el formato de texto JSON.

ANEXO 6: PROTOCOLO DE SEGURIDAD SSL

El protocolo de Seguridad SSL (Secure Sockets Layer) es un conjunto de técnicas para garantizar la autenticidad y seguridad de las diferentes entidades que se encuentran en internet y tener una mayor confianza para compartir y procesar la información. Utiliza técnicas de criptografía para asegurar confidencialidad e integridad y verificar su identidad. (Ortega Martorell & Canino Gutiérrez, 2006)

Ejemplo de captura de datos SSL con proxy Squid

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Data	Inicio negociación proxy-servidor
118	1408115574.000000000	127.0.0.1	127.0.0.1	TLSv1.2	274	Continuation Data	
119	1408115574.001110000	127.0.0.1	127.0.0.1	TLSv1.2	185	Continuation Data	
120	1408115574.001111000	127.0.0.1	127.0.0.1	TLSv1.2	248	Client Hello	Application Client Hello
121	1408115574.001112000	127.0.0.1	127.0.0.1	TLSv1.2	1768	Server Hello, Certificate, Server Hello Done	
122	1408115574.001113000	127.0.0.1	127.0.0.1	TLSv1.2	288	Client Key Exchange, Change Cipher Spec, Fin	
123	1408115574.001114000	127.0.0.1	127.0.0.1	TLSv1.2	332	New Session Ticket, Change Cipher Spec, Fin	
124	1408115574.001115000	127.0.0.1	127.0.0.1	HTTP	427	GET / HTTP/1.1	Continuation of non-HTTP tra
125	1408115574.001116000	127.0.0.1	127.0.0.1	TLSv1.2	605	SSL segment of a reassembled PDU	
126	1408115574.001117000	127.0.0.1	127.0.0.1	TLSv1.2	4215	SSL segment of a reassembled PDU	
127	1408115574.001118000	127.0.0.1	127.0.0.1	HTTP	4215	HTTP/1.1 200 OK	
128	1408115574.001119000	127.0.0.1	127.0.0.1	SSL	587	SSL segment of a reassembled PDU	
129	1408115574.001120000	127.0.0.1	127.0.0.1	TLSv1.2	184	Server Hello	
130	1408115574.001121000	127.0.0.1	127.0.0.1	TLSv1.2	184	Certificate	Fin negociación proxy-servidor

El tamaño es de 10 092 bytes conexión SSL. Fuente: (Services, 2020)

ANEXO 7: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS PROGRAMAS DE SIMULACIÓN

ICS Telecom

- Memoria RAM de 2GB
- Disco Duro SSD 256 GB
- Almacenamiento de 100 GB
- Sistema Operativo Windows Vista en adelante
- Tarjeta gráfica 512MB (1024-768)

Xirio

- Memoria RAM de 2GB
- Disco Duro SSD 256 GB
- Almacenamiento de 100 GB
- Sistema Operativo Windows Vista en adelante
- Tarjeta gráfica 512MB (1024-768)

Atoll

- Procesador Pentium 4
- Memoria RAM de 512MB
- Sistema Operativo Windows 2000/XP

Comparación de la Cartografía digital entre simuladores

CARTOGRAFÍA	ICS TELECOM	ATOLL	XIRIO
Formato			
Capa MDT	X GEO	X TIF, BL, BMP, GRD	X GEOTIFF KMZ
Capa MEG			X GEOTIFF
Capa de Edificios	X BLG	X TIF, BL, BMP, GRD	X
Capa de Cluter	X SOL	X TIF, BL, BMP, GRD, IST	X
Imagen	X PAL	X TIF, BL, BMP, GRD, IST, JPEG	X PNG, JPEG
Capa de Publicación		X TIF, BL, BMP, IST, GRD, GRD, SHP, TAB	

Cartografía e imagen referente a la simulación de una red. Fuente: (Barrera Daniela, 2015)

Sistema de predicción para nivel y calidad de cobertura de la señal

PREDICIONES	DESCRIPCIÓN	ICS TELECOM	ATOLL	XIRIO
Cobertura Compuesta	Calcula el nivel de cobertura de la señal de referencia RSRP, en cada píxel del mapa.	X	X	X
Cobertura de Mejor Servidor	Indica para cada píxel el mejor servidor, es decir, el que proporciona el mayor nivel de intensidad de campo.	X	X	
Sobrecapamiento	Se visualiza las zonas donde existe sobrecapamiento de la señal RSRP de más de un servidor.	X	X	
Porcentaje de Cobertura	Indica el % de servidores que dan cobertura en cierto punto de la red.	X		
Probabilidad de Cobertura	Calcula la probabilidad de cobertura para cada píxel.	X		

Nivel y calidad de cobertura de la señal. Fuente: (Barrera Daniela, 2015)

PREDICIONES	DESCRIPCIÓN	ICS TELECOM	ATOLL	XIRIO
Mapa SNIR	Analiza los niveles de la relación portadora a interferencia más ruidosa para los canales de tráfico o control.	X	X	X
Mapado SNIR a Mejor Servicio	Indica el mejor servicio disponible en función del nivel SNIR.	X	X	
Mapado de señal	Indica el mejor servicio disponible tanto en enlace ascendente como en descendente.		X	
Mapado de rendimiento	Calcula el rendimiento (throughput) basándose en el nivel SNIR.	X	X	X
Indicador de calidad	Calcula indicadores de calidad (E-PCR, E-PCR) en función del nivel SNIR.		X	

Nivel y calidad de cobertura de la señal. Fuente: (Barrera Daniela, 2015)

ANEXO 8: WIFI

Estándar	Frecuencia Band	Bandwidth	Modulation Scheme	Channel Arch.	Maximum Data Rate	Range
802.11	2.4 GHz	20 MHz	BPSK to 256-QAM	DSSS FHSS	2 Mbps	20 m
b	2.4 GHz	21 MHz	BPSK to 256-QAM	OFDM	11 Mbps	35 m
g	5 GHz	22 MHz	BPSK to 256-QAM	OFDM	54 Mbps	35 m
n	2.4 GHz	23 MHz	BPSK to 256-QAM	DSSS, OFDM	54 Mbps	70 m
n	2.4 GHz, 5 GHz	24 MHz and 40 MHz	BPSK to 256-QAM	OFDM	600 Mbps	70 m
ah	900 MHz	1, 2, 4, 8, and 16 MHz	BPSK to 256-QAM	SC-OFDM	40 Mbps	1 km

Fuente: (Maestr & Inform, 2016)



Figura 1.6 Esquema de una WLAN en el hogar. Fuente: (Baran, 2012)

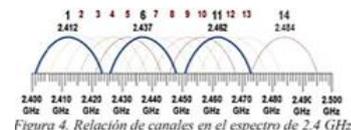


Figura 4. Relación de canales en el espectro de 2.4 GHz. Canales WIFI. (Diego et al., 2017)

Estándar IEEE-802.11

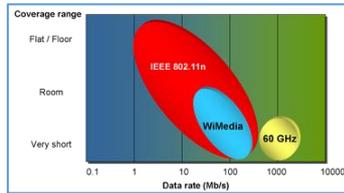
Capa de acceso física	Velocidad transmisible máxima (Mbps)	Throughput máximo (Mbps)	Número Máximo de redes localizadas	Bandas (GHz)	Radio subportadora Típico (inferior) o (superior) (m)
IEEE 802.11 a/b	54	22	14 (5.7 GHz)	5	85
IEEE 802.11 g	54	22	3	2.4	140
IEEE 802.11 n (40 MHz)	>300	>100	1 (2.40GHz) - (5.7GHz)	5	120
IEEE 802.11 n (20 MHz)	144	74	3 (2.40GHz) - (5.7GHz)	2.4 y 5	300
IEEE 802.11 ac (20,40,80,160) MHz	450-1300	6.63 Gbps	5	5, 49 GHz	>300

Características de la modalidad del Estándar 802.11. (Orozco et al., 2018)

Capa de acceso física al medio	Velocidad transmisión máxima (Mbps)	Throughput máximo típico (Mbps)	Número Máximo de redes localizadas	Banda de frecuencia (GHz)	Radio de cobertura Típico (inferior) (m)	Radio de cobertura Típico (exterior) (m)
IEEE 802.11 a/h	54	22	14 (5.7 GHz)	5	85	185
IEEE 802.11 b	11	6	3	2.4	30	140
IEEE 802.11 g	54	22	3	2.4	65	150
IEEE 802.11 n (40 MHz)	>300	>100	1 (2.4GHz)-3(5.7 GHz)	5	120	300
IEEE 802.11 n (20 MHz)	144	74	3(2.4GHz)-14(5.7GHz)	2.4 y 5	120	300
IEEE 802.11 ac (20,40,80,160) MHz	450-1300	6.63 Gbps	5.49 GHz-5.73 GHz	5	100	>300

Características de la modalidad del Estándar 802.11. (Orozco et al., 2018)

Mejoras de IEEE-802.11 n en exteriores



Fuente: (Guevara C. & Serna M., 2013)

Protocolo WDS

El protocolo Wireless Distribution System (WDS) es un método que activa la interconexión inalámbrica (WLAN) entre Access Point permitiendo a la red ampliar su estructura usando múltiples puntos de acceso sin la necesidad de un sistema trocal guiado (LAN), para acceder a esta configuración los dispositivos deben estar conectados a la misma red inalámbrica, canal, banda y tipos de encriptación. (CISCO, 2014)

Para habientes de pequeña y media empresa se toma en el modo Malla (Mesh) es útil para sistemas que necesitan propagar la señal de una red a otros puntos de acceso de manera segura utilizando las mismas características de propagación inalámbrica, este modo se asemeja al modo Repetidor con una diferencia importante que es la administración, donde en el modo Repetidor no se tiene control de todo el sistema de puntos de acceso que se encuentran conectados, en cambio en modo Malla desde la base se administra toda la red con un sistema centralizado que ayuda a un mejor monitoreo y configuración de los dispositivos conectados en él, además cada año los dispositivos en el mercado mejora este modo de propagación en seguridad y utilizando nuevos protocolos de conexión como el control de ancho de banda, equidad de tiempo de conexión y transmisión de datos, etc. (Mora, 2012)

Niveles de recepción de la señal WIFI

Intensidad de recepción de la señal WIFI.

Intensidad de la señal	Valor	Característica
-30 dBm	Excelente	Esta es la máxima intensidad de señal alcanzable y será apropiada para cualquier situación de uso.
-50 dBm	Excelente	Este excelente nivel de señal es adecuado para todos los usos de la red.
-65 dBm	Muy bueno	Recomendado para smartphones y tablets.
-67 dBm	Muy bueno	Esta intensidad de señal será suficiente para voz sobre IP y streaming de video.
-74 dBm	Aceptable	Este nivel es la intensidad mínima de la señal requerida para asegurar una entrega de paquetes fiable y le permitirá navegar por la web e intercambiar correos electrónicos.
-80 dBm	Malo	Permite la conectividad básica, pero la entrega de paquetes no es fiable.
-90 dBm	Muy malo	Un ruido que inhibe la mayoría de las funciones.
-100 dBm	Peor	Ruido total.

Nivel de recepción WIFI. Elaborado por: Cevallos Cristian y Muñoz David. (Suryani & Pantjawati, 2018)

Tipos de encriptación

	Autenticación	Cifrado	Seguridad	Rendimiento	Complejidad implementación
WEP	Ninguna	WEP	Baja	Alto	Baja
WPA -PSK-TKIP	Handshake	TKIP	Aceptable	Bajo	Baja
WPA2 -PSK-TKIP	Handshake	TKIP	Aceptable	Bajo	Baja
WPA -PSK-AES	Handshake	AES	Buena	Normal	Baja
WPA2 -PSK-AES	Handshake	AES	Muy Buena	Normal	Baja
WPA -WEP-TKIP	Servidor	TKIP	Buena	Bajo	Alta
WPA2 -WEP-TKIP	Servidor	TKIP	Muy Buena	Bajo	Alta
WPA -WEP-AES	Servidor	AES	Muy Buena	Normal	Alta
WPA2 -WEP-AES	Servidor	AES	La Mejor	Normal	Alta

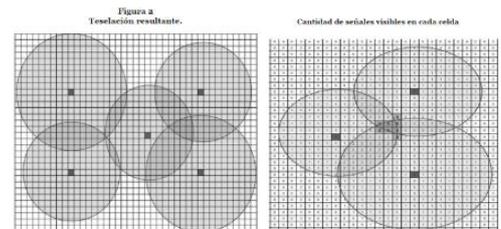
Fuente: www.sysadmit.com

ANEXO 9: MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA GEOLOCALIZACIÓN

Para encontrar la ubicación más precisa de un dispositivo Smart se necesita de un método que utilice técnicas de geolocalización, para lo cual existen estudios en donde describe este proceso utilizando WIFI como base ya que es una tecnología que posee ahorro de energía, mayor confiabilidad e integridad de datos comparada con el GPS que puede entregar una mejor exactitud de la ubicación pero tiene problemas de seguridad informática que afectan a la integridad de la información y a los hardware que utilicen este mecanismo de ubicación. En este proyecto técnico se utiliza la técnica de Punto de Triangulación Aproximado (APIT) ya que utiliza la discretización del espacio de acción utilizando nodos emisores de señal wifi para encontrar con mayor exactitud la geolocalización de un dispositivo conectado a la red. (Montiel & Rincón, 2015)

Punto de Triangulación Aproximado (APIT)

La técnica se basa en la discretización del espacio de cobertura que tiene un nodo (Ancha/Punto de Acceso) en su propagación convirtiéndola en celdas, es decir se toma el radio de propagación de un nodo y se lo transforma en un espacio lleno de rejillas (cuadrados pequeños), esta técnica funciona con un conjunto de nodos (3 o más) que cubran el terreno de estudio para que la geolocalización sea adecuada. (Montiel & Rincón, 2015)



Discretización de la propagación WIFI. Fuente: (Montiel & Rincón, 2015)

Teniendo la discretización del conjunto de nodos se obtiene la geolocalización en el lugar (rejilla) que contenga a la señal de todos los nodos en un solo punto, mientras más pequeñas sean las áreas que cubre una rejilla mejor será la precisión de esta técnica, para lograr esta precisión la potencia de propagación y el nivel de recepción del dispositivo deben altos, es decir que la precisión es directamente proporcional a la propagación de la señal WIFI. (Montiel & Rincón, 2015)

$s_1 = 10^{(P-30)/10}$

Descripción del algoritmo

Sea A el conjunto de antenas iniciales, con $|A|=N$. Conociendo la ubicación y el radio de acción máximo de cada antena, se calcula la rejilla de f (filas) \times c (columnas) celdas, de geometría cuadrada, con lado constante. Esta rejilla se calcula sobre un área rectangular ajustada para que incluya todos los círculos de acción de las antenas iniciales, aumentando potencia máxima de señal en cada una.

Ahora, sea V el subconjunto de antenas visibles al momento de activar la aplicación; con $|V|=n$. $\{s_i\}_i$ denotaremos $\{s_i\}$ fuerza de señal de s_i (en dB) y r_i radio de acción de s_i (en mts.). Con cada s_i es posible calcular el conjunto de celdas C_i cubiertas por la señal emitida por s_i respectivo, dada la celda desde este se sucesora.

Del dispositivo móvil se obtendrá cada t_i (en dB), que corresponde a la Pérdida de Camino (PL - por sus siglas en inglés) referida en Dogan, 2013, donde se describe un modelo común para relacionar PL con la distancia, D (en mts.), del dispositivo receptor a la fuente, para emisores de señal WIFI a 2.4GHz. Dicha fórmula se describe debajo:

$$PL = 41.68 + n \cdot 10 \cdot \log(D)$$

El pseudocódigo del método propuesto, sería como se muestra a continuación:

```

01 Inicializar todas las celdas de la rejilla en 0
02  $CV = \emptyset$ 
03  $C = \emptyset$  - Conjunto de celdas dentro de  $s_1$ 
04  $C_i = \emptyset$ 
05  $C_{total} = \emptyset$ 
06  $PL = \emptyset$ 
07  $\{C_i\}$  - Conjunto de celdas con mayor etiqueta
08 Return P

```

La complejidad computacional del método propuesto dependerá directamente del radio de acción máximo de las antenas iniciales, la cantidad total de estas antenas iniciales y el tamaño de las celdas de la rejilla, otros factores que influyen en esta complejidad serán los métodos usados para obtener el conjunto de celdas dentro de s_i . En cualquier caso, se puede construir un algoritmo de complejidad temporal polinomial, con grado máximo cuadrático respecto al tamaño de la rejilla y lineal sobre la cantidad de antenas iniciales.

Algoritmo de la Triangulación Aproximada. Fuente (Montiel & Rincón, 2015)

ANEXO 15: ELECCIÓN DEL PUNTO DE ACCESO PARA EL PROYECTO

Se detalla las características básicas y específicas de funcionamiento de cuatro equipos diferentes disponibles en el mercado para la elección del Punto de Acceso en el proyecto. Calificación del 1 al 5 sobre los parámetros de funcionamiento aptos para el proyecto

Características	TP-LINK EAP 110 (300 Mbps)	Ubiquiti Loco M2 NanoStation 2.4Ghz	Ubiquiti UniFi Mesh UAP-AC-M	Cisco AIR-CT5502-K9 5502W-8P 250Watts Access Point
Outdoor IP67	5	5	5	5
Estándar de red n	5	5	5	5
Frecuencia 2.4Ghz	5	5	5	5
Tipo de antena Omnidireccional	5	1	5	5
Ganancia antena (3-5) db	3	5	3	4
POE pasivo	5	5	5	3
Potencia de Tx >10 dbm	5	5	4	5
Alcance de 200m de radio	4	4	3	5
Gestionable	5	4	4	5
DHCP	5	5	5	5
VLAN	5	4	4	5
Traffic Shaping	5	5	4	5
Ajuste inalámbrico	4	4	4	5
Sensibilidad de Recepción (Ant)	4	4	4	5
Seguridad Inalámbrica	5	5	3	5
Certificación	5	5	3	5
Costo	5	5	5	5
Total	4,686	4,437	4,313	4,660

Elaborado por: Cristian Cevallos y David Muñoz

Cuadrante Mágico de Gartner para Wired y WLAN



Fuente: www.fortinet.com/solutions/gartner-wired-wireless-lan.html

La elección de Punto de Acceso se basa en las características de funcionamiento que requiere la red WIFI para el proyecto técnico, donde se realiza una calificación del 1 al 5, siendo el Access Point TP-LINK EAP 110 (300 Mbps) Outdoor quien, por características de trabajo, propagación requerida, seguridad, escalabilidad y costo sobre sale ante los demás dispositivos en el mercado. Además, se visualiza el avance tecnológico que tienen las marcas analizadas en este anexo entre el 2018-2019 en el Cuadrante de Gartner (Wired and WLAN), Cisco lidera el mercado, seguido de Tp-Link y Ubiquiti, los dos últimos mencionados gracias a sus nuevos productos ya se encuentran en la competencia con otros proveedores desde el 2019, abarcando mercados de pequeña empresa ideal para este proyecto, por ello se elige al Punto de Acceso TP-LINK EAP 110 OUTDOOR.

Access Point Tp-Link EAP110 OUTDOOR

Punto de Acceso Inalámbrico N a 300Mbps de Exterior EAP110-Outdoor

- Diseñado para aplicaciones Wi-Fi de exterior
- Wi-Fi de hasta 300Mbps con tecnología MU-MIMO 2x2
- Alta transmisión de potencia y antenas de alta ganancia para proporcionar áreas de extensa cobertura
- Cubierta cuadrada y resistente a la intemperie para soportar las intemperias meteorológicas
- Soporta PoE Pasivo Power over Ethernet con sencillo diseño de montaje que permite un despliegue flexible e instalación práctica
- Software Controlador Omada gratuito que permite a los administradores gestionar cientos de APs
- Portal Gestión que proporciona un método práctico de autenticación de invitados
- Autenticación Wi-Fi vía Facebook y SMS ayuda a sostener la red
- Soporta gestión VLAN para una gestión de red mejorada

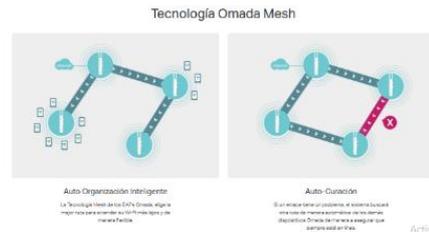
Aprenda más sobre el Controlador Software >

Fuente: www.tp-link.com/es/business-networking/outdoor-ap/eap110-outdoor/#reviews_awards

Configuración de parámetros de funcionamiento y propagación Modo MESH

Fuente: Software Omada Controller v3.2.1 Tp-Link.

Sistema Omada Controller

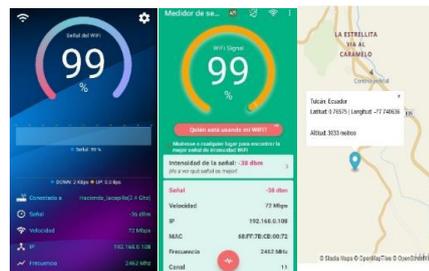


Fuente: www.tp-link.com/es/omada/

ANEXO 16: MEDICIÓN DE COBERTURA EN LA HACIENDA LA CAPILLA

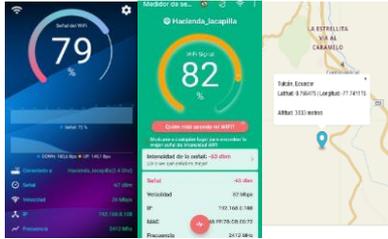
Se extraen los datos de dos medidores de señal WIFI para el AP2 Central para tener un valor cercano a la propagación real del sistema.

Medición de la señal WIFI en la hacienda Ap2 Central.



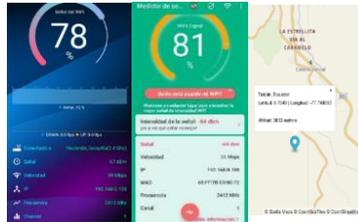
Valores del nivel de la señal utilizando dos medidores de señal WIFI. Elaborado por Cristian Cevallos y David Muñoz.

Medición de la señal WIFI en la hacienda Ap2-Ap1



Valores del nivel de la señal utilizando dos medidores de señal WIFI. Elaborado por Cristian Cevallos y David Muñoz.

Medición de la señal WIFI en la hacienda Ap2-Ap3



Valores del nivel de la señal utilizando dos medidores de señal WIFI. Elaborado por Cristian Cevallos y David Muñoz.

Medición de la señal WIFI en la hacienda del Ap1-Ap3.



Valores del nivel de la señal utilizando dos medidores de señal WIFI. Elaborado por Cristian Cevallos y David Muñoz.

Se observa el estado de conexión del medidor de intensidad en la red WIFI diseñada a un nivel de señal de 81%, con una latencia de (2 a 3) ms en tiempo de respuesta, ocupando un ancho de banda de 29 Kb/s de descarga y 4,2 Kb/s de subida.

Estado de conexión del medidor de intensidad en la red WIFI



Elaborado por Cristian Cevallos y David Muñoz.

ANEXO 17: UMBRAL DE RECEPCIÓN DEL DIPOSITIVO MCU

Alcance Wifi del Dispositivo MCU y medidor WIFI

N° Medición	Distancia (m)	PTX (dBm)	PRX MCU (dBm)	PRX Medidor WIFI (dBm)
1	1	30	-32	-31
2	2	30	-33	-33
3	3	30	-34	-33
4	4	30	-34	-34
5	5	30	-36	-36
6	6	30	-35	-34
7	7	30	-36	-35
8	8	30	-38	-36
9	9	30	-40	-36
10	10	30	-39	-39
11	11	30	-40	-40
12	12	30	-42	-39
13	13	30	-42	-41
14	14	30	-44	-40
15	15	30	-43	-43
16	20	30	-47	-44
17	25	30	-48	-45
18	30	30	-51	-47
19	35	30	-52	-48
20	40	30	-55	-50
21	45	30	-58	-51
22	50	30	-59	-53
23	60	30	-62	-55
24	70	30	-66	-57
25	80	30	-68	-58
26	90	30	-70	-60
27	100	30	-73	-63
28	120	30	-76	-67
29	140	30	-74	-70
30	160	30	-77	-74
31	180	30	-79	-78
32	200	30	-80	-81
33	220	30	-81	-81
34	240	30	-81	-81

Mediciones se realizaron en la Hacienda La Capilla. Elaborado por Cristian Cevallos y David Muñoz.

ANEXO 18: GEOLOCALIZACIÓN POR WIFI Y POR GPS

Precisión de Geolocalización por WIFI y por GPS celular en la ciudad y en la Hacienda



Elaborado por Cristian Cevallos y David Muñoz.

ANEXO 19: ANÁLISIS DE TRÁFICO

Tráfico en Interfaz Web

Interfaz web solicitada desde la IP 192.100.70

```

Wireshark - Endpoints - wireshark_02CF301D-D24F-4C9F-BC84-9982150880E_2020040900316_417864
Ethernet II, IPv4, ICMP, TCP, UDP, SLL
Address      Packets  Bytes  % Packets  % Bytes  Rx Bytes  Latitude  Longitude
13.227.19.42  32       18 k   15         16 k    17       1511      ---
13.227.19.121 10       533   4          228    6        323      ---
182.168.225.65 30      2772  18         1280   20       1512     ---
52.169.87.42  3        162   1          54     2        108      ---
52.177.163.30 12       1397  4          750    8        847      ---
192.168.100.1 26       3322  15         2488   11       934      ---
192.168.100.7 17       2647  17         2647   0         0        ---
192.168.100.11 1        167   1          167    0         0        ---
192.168.100.17 264      4014  195        1814   69       214      ---
192.168.100.70 41       3893  19         1633   22       2260     ---
224.0.0.251  107      10 k   0          0       0         10 k     ---
239.255.255.250 27      4769  0          0       0         4769     ---
  
```

La cantidad de datos que se envía y recibe en la interfaz web de cada dispositivo MCU es de 3893 bytes. Elaborado por Cristian Cevallos y David Muñoz.

Protocolos de conexión para la interfaz web

```

Wireshark - Endpoints - wireshark_02CF301D-D24F-4C9F-BC84-9982150880E_2020040900316_417864
Ethernet II, IPv4, ICMP, TCP, UDP, SLL
Address      Packets  Bytes  % Packets  % Bytes  Rx Bytes  Latitude  Longitude
13.227.19.42  32       18 k   15         16 k    17       1511      ---
13.227.19.121 10       533   4          228    6        323      ---
182.168.225.65 30      2772  18         1280   20       1512     ---
52.169.87.42  3        162   1          54     2        108      ---
52.177.163.30 12       1397  4          750    8        847      ---
192.168.100.1 26       3322  15         2488   11       934      ---
192.168.100.7 17       2647  17         2647   0         0        ---
192.168.100.11 1        167   1          167    0         0        ---
192.168.100.17 264      4014  195        1814   69       214      ---
192.168.100.70 41       3893  19         1633   22       2260     ---
224.0.0.251  107      10 k   0          0       0         10 k     ---
239.255.255.250 27      4769  0          0       0         4769     ---
  
```

Los protocolos para el servicio web TCP y HTTP. Elaborado por Cristian Cevallos y David Muñoz.

Activación de Botón de Pánico desde interfaz Web con IP 192.168.100.70

Ethernet · 9	IPv4 · 11	IPv6 · 7	TCP · 18	UDP · 14					
Address	Packets	Bytes	Tx Packets	Tx Bytes	Rx Packets	Rx Bytes	Latitude	Longitude	
3.13.192.96	9	548	5	301	4	247	---	---	
18.216.25.65	6	429	3	197	3	232	---	---	
20.36.219.28	3	162	1	54	2	108	---	---	
52.177.165.30	8	1028	3	517	5	511	---	---	
192.168.100.1	4	698	4	698	0	0	---	---	
192.168.100.7	6	1002	6	1002	0	0	---	---	
192.168.100.11	1	103	1	103	0	0	---	---	
192.168.100.17	76	7755	54	5470	22	2285	---	---	
192.168.100.70	22	2384	10	1216	12	1168	---	---	
224.0.0.251	25	2443	0	0	25	2443	---	---	
239.255.255.250	14	2564	0	0	14	2564	---	---	

La cantidad de datos que se envía y recibe en la activación del botón de pánico de cada dispositivo MCU es de 2384 bytes. Elaborado por Cristian Cevallos y David Muñoz.

No.	Time	Source	Destination	Protocol
73	12.231479	192.168.100.70	192.168.100.17	TCP
69	18.746999	192.168.100.70	192.168.100.17	HTTP
67	18.748574	192.168.100.70	192.168.100.17	TCP
65	18.759941	192.168.100.70	192.168.100.17	TCP
59	4.469618	192.168.100.70	192.168.100.17	TCP
58	4.443345	192.168.100.70	192.168.100.17	TCP
56	4.441315	192.168.100.70	192.168.100.17	TCP
55	4.432585	192.168.100.70	192.168.100.17	TCP
52	4.439465	192.168.100.70	192.168.100.17	TCP
50	4.427791	192.168.100.70	192.168.100.17	TCP

Los protocolos que se usan para el servicio web es TCP y HTTP. Elaborado por Cristian Cevallos y David Muñoz.

Notificación email enviada desde el MCU Controller

```

[{"time": "2023-10-10 10:00:00", "source": "192.168.100.70", "destination": "192.168.100.17", "protocol": "TCP", "size": 76, "payload": "HTTP/1.1 200 OK (text/html)", "decode": "HTTP"}]
    
```

El contenido enviado a la aplicación Blink es de 114 Bytes. Elaborado por Cristian Cevallos y David Muñoz.

Tamaño del ICMP (Ping) desde el MCU Controller a los dispositivos MCU

Destination	Destination GeoLocation	Protocol	Size	Payload	Decode	Summary
192.168.100.17	Local	ICMP Echo Reply	76	-	-	Echo Reply

Con el Software Colapsot Capsa se identificó que el tamaño del ping es de 156 bytes. Elaborado por Cristian Cevallos y David Muñoz.

ANEXO 20: NODEMCU

Parámetros y características del NodeMCU

1.2. Features

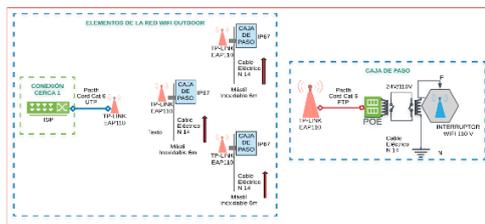
- 802.11 b/g/n
- Integrated low power 32-bit MCU
- Integrated 15.8k ADC
- Integrated TCP/IP protocol stack
- Integrated TR switch, solar, LNA, power amplifier and matching network
- Integrated PLL, regulators, and power management units
- Supports ultra-low density
- WiFi 2.4 GHz, support WPA/WPA2
- Support STA/WiFi SoftAP operation modes
- Support Smart Link Function for both Android and iOS devices
- SDIO 2.0, I2S, UART, I2C, I2S, Remote Control, PWM, GPIO
- STC, 1/1MMQ, 2/1MMQ
- A-MPDU & A-MSDU aggregation & 0-6 guard interval
- Deep sleep power <1uA, Power-down leakage current <5uA
- Wake up and transmit packets in <2ms
- Standby power consumption <1.3uA (DTM)
- >20 dBm output power in 802.11b mode
- Operating temperature range: 0°C ~ 125°C
- FCC, CE, TELEC, WiFi Alliance, and SRRC certified

Category	Item	Value
WiFi Parameters	Coordinates	FCC/CE/TELEC/SRRC
	WiFi Protocols	802.11 b/g/n
	Frequency Range	2.402-2.4835GHz (ISM)
	Tx Power	IEEE 802.11g: +17 dBm IEEE 802.11n: +14 dBm IEEE 802.11ac: +11 dBm (11 dBm)
	Rx Sensitivity	IEEE 802.11g: -78 dBm (84dBm) IEEE 802.11n: -72 dBm (84dBm)
	Type of Antenna	External, External, External Connector
	Neighbor list	UART/SDIO/GPIO/USB/RS485/Remote Control
	Operating Voltage	3.3-3.6V
	Operating Current	Normal mode: 100mA
	Operating Temperature Range	40° ~ 125°
Hardware Parameters	Ambient Temperature Range	Normal temperature
	Package Size	3x5mm
	External Interface	UART
Software Parameters	WiFi mode	station/softAP/STA+softAP
	Security	WPA/WPA2
	Encryption	IEEE 802.11e
	Remote Upgrade	UART Download / OTA (via network)
	Software Development / SDK	Supports Cloud Server Development / SDK for custom hardware development
Network Protocols	IPV4, TCP/UDP/HTTP/FTP	

Fuente: https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/2471/0A-ESP8266_Datasheet_EN_v4.3.pdf

ANEXO 21: ELEMENTOS DEL SISTEMA

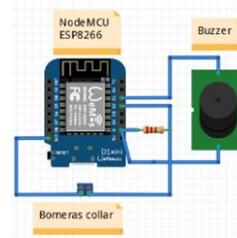
Elementos que conforma la Red WIFI Outdoor diseñada



Elaborado por: Cristian Cevallos y David Muñoz.

Elementos que conforma el Dispositivo MCU

Conexión de elementos con el NodeMCU



Elementos que conforma el Dispositivo-MCU

- NodeMCU
- Collar plástico para vacas
- Buzzer
- Batería Solar Recargable
- Regulador 7805
- Bornera Doble
- Baquelita 5 x 7 cm
- Caja Hermética contra golpes Transparente pequeña 11,7 x 6,2 x 4,3 cm

Elementos que conforma el Dispositivo MCU-CONTROLLER

- NodeMCU
- Caja Hermética contra golpes transparente
- Cargador de 5V

Elaborado por: Cristian Cevallos y David Muñoz

ANEXO 22: ANALISIS DE PRESUPUESTO

Presupuesto de implementación de los dispositivos MCU y MCU Controller

DISPOSITIVO-MCU				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	NodeMCU placa ESP-8266	50	\$8,00	\$400,00
2	Sistema de Baterías Solar 5000 mA	50	\$8,00	\$400,00
3	Buzzer	50	\$0,25	\$12,50
4	Regulador a 5v L7805	50	\$0,75	\$37,50
5	Borneras dobles	50	\$0,25	\$12,50
6	Collar de Plástico	50	\$4,00	\$200,00
7	Alambre Sólido #14 1.5 m	50	\$0,30	\$15,00
8	Placa baquelita 50 mm x 70 mm	50	\$1,00	\$50,00
9	Caja Impermeable y contra golpes	50	\$15,00	\$750,00
SUBTOTAL			\$37,50	\$1877,50
MCU-CONTROLLER				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	NodeMCU placa ESP-8266	1	\$8	\$8
2	Cargador 5V	1	\$5	\$5
3	Caja de Protección	1	\$15	\$15
SUBTOTAL			\$28	\$28

Elaborado por: Cristian Cevallos y David Muñoz

Presupuesto del sistema inalámbrico WIFI Outdoor

ITEM	Material	Descripción	C	V c/u (\$)	P N (\$)
1	Access Point Outdoor	TP-LINK EAP 110 (300 Mbps)	4	47	188
2	Mástil inoxidable 6m	TUBO CONDUIT EN TI GALVANIZADO 3 PULGADAS Diámetro X 6MTS con base + Anclaje para mástil (triple)	2	40	80
3	Cable Eléctrico N 14 Rizado Exterior	100 m Cable Eléctrico Sólido N. 14 Escalable 3Línea	1	19	19
4	Caja de paso sellada ip67	Caja Termoplástica 280x190x130mm Lisa Ip67 IK08 2al/2035 Abs	3	5	15
5	Patch Cord Cat 6 Exterior	Cable De Red Neorx 5 m/p Patch Cord Cat 6a S/ B	4	9	27
6	Patch Cord Cat 6	Cable De Red Neorx Patch Cord Cat 6a 20ft	1	12	12
7	Toma corriente 110 v WIFI	Tomacorriente Inteligente Domotica WIFI Via Internet	3	8	24
Valor Total					365

Elaborado por: Cristian Cevallos y David Muñoz