



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

TEMA:

**“SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍA LORA
PARA LA PREVENCIÓN DE ABIGEATO EN LOS SECTORES RURALES
DEL CANTÓN MONTÚFAR”**

AUTOR: GUACHÁN VILLARREAL CRISTIAN ARMANDO

DIRECTOR: MSC. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ AYALA

IBARRA - ECUADOR

2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CEDULA DE IDENTIDAD:	0401882097
APELLIDOS Y NOMBRES:	Guachán Villarreal Cristian Armando
DIRECCIÓN:	Nicanor Gavilánez y Manuel J. Bastidas San Gabriel – Ecuador
EMAIL:	caguachanv@utn.edu.ec
TELEFONO:	0981843501

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“Sistema de geolocalización mediante tecnología lora para la prevención de abigeato en los sectores rurales del cantón Montúfar”
AUTOR:	Guachán Villarreal Cristian Armando
FECHA:	10 de julio del 2023
PROGRAMA:	Pregrado
TITULO POR EL QUE OPTA	INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN
ASESOR/DIRECTOR	MSc. Carlos Alberto Vásquez Ayala

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 10 días de mes julio del 2023

AUTOR:



Cristian Armando Guachán Villarreal



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

MSC. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ, DIRECTOR DEL PRESENTE
TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICA:

Que, el presente trabajo de titulación denominado: **“SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍA LORA PARA LA PREVENCIÓN DE ABIGEATO EN LOS SECTORES RURALES DEL CANTÓN MONTÚFAR”**, ha sido desarrollado por el señor: **GUACHÁN VILLARREAL CRISTIAN ARMANDO** con número de cédula **0401882097**, bajo mi supervisión.

Es todo lo que puedo certificar en honor a la verdad.

Atentamente



Firmado electrónicamente por:

CARLOS
ALBERTO
VASQUEZ
AYALA

MSc. Carlos Alberto Vásquez Ayala.

DIRECTOR

DEDICATORIA

DEDICADO:

A mis padres, Armando y Patricia quienes con su esfuerzo y sacrificio hicieron posible cumplir mis objetivos, superando juntos todas las adversidades que se nos presentaron, ustedes son mi guía y apoyo incondicional en todo momento de mi vida.

A mi hijo Joshua y mi compañera de vida Anita mi equipo favorito, son mi presente y futuro, lo más bonito e importante de mi vida, quienes me brindan de las fuerzas necesarias para seguir adelante en el día a día.

A mis hermanos, que con sus palabras de aliento supieron motivarme y darme fuerzas para no rendirme y seguir adelante a pesar de las adversidades en el transcurso de mi vida y de mi carrera universitaria.

Cristian Guachán Villarreal

AGRADECIMIENTO

AGRADEZCO:

A mis padres Armando y Patricia por todos los sus consejos, su tiempo, su sabiduría que aportaron en mi formación personal y profesional

A toda mi familia, en especial a mis tíos Fermín y Carmen quienes les considero como mis padres por su cariño y apoyo incondicional brindado durante mi etapa como estudiante universitario

A mi director de tesis, Ing. Carlos Vásquez, a mi asesor Ing. Fabian Cuzme, por el tiempo y la ayuda brindada a lo largo del desarrollo de este proyecto

A mis amigos, Alexander, Ronald, Sheily, Naty, Luis, Gabriel, Yady, por los años compartidos, apoyándonos, y dándonos ánimos para salir adelante en las dificultades que se presentó durante nuestra carrera universitaria.

Cristian Guachán Villarreal

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el desarrollo de un sistema de geolocalización para prevenir el abigeato en los sectores rurales del cantón Montúfar, además proporcionar una plataforma para la identificación y manejo reproductivo bovino, aportando así un sistema que contribuirá al sector ganadero del cantón. Para alcanzar satisfactoriamente los objetivos planteados, fue necesario identificar la necesidad y el problema, a partir de este buscar y plantear una solución práctica. Se establecieron los objetivos y el diseño metodológico, se realizó la selección de las tecnologías a utilizar, seleccionando diferentes dispositivos que mejor se acoplen a la solución.

El sistema se desarrollará mediante el uso de la tecnología Lora para la comunicación entre el nodo móvil que es el encargado de proporcionar la ubicación del bovino, y el gateway el cual enviará esta información a un servidor IoT para posteriormente ser visualizada a través de una plataforma web y una aplicación móvil. En estas se mostrará la ubicación actual del bovino y se emitirá una alerta al propietario o encargado del ganado en caso de existir posible abigeato, de la misma manera dentro de la plataforma se proporcionará una sección para la identificación y manejo reproductivo bovino con alertas oportunas para lograr eficiencia reproductiva.

En el desarrollo del sistema propuesto se usará la metodología en cascada el cual establece cinco etapas que nos ayudaran a ordenar el proceso para el avance y medición del progreso del proyecto de manera secuencial. En la tercera y cuarta etapa de la metodología establece la implementación y verificación del sistema en un entorno real, el cual se realizará sobre dos objetos de prueba en un sector rural del cantón Montúfar para la evaluar la precisión de la ubicación del bovino y las alertas generadas en caso de posible abigeato y la eficiencia del manejo reproductivo bovino.

ABSTRACT

The present project consists of the development of geolocalization system to prevent cattle rustling in the rural sectors of Montúfar Canton. In addition, provide a platform for bovine identification and reproductive management, as a result, a system that will contribute to the livestock sector of the canton. To successfully achieve the objectives set, it was necessary to identify the need and the problem from this search and propose a practical solution. The objectives and methodological design were established, the selection of the technologies to be used was made selecting different devices that best fit the solution.

The system will be developed by Lora technology for communication between the mobile node that is responsible for providing the location of the cattle and the gateway which will send this information to an IOT server to later be visualized through a web platform and a mobile application. These tools will show the current location of the cattle and issue an alert to the owner or the manager of the cattle. If there is a possible cattle rustling, in the same way within the platform a section will be provided for bovine identification and reproductive management with timely alerts to achieve reproductive efficiency.

In the development of proposed system, the cascade methodology will be used, which establishes five stages that will help us order the process for the advancement and measurement of the project process in a sequential procedure. In the third and fourth stage of the methodology, it establishes the system implementation and verification in a real environment, which will carried out in two test objectives in a rural sector of Montúfar Canton to evaluate the cattle's location accuracy and the alerts generated in case of possible cattle rustling and the efficiency of bovine reproductive management.

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS

IATF: Inseminación Artificial a Tiempo Fijo.

IA: Inseminación Artificial.

BPA: Buenas Prácticas Agrarias.

GnRH: Hormona liberadora de gonadotropina.

eCG: Gonadotrofina Coriónica Equina.

PGF2a: Prostaglandina.

LoRaWan: Long Range Wide Area Network.

GPS: Sistema de Posicionamiento Global.

P4: Progesterona.

BE: Benzoato de estradiol.

CE: Cipionato de estradiol.

HTTP: HyperText Transfer Protocol.

Abigeato: Hurto de ganado.

Bovino: De la vaca, el toro o el buey, o relacionado con ellos.

Anestro: Período después del parto durante el cual las vacas no muestran señales conductuales de estro.

Endógenos: Que se origina por causas internas.

Exógenos: Que se debe a causas externas.

Estro: Período durante el cual las hembras de la clase mamíferos están receptivas sexualmente.

Puerperio: Período de tiempo que dura la recuperación completa del aparato reproductor después del parto.

Hato: Conjunto de animales de ganado mayor o menor.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	I
CERTIFICACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS	VII
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
INDICE DE FIGURAS	XII
CAPITULO I ANTECEDENTES.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PROBLEMA	2
1.3. OBJETIVOS	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. ALCANCE.....	3
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	6
CAPÍTULO II REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
2.1. GANADERÍA	7
2.1.1. Tipos de ganadería según el ganado	8
2.2. GANADERÍA BOVINA	9
2.2.1. Reproducción Bovina	10
2.2.2. Importancia de la reproducción bovina	11
2.3. FACTORES QUE INCIDEN EN LA EFICIENCIA REPRODUCTIVA	12
2.3.1. Factores nutricionales	12
2.3.2. Factores ambientales.....	13
2.3.3. Factores genéticos.....	13
2.3.4. Factores de manejo reproductivo.....	13
2.4. MANEJO REPRODUCTIVO	14
2.4.1. Manejo de registros	15
2.5. MÉTODOS DE MANEJO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA REPRODUCTIVA EN HATOS LECHEROS.....	16
2.5.1. Ecografía en vacas postparto	16
2.5.2. Protocolos más utilizados para Inseminación Artificial a Tiempo Fijo (IATF)	16
2.6. ABIGEATO	19
2.6.1. Abigeato en el Ecuador.....	19
2.7. LORA Y LORAWAN.....	20

2.7.1.	Clases de dispositivos LoRaWAN	21
2.7.2.	Arquitectura LoRaWAN.....	22
2.7.3.	Escalabilidad en las redes de LoRa	24
2.7.4.	Geolocalización con LoRa.....	24
2.7.5.	Seguridad en redes LoRa.....	25
2.7.6.	Limitaciones de uso	26
2.7.7.	Aplicaciones de redes LoRa en ganadería.....	27
2.8.	METODOLOGÍA DE DESARROLLO	28
2.8.1.	Modelo en cascada.....	28
CAPÍTULO III SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍA LORA PARA LA PREVENCIÓN DE ABIGEATO EN LOS SECTORES RURALES DEL CANTÓN MONTÚFAR.....		31
3.1.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA.....	31
3.2.	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	32
3.2.1.	Cantón Montúfar	33
3.2.2.	Calculo muestral.....	36
3.2.3.	Situación actual en el cantón Montúfar entorno al abigeato y manejo reproductivo bovino.....	38
3.3.	FASE 1: REQUISITOS Y REQUERIMIENTOS	39
3.3.1.	Requerimientos del sistema	39
3.3.2.	Nomenclatura de los Requerimientos.....	39
3.3.3.	Requerimientos de Stakeholders	40
3.3.4.	Requerimientos del sistema	42
3.3.5.	Requerimientos de arquitectura.....	43
3.3.6.	Características del sistema.....	44
3.3.7.	Elección de Hardware y Software para el sistema	45
3.4.	FASE 2: DISEÑO DE “SECURE CATTLE”.....	58
3.4.1.	Arquitectura del sistema	59
3.4.2.	Diagrama de bloques general	59
3.4.3.	Bloque Toma de datos	60
3.4.4.	Bloque Recepción de datos	67
3.4.5.	Bloque Tratamiento de la información.....	71
3.4.6.	Bloque de Visualización.....	74
CAPÍTULO IV IMPLEMENTACIÓN Y VERIFICACIÓN DE “SECURE CATTLE”.....		77
4.1.	FASE 3: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	77
4.1.1.	Implementación del Nodo Móvil.....	77
4.1.2.	Implementación del Nodo Central o Gateway	78
4.2.	FASE 4: VERIFICACIÓN DEL SISTEMA	80
4.2.1.	Ubicación de los nodos.....	80
4.2.2.	Cronograma de pruebas	83
4.2.3.	Pruebas en campo	84
4.2.4.	Limitaciones del sistema	96
4.2.5.	Seguridad física del sistema	97
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		98

5.1. CONCLUSIONES	98
5.2. RECOMENDACIONES	99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
ANEXOS	105
ANEXO 1. FORMATO DE ENCUESTA REALIZADA A LOS GANADEROS Y MORADORES DE DISTINTOS SECTORES RURALES DEL CANTÓN MONTÚFAR.	105
ANEXO 2. TABULACIÓN DE ENCUESTAS.....	109
ANEXO 3. CÓDIGO NODO MÓVIL.....	118
ANEXO 4. CÓDIGO NODO CENTRAL (GATEWAY).....	120
ANEXO 5. CÓDIGO VINCULACIÓN DEL NODO CENTRAL CON FIREBASE	121

ÍNDICE DE TABLAS

NÚM DE TABLA	PÁG
Tabla 1. Método y formato para levantamiento de información de la situación actual.	32
Tabla 2. Áreas Rurales del cantón Montúfar	34
Tabla 3. Personas ocupadas en Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca por parroquias	35
Tabla 4. Términos abreviados y acrónimos usados durante el análisis de requerimientos.	39
Tabla 5. Prioridad de los Requerimientos del sistema.....	40
Tabla 6. Listado de stakeholders.	40
Tabla 7. Requerimientos de stakeholders.	41
Tabla 8. Requerimientos del sistema.	42
Tabla 9. Requerimientos de Arquitectura.	43
Tabla 10. Selección del sistema embebido del nodo móvil.....	46
Tabla 11. Características de Arduino Pro-Mini.....	46
Tabla 12. Selección de hardware del módulo GPS.....	47
Tabla 13. Características del módulo GPS seleccionado.....	48
Tabla 14. Selección del hardware para la comunicación.....	49
Tabla 15. Características del Transceptor LoRa Ra-02.....	49
Tabla 16. Selección del hardware del sistema embebido del nodo central.	50
Tabla 17. Características del sistema embebido seleccionado	51
Tabla 18. Selección del software para el nodo móvil.....	52
Tabla 19. Selección del software para el nodo central.	53
Tabla 20. Selección del software para el servidor web	53
Tabla 21. Características del software para el servidor web	54
Tabla 22. Selección de la Base de datos	55
Tabla 23. Características principales de la base de datos seleccionada.....	55
Tabla 24. Selección del software para el sitio web.....	56
Tabla 25. Características del software para el desarrollo del sitio web.....	56
Tabla 26. Selección del software para App móvil.....	57
Tabla 27. Características del software para el desarrollo de la App Móvil.....	58
Tabla 28. Selección de pines Nodo móvil.	61
Tabla 29. Consumo de voltaje y corriente de los dispositivos del módulo móvil.....	66
Tabla 30. Selección de pines Nodo central.....	68
Tabla 31. Consumo de voltaje y corriente de los dispositivos del módulo central	70

INDICE DE FIGURAS

NÚM. FIGURA	PÁG.
Figura 1 Arquitectura del sistema propuesto.....	5
Figura 2 Tipos de ganadería según el ganado.	9
Figura 3 Principales parámetros reproductivos en vacas lecheras.	15
Figura 4 Registro de control reproductivo.	15
Figura 5 Protocolo Convencional con BE.....	17
Figura 6 Protocolo Convencional con CE.....	17
Figura 7 Protocolo de OVSYNCH.....	18
Figura 8 Protocolo J-SYNCH.....	18
Figura 9 Protocolo J-SYNCH con ECG.....	19
Figura 10 Arquitectura de la Red LoRaWAN.....	23
Figura 11 Uso de energía por la combinación de tecnologías.....	25
Figura 12 Diagrama del modelo en cascada.....	29
Figura 13 Nombre y logo del sistema.....	31
Figura 14 Localización del Cantón Montúfar.....	34
Figura 15 Número de cabezas de ganado por parroquia Período 2015 - 2019.....	36
Figura 16 Nodos del sistema.....	45
Figura 17 Arquitectura del Sistema “Secure Cattle”.....	59
Figura 18 Diagrama de bloques general del sistema.....	60
Figura 19 Diagrama de bloques del bloque Toma de datos.....	60
Figura 20 Diagrama del circuito.....	62
Figura 21 Diagrama conexión bloque Toma de datos.....	63
Figura 22 Diseño de la PCB del Nodo Móvil.....	64
Figura 23 Simulación 3D de la placa del Nodo Móvil.....	64
Figura 24 Importación de librerías.....	65
Figura 25 Declaración de pines RX y TX.....	65
Figura 26 Librería LoRa.....	66
Figura 27 Diagrama de bloques del bloque Recepción de datos.....	67
Figura 28 Diagrama conexión bloque Recepción de datos.....	69
Figura 29 Comunicación serial.....	69
Figura 30 Importación de librerías.....	70
Figura 31 Programación de la comunicación serial.....	70
Figura 32 Diagrama de bloques etapa de Tratamiento de información.....	71
Figura 33 Esquema de funcionamiento general de transmisión de datos a la nube.....	72
Figura 34 Estructura de la base datos.....	73
Figura 35 Librerías de Firebase.....	73
Figura 36 Diagrama de bloques etapa de Visualización.....	74
Figura 37 Interfaz plataforma web.....	75
Figura 38 Interfaz App Móvil.....	75
Figura 39 Diagrama de bloques etapa de Alertas.....	76
Figura 40 Alertas generadas por el sistema.....	77
Figura 41 Case protector del nodo.....	78
Figura 42 Nodo móvil adherido al collar.....	78
Figura 43 Nodo central.....	79

Figura 44	Circuito receptor LoRa.....	79
Figura 45	Ubicación de los nodos	80
Figura 46	Ubicación nodo central	81
Figura 47	Ubicación circuito receptor LoRa	82
Figura 48	Implementación de “Secure Cattle”	83
Figura 49	Zona segura.....	85
Figura 50	Datos visualizados localmente.....	85
Figura 51	Datos en Firebase	86
Figura 52	Bovinos dentro de la zona segura	87
Figura 53	Ubicación del bovino en la Aplicación móvil.....	88
Figura 54	Ubicación del bovino en la plataforma Web.....	88
Figura 55	Punto de referencia.....	89
Figura 56	Nodo dentro de la zona segura.....	90
Figura 57	Nodo fuera de la zona segura.....	90
Figura 58	Bovinos fuera de la zona segura	91
Figura 59	Notificación de posible abigeato.....	92
Figura 60	Ubicación de bovino fuera de la zona segura	92
Figura 61	Registro de animales.....	93
Figura 62	Ecografía bovina	94
Figura 63	Registro de Ecografía.....	94
Figura 64	Selección manejo reproductivo.....	95
Figura 65	Protocolos IATF.....	96

CAPITULO I ANTECEDENTES

1.1. Introducción

La constante expansión de las redes inalámbricas y el crecimiento que se ha producido en el desarrollo del campo de las comunicaciones móviles ha motivado la búsqueda de nuevas soluciones de conectividad. Este crecimiento ha sido continuo y se ha producido a un ritmo acelerado, hasta el punto de que se ha desarrollado una tecnología IoT centrada en LoRaWAN (Long Range Wide-area network).

La tecnología LoRa engloba la disponibilidad de trabajar en diferentes frecuencias y zonas en las que no existe una cobertura fija, la tecnología también abarca el estudio y su implementación en diversas zonas (urbanas, rurales y suburbanas). Por ejemplo, en su implementación, esta tecnología puede trabajar en el área meteorológica, en el área de cultivos, en el rastreo, en los estudios ambientales, en el área de la medicina y también en el área ecológica.

Contextualizando el alcance de la tecnología a investigar, se aborda la problemática en el sector ganadero del cantón Montúfar en la provincia del Carchi, ya que presenta una fuerte vulnerabilidad al robo de ganado, y que genera importantes pérdidas económicas y afecta directamente a los grandes, medianos, pequeños ganaderos, así como a la producción del cantón y la provincia.

En Ecuador, el sector agropecuario representa alrededor del 8% del producto interno bruto (PIB) total, del cual alrededor del 7% es atribuible a actividades relacionadas con la acuicultura, la pesca y la ganadería según el Sistema Nacional de Información del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca del Ecuador. Según información proporcionada por la Acuicultura y Pesca del Ecuador. De acuerdo con la información proporcionada por la Encuesta de Superficie y Producción

Agropecuaria Continua, que realiza el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), el sector ganadero está dominado por el ganado bovino con un total de 4,13 millones de cabezas a nivel nacional, seguido del porcino con 1,14 millones de cabezas. Según datos del INEC de junio de 2017, el 28,62% de la población económicamente activa se dedica a la agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca (Alarcón, 2018).

1.2. Problema

La ganadería del Cantón Montúfar constituye una de las primordiales actividades a nivel de la provincia del Carchi. Las personas dedicadas a la actividad ganadera en el cantón fundamentalmente la realizan por trabajo 55%, por costumbre en un 34%, por disponibilidad de tiempo libre en un 5% y por afición en un 6%. (GAD-Montúfar, 2015). Esta información evidencia la importancia de la ganadería en la región, la cual requiere de las mejores alternativas para mantener la competitividad económica de este sector.

El sector ganadero del cantón Montúfar en la provincia del Carchi, presenta una fuerte vulnerabilidad ante el abigeato, generando pérdidas económicas, afectando directamente a los grandes, medianos, pequeños ganaderos, como también la producción del cantón y de la provincia. La falta de tecnificación y control, junto con la brecha tecnológica en la ganadería son las principales causas que conllevan a la mayoría de las problemáticas del sector. Los altos costos de los sistemas tecnológicos dificultan la implementación de estos y en mayor parte para los pequeños productores que no poseen los recursos suficientes para tecnificar.

Esta situación conlleva a la búsqueda de alternativas tecnológicas por parte de los ganaderos para garantizar la seguridad y productividad de sus animales, por ello se habla cada día más de la “ganadería inteligente”. En este sentido, el Internet de las Cosas (IoT), puede constituirse en un aliado para alcanzar este propósito, por ende, los ganaderos

necesitan un sistema para garantizar la seguridad y productividad del hato. Por lo tanto, el sector ganadero del cantón Montúfar requiere de una implementación factible, amigable con el ambiente y el ganado, que permita la geolocalización, costos muy razonables de conexión, disponibilidad, seguridad, entre otros beneficios.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de geolocalización para prevenir el abigeato en los sectores rurales del cantón Montúfar utilizando tecnología LoRa.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar un análisis bibliográfico sobre la tecnología LoRa, sus características y beneficios dentro del sector ganadero.
- Diagnosticar el contexto actual, entorno manejo reproductivo y al abigeato en los sectores rurales del cantón Montúfar.
- Identificar las diferentes características técnicas y funcionales del sistema de geolocalización, mediante el modelo en cascada para obtener los lineamientos del diseño.
- Construir un sistema de geolocalización para prevenir el abigeato en los sectores rurales del cantón Montúfar.
- Ejecutar pruebas de campo para demostrar el funcionamiento del sistema desarrollado.

1.4. Alcance

El presente proyecto se centra en el desarrollo de un sistema de geolocalización para prevenir el abigeato en los sectores rurales del cantón Montúfar, además como valor

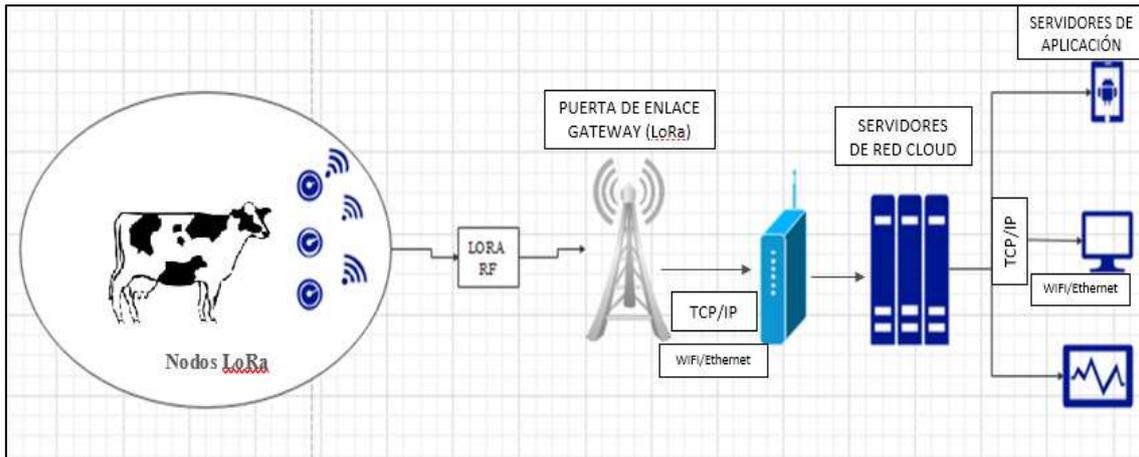
agregado proporcionar una plataforma web para la identificación y el manejo reproductivo bovino, aportando así un sistema que contribuirá al sector ganadero del cantón. El desarrollo del proyecto se realizará mediante la metodología del modelo en cascada, la cual establece 5 etapas que nos ayudan a ordenar el proceso para el desarrollo y medición del progreso del proyecto de manera secuencial.

En la primera etapa de la metodología estable el análisis, en donde se determinará cuáles son las necesidades y requisitos, tanto para software como para hardware que se deben cumplir en el desarrollo del proyecto, para ello se realizara un análisis minucioso y se evaluará en base a comparaciones, y así elegir la mejor opción que sea factible para implementar en nuestro sistema. Asimismo, se plantea realizar un análisis bibliográfico sobre la tecnología LoRa, sus características y beneficios dentro del sector ganadero, además se identificarán los problemas existentes en los sectores rurales del cantón Montúfar entorno al abigeato y al manejo reproductivo bovino, mediante entrevistas y encuestas aplicadas a los moradores de los sectores rurales especialmente a los ganaderos.

La segunda etapa establece el diseño del sistema, se realizará bajo el uso de la tecnología LoRa para la comunicación entre el nodo móvil (módulo GPS, módulo LoRa, fuente de alimentación) y el Gateway el cual enviará esta información a un servidor IoT (Internet de las Cosas) para posteriormente poder ser visualizada a través de una plataforma web y una aplicación móvil, como se describe en la (Figura 1), en la cual se mostrará la ubicación actual y se emitirá una alerta al propietario del hato ganadero en caso de que el bovino atravesase una cerca virtual establecida, de la misma forma dentro de la plataforma se proporcionará una sección para la identificación en donde constará los datos de cada bovino, en el caso de las hembras se implementará el ciclo reproductivo con alertas oportunas para lograr eficiencia reproductiva.

Figura 1

Arquitectura del sistema propuesto.



En la tercera etapa se realizará la implementación del sistema que será mediante una estructura que protegerá al nodo móvil de la humedad y factores externos, al momento del montaje del sistema se ingresarán los datos de identificación y del manejo reproductivo.

En la cuarta etapa de verificación, se la realizará mediante pruebas de campo en un sector rural del cantón Montúfar, sobre un objeto de prueba para evaluar la precisión de la ubicación del bovino y comprobar las alertas generadas al momento de abandonar el cerco virtual, también se evaluará la eficiencia de la plataforma entorno al manejo reproductivo para comprobar el desempeño y funcionalidad del sistema.

En la quinta y última etapa, se analizará los resultados obtenidos de la etapa anterior y se realizará cambios en caso de ser necesario para ajustarse a las necesidades del sistema. Finalmente, se elaborará la documentación de los procesos realizados en el desarrollo del proyecto, estimando conclusiones y recomendaciones sobre resultados obtenidos.

1.5. Justificación

En el sector de la ganadería ecuatoriana prevalece el ganado vacuno con un total nacional aproximado de 4,31 millones de cabezas, lo sigue el ganado porcino con 1,16 millones de cabezas. En el país la raza de ganado vacuno predominante es la mestiza con 1,28 millones de cabezas, equivalentes al 29,77% del total nacional; seguido por la raza criolla con un 24,21%. La producción nacional diaria de leche en el año 2019 fue de 6,65 millones de litros. (INEC-ESPAC, 2020).

La ganadería es la actividad más importante del Cantón, los tipos de ganado producidos en las diferentes parroquias del Cantón Montufar son mayoritariamente ganado vacuno (51%), ganado porcino (23%) y otras especies menores como cuyes y conejos (11%). La producción ganadera principal es la crianza de ganado vacuno (85%) con propósito de leche especialmente con razas criollas, mestizas y razas mejoradas se utilizan en las haciendas principalmente. (GAD-Montúfar, 2015).

La tecnología está cada día más presente en nuestra realidad, siempre con el fin de la simplificación de la vida cotidiana. En el agro se encuentra presente como una aliada del campo. Entre las innovaciones tecnológicas para el agro están las aplicaciones “apps”, el uso de drones y la robótica. (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2017).

En el Título VII del “Régimen del Buen Vivir”, en la Sección Octava, de la Constitución de la República del Ecuador (2008), que se titula “Ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales”, en su artículo 385, literal 3, menciona: “Desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir” (Asamblea Constituyente, 2008).

La información presentada, evidencia la importancia de la ganadería en el país y el cantón, por esta razón, la inversión de los ganaderos en los animales destinados a la producción de carne y de leche, demanda controles efectivos para garantizar la seguridad de los semovientes para su posterior disponibilidad en la producción, disminuyendo la posibilidad del abigeato se aumenta la productividad y competitividad del sector ganadero del Cantón Montúfar. Por tanto, la presente investigación adquiere importancia, actualidad y factibilidad para su realización.

CAPÍTULO II REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El segundo capítulo describe, los conceptos, definiciones y referencias que son necesarias comprender para el desarrollo de la presente investigación. En el cual se basa en explicar temas relacionados con la ganadería, tipos de ganado, parámetros del manejo reproductivo y el abigeato. Por otro lado, se detalla conceptos de la tecnología LoRaWAN, sus características, arquitectura, tipos de clases, seguridad y geolocalización, finalizando con la descripción de la metodología utilizada en el desarrollo de la investigación.

2.1. Ganadería

La industria ganadera es una actividad en la que se crían y utilizan animales, y dependiendo de la especie se pueden obtener productos específicos a partir de la carne y la leche. Según (Ospino & Verastegui, 2018) se practica desde la antigüedad hasta nuestros días y es una acción considerada fundamental para el desarrollo del sector rural, pero para entender la importante construcción de la ganadería, derivamos del verbo “ganar” esto en función de que se debe entender su origen para disponer de una perspectiva completa de su ser. Ante esta apreciación, se hace referencia a la ganadería cuando le agregamos el significado de ganancia de bienes a ese contexto y lo atribuimos

en función del cultivo, generalmente es un mamífero cuadrúpedo, su finalidad es lucrar con la venta de carne, leche o los productos obtenidos de ellos. (Vallejo, 2021).

En este sentido es importante indicar que un ganadero es el nombre de la persona responsable del cuidado y manejo del ganado. Las actividades que se adopten en la ganadería podrán ser contratadas por particulares (contratados) o por propietarios de ganado, por lo que deberán ser gestionadas y ejecutadas por ganaderos a los que se les haya asignado un papel en el proceso de crianza del mismo. (Signi, 2019).

2.1.1. Tipos de ganadería según el ganado

Acorde a (López J. F., 2020) los tipos de ganadería según el ganado se pueden clasificar como se muestra en la Figura. 2.

- **Ganado bovino o vacuno.** Este tipo de actividad se dedica a la cría y comercialización de ganado vacuno, toros, bueyes y terneros. Adaptar la carne y la leche a la demanda local.
- **Ganado Ovino.** La explotación puede estar dedicada a la producción de leche, queso, lana o pieles, de ovejas.
- **Ganado porcino.** Este tipo de actividad se especializa en la cría y comercialización de cerdos, y la producción local tiene como objetivo el aprovechamiento de la carne.
- **Ganadería equina.** Este tipo de actividad se especializa en la cría y comercialización de caballos y yeguas, con el objetivo de producir localmente la movilización, presentación para trabajo.
- **Ganadería aviar.** Este tipo de actividad está dirigida a la crianza y comercialización de aves, y es de producción local para el consumo de su carne y huevos.

Figura 2

Tipos de ganadería según el ganado.



2.2. Ganadería Bovina

La ganadería en el Ecuador es una de las principales actividades del sector agropecuario del país ya que contribuye al abastecimiento de productos cárnicos. Por otro lado, la carne de res es un factor importante que influye en la demanda y el precio de otras carnes debido a los patrones culturales de consumo de varios productos cárnicos (Hidalgo, Vargas, & Vite, 2020).

El ganado vacuno se produce principalmente en las zonas costeras y la Amazonía, y el ganado lechero se produce principalmente en la sierra. Ecuador se caracteriza por estar dividido geográficamente en tres macro regiones. Debido a las diferentes condiciones climáticas en las regiones costera, alta y oriental, y la aplicación permanente de genes (Holstein en la sierra y Brahman en la costa) (Cevallos O. F., 2017).

El sistema de producción ganadera se basa en cómo las personas usan la tierra para la producción ganadera y utiliza un conjunto de recursos y tecnologías interrelacionados para mejorar los niveles de producción. En los últimos años se ha llevado a cabo en las zonas rurales capacitaciones sobre manejo integral de pequeños ganaderos que integran factores ecológicos, sociales, económicos y políticos. Las vacas

representan el 40 % de la producción agrícola mundial, sustentan los medios de subsistencia y la seguridad alimentaria de alrededor de 1300 millones de personas, brindan oportunidades de sustento para la economía familiar doméstica y contribuyen a la creación de empleo y la reducción de la pobreza (Menoscal, 2020).

La ganadería se ha convertido en un pilar fundamental del sector agrícola ecuatoriano ya que contribuye a la vitalidad de la economía rural al abastecer las canastas básicas y los productos cárnicos y lácteos que forman parte de la seguridad alimentaria del país. En cuanto a la existencia de cabezas, a nivel nacional se registraron 4,1 millones de cabezas en 2018, de las cuales el 37% se encuentran en la costa, representando cerca de 3,35 millones de hectáreas de pasto cultivado y 1,12 millones de hectáreas de pasto natural del total de ganado, el 55% son de razas criollas, el 43% son híbridos con Fressia Holstein, Brahaman, etc., y otras sólo en un pequeño número de razas puras para carne, leche y uso mixto (Hidalgo, Vargas, & Vite, 2020).

2.2.1. Reproducción Bovina

En el Ecuador, es necesario señalar algunos conceptos generales respecto a la ganadería. Desde el fomento de la ganadería en la década de 1950, la producción pecuaria se ha centrado en la producción ganadera, principalmente para la exportación (grandes productores) y autosuficiente (pequeños productores) (Salcedo & Guzmán, 2015).

En este sentido, la reproducción es la base para mantener una economía animal completa y sostenible. Los cambios en la fertilidad debido al celo y la prolongación del ciclo reproductivo pueden resultar en una pérdida de tiempo significativa, incluida la reducción de la producción o el cese completo. Con la introducción de la fertilización artificial en las explotaciones lecheras intensivas, el manejo reproductivo cobra mayor

importancia y su finalidad principal es evitar pérdidas de tiempo en el ciclo reproductivo normal del ganado (Marizancén & Pimentel, 2017).

Por ejemplo, la productividad lechera es la excelencia genética del rebaño (fertilización artificial, selección), infraestructura y alimentación efectiva, apropiada y económica para maximizar la expresión genética del rebaño, y el rebaño se basa en el aumento de la masa (mayor número de partos) y, por supuesto, un mayor número de vacas paridas y altos rendimientos de leche como resultado de la promoción del embarazo. La productividad se basa en la reproducción, ya que la mayoría de estos factores dependen directamente de la actividad reproductiva del animal (Horrach, Bertot, Vázquez, & Garay, 2020).

2.2.2. Importancia de la reproducción bovina

En las últimas décadas, la industria ganadera ha cambiado a un ritmo sin precedentes. En las economías de más rápido crecimiento del mundo, la demanda de alimentos derivados de animales está aumentando, y las importantes innovaciones tecnológicas y los cambios estructurales han llevado a aumentos significativos en la producción ganadera (Hidalgo, Vargas, & Vite, 2020).

El desempeño reproductivo de las vacas en las diferentes regiones es extremadamente importante en la planificación de la reproducción y el manejo de los animales. Los rasgos reproductivos suelen ser bajos en herencia. Esto se debe a que es multifactorial, influenciado por muchos genes con patrones genéticos complejos y diferentes factores ambientales, por lo cual el desarrollar esquemas de manejo de producción es necesario para controlar y dar seguimiento (López, Herrera, García, Múnera, & Cerón, 2011).

2.3. Factores que inciden en la eficiencia reproductiva

La aptitud reproductiva de la hembra se ve condicionada por diversos factores tanto endógenos como exógenos. El manejo reproductivo es uno de los factores que mayor impacto tienen sobre la productividad y eficiencia económica en el sistema de producción de ganado tanto de carne como lecheros. (Capdevila, 2020)

Teniendo en cuenta que el objetivo principal dentro de un hato lechero es obtener un ternero por vaca por año, no se deben evitar ciertos aspectos sobre los factores que a continuación se detallan:

2.3.1. Factores nutricionales

Según (Miura y Casaro, 1999) es reconsiderando el aspecto nutricional como uno de los relevantes ya que influye en la subalimentación y sobrealimentación conllevando consigo efectos perjudicables para la reproducción.

El estado nutricional del vacuno es considerado como la Condición Corporal (CC) por lo cual permite basar en un examen de evolución peso y medida viva durante el periodo de desarrollo predeterminado permitiendo así mantener un control adecuado en su alimentación, siendo utilizada como herramienta predictiva para fomentar estrategias y toma de decisiones.

La importancia del control en la CC de los bovinos es reiniciar el ciclo de parto donde se considera que la condición corporal en parto es 3 a 3,5 en una escala de 1-5 donde 1 refiere a desnutrición y 5 refiere a obesidad, evidente el grado de nutrición afecta la productibilidad, el crecimiento y el grado de desarrollo dando como consecuencia un bovino improductivo.

2.3.2. Factores ambientales

Los factores ambientales pueden afectar de manera directa e indirecta según la ubicación geográfica, temperaturas climáticas altas, bajas, humedad, radiación UV, recayendo en la reproducción animal. Donde redonda también el aspecto de tensión nerviosa (Estrés), el nivel calorífico implicando la fertilidad.

Para el desarrollo y productividad los animales requieren tener acceso continuo a fuentes de agua dulce, fresca y limpia, el alto nivel de temperatura ambiente incrementa el consumo de al menos un 20% a 30% de lo habitual, el consumo en condiciones normales por animal es de 3 a 5 lts / kg de materia seca consumida y en lactancia un consumo adicional de 1.25 a 1.3 lts por litro de leche.

2.3.3. Factores genéticos

El productor es quien analiza y determina la raza considerando las instalaciones y manejo con la finalidad de disminuir el riesgo de temperamento, con lo cual reduce el estrés animal, este factor clave asegura maximizar la eficiencia productiva.

Considerando los aspectos relevantes de pesos, raza, aptitud maternal, mansedumbre y vigor es la clave en el contexto de la ganadería y la práctica de la reproducción de carne y/o lecheros.

2.3.4. Factores de manejo reproductivo

Las Buenas Prácticas Agrarias (BPA) han proporcionado información respecto al manejo de animales, previo y durante el servicio, durante el transporte y demás manejos que deban hacerse para disminuir el estrés. Es decir, el bienestar de la hembra reproductora contribuye a su expresión como vientre. (Capdevila, 2020)

El manejo reproductivo juega un rol importante en el incremento de las utilidades del hato lechero permite aprovechar al máximo la capacidad productiva de los animales.

Una práctica no menos importante debe ser categorizar los animales por sexo, edad de esta manera disminuirían los problemas ocasionados por dominancia entre ellos.

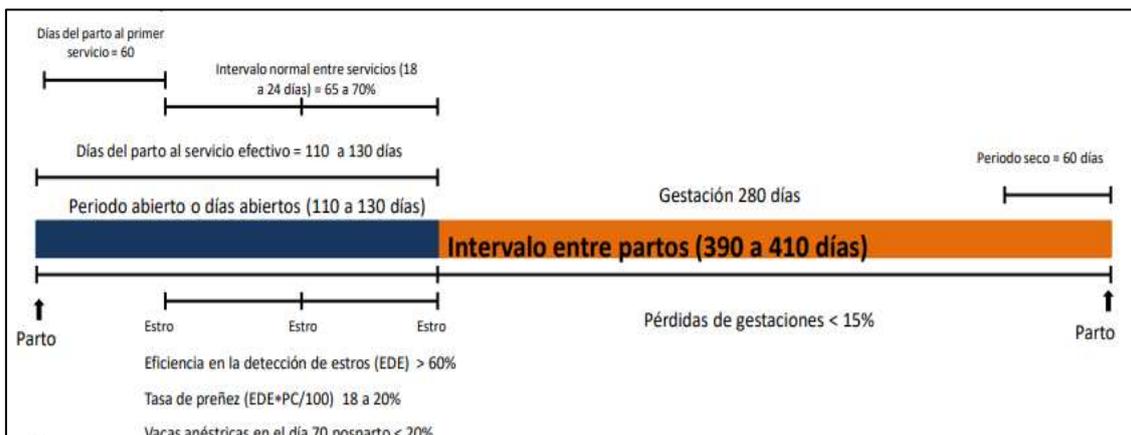
2.4. Manejo reproductivo

El manejo reproductivo de cualquier hato bovino se fundamenta en un programa de diagnóstico, control reproductivo y buenos registros, donde existan visitas periódicas de parte de un veterinario para tomar decisiones, con apoyo del propietario. La mayoría de las vacas bien manejadas deben empezar sus ciclos entre la 2^a y 4^a semanas postparto. En vacas que han experimentado problemas de salud durante el parto o que se encuentran en balance energético negativo se prolonga el retorno al ciclo reproductivo. (Sánchez, 2010)

El puerperio se define como el periodo comprendido entre el parto y la presentación del primer estro fértil. Durante el puerperio ocurren dos procesos: la involución uterina y el inicio de actividad ovárica posparto. En teoría como nos muestra la (Figura 3) para lograr una eficiencia reproductiva óptima, la vaca debe eliminar la placenta en las primeras 12 horas posparto, la involución uterina y la regeneración del endometrio se deben completar a más tardar el día 40 posparto y la vaca debe estar ciclando regularmente en el día 35 posparto. (Cerón, 2013)

Figura 3

Principales parámetros reproductivos en vacas lecheras.



Fuente: (Cerón, 2013)

2.4.1. Manejo de registros

El manejo reproductivo comienza con una previa identificación del ganado y con el registro de la información en tarjetas reproductivas (Figura 4). La tarjeta reproductiva facilita la captura y manejo de la información; en algunos hatos toman la información en libretas o en hojas tabuladas y después la capturan en la computadora. Independientemente del sistema de registro de la información, ésta debe ser clara y confiable. (Cerón, 2013)

Figura 4

Registro de control reproductivo.

REGISTRO DE CONTROL REPRODUCTIVO													
Nombre del propietario						Provincia							
Comunidad/ Fundo						Distrito							
Sector													
Descripción del animal					Servicios de Inseminación Artificial								
N°	Nombre de la vaca y/o N° arete	Raza	Edad	Último parto	Inicio de celo		Fin de celo		1er servicio	2do servicio	3er servicio	Fecha probable de parto	Observaciones
					Fecha	Hora	Fecha	Hora	Semen	Semen	Semen		

Fuente: (Naveros Flores & Huanca Mamani, 2014)

Para desarrollar un programa de inseminación artificial, debe tenerse registros adecuados con información útil y que sirva para realizar evaluaciones prácticas de control reproductivo, esta debe contener entre otras la siguiente información: control de celos y servicios, control de preñez, control de gestación y parto, control de alteraciones ginecológicas, tratamientos, entre otros. (Naveros Flores & Huanca Mamani, 2014)

2.5. Métodos de manejo para mejorar la eficiencia reproductiva en hatos lecheros

2.5.1. Ecografía en vacas postparto

La revisión posparto es una actividad en la que interviene el veterinario encargado en la atención del hato. A todas las vacas se debe hacer un examen ginecológico mediante ecografía a partir del día 30 posparto y se deben aplicar los tratamientos correspondientes hasta que el útero se encuentre sano y atender oportunamente problemas del puerperio. Después del parto se presentan algunas patologías que retrasan la involución uterina y, por consiguiente, afectan el intervalo del parto al primer servicio. (Cerón, 2013)

2.5.2. Protocolos más utilizados para Inseminación Artificial a Tiempo Fijo (IATF)

Acorde a (Cattaneo, 2020) los protocolos más utilizados para IATF se muestran a continuación:

2.5.2.1. Protocolo Convencional con Benzoato (BE)

Día 00: Dispositivo + 2 ml de Benzoato Estradiol

Día 08: Retirar Dispositivo + 2 ml de Prostaglandina

Día 09: (24 h de retirado el Dispositivo) + 1 ml de Benzoato Estradiol.

Día 10: (52-56 h): IATF

Figura 5

Protocolo Convencional con BE.



Fuente: (Cattaneo, 2020)

2.5.2.2. Protocolo Convencional con Cipionato (CE)

Día 00: Dispositivo + 2 ml. de Benzoato Estradiol.

Día 08: Retirar Dispositivo + 2 ml. de Prostaglandina + 1 ml. de Cipionato Estradiol.

Día 10: (48 horas de retirado el Dispositivo): IATF

Figura 6

Protocolo Convencional con CE.



Fuente: (Cattaneo, 2020)

2.5.2.3. Protocolo de OVSYNCH

Día 00: Dispositivo + 2,5 ml. de Gonadorelina

Día 07: Retirar Dispositivo + 2 ml. de Prostaglandina

Día 9: 2,5 ml. de Gonadorelina (48 hs de aplicado Prostaglandina).

12-16 hs pos Gonadorelina: IATF

Figura 7

Protocolo de OVSYNCH



Fuente: (Cattaneo, 2020)

2.5.2.4. Protocolo J-SYNCH

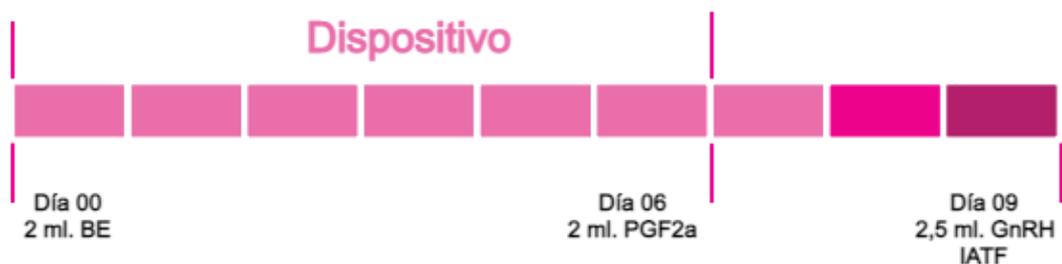
Día 00: Dispositivo + 2 ml de Benzoato Estradiol

Día 06: Retirar Dispositivo + 2 ml de Prostaglandina

Día 09: 2,5 ml de gonadorelina: IATF

Figura 8

Protocolo J-SYNCH



Fuente: (Cattaneo, 2020)

2.5.2.5. Protocolo J-SYNCH con ECG

Día 00: Dispositivo + 2 ml de Cipionato Estradiol

Día 08: Retirar Dispositivo + 2 ml de Gonadotrofina Coriónica Equina

Día 09: (24 h de retirado el Dispositivo) + 1 ml de Cipionato Estradiol.

Día 10: (30-34 h): IATF

Figura 9

Protocolo J-SYNCH con ECG



Fuente: (Cattaneo, 2020)

2.6. Abigeato

El Abigeato consiste en el robo o hurto de animales de cría (cuatrерismo), 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. (Cevallos & Muñoz, 2020)

2.6.1. Abigeato en el Ecuador

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)

2.7. LoRa y LoRaWAN

La tecnología LoRa es un tipo de modulación de la capa física basada en el Chirp Spread Spectrum (CSS), que consiste en el uso de una señal chirp. Este método consiste en aumentar (upchirp), o disminuir (downchirp), la frecuencia de una señal sinusoidal durante un periodo de tiempo, utilizando todo el ancho de banda asignado al canal; esto permite aumentar la resistencia a las señales de interferencia, y también reducir el desvanecimiento de la señal debido a la propagación multitrayecto. Al tratarse de un estándar LPWAN, es posible reducir la velocidad de datos, siempre que haya rangos de comunicación más amplios (Heredia Rivadeneira & Lucero Andrade, 2021).

LoRaWAN es una especificación de red LPWAN desarrollada y mantenida por la LoRa Alliance, una asociación abierta creada en 2015 con más de 500 empresas comprometidas con el despliegue de redes LPWAN a gran escala utilizando el estándar abierto LoRaWAN. Entre estos miembros se encuentran reconocidas empresas como: CISCO, HP, IBM, Semtech, entre otras. Según la Alianza LoRa, las implementaciones de LoRaWAN (incluyendo las públicas, las privadas y las de la comunidad abierta) están ya presentes en 157 países (Lora Alliance, 2020).

LoRaWAN es una arquitectura de red de área amplia inalámbrica de largo alcance. Los protocolos para este tipo de red se han desarrollado recientemente para su uso en diferentes aplicaciones. La arquitectura está diseñada para dispositivos de bajo consumo energético, generalmente utilizados en el desarrollo de aplicaciones relacionadas con el Internet de las Cosas IoT y el Internet Industrial de las Cosas IIoT. Una red LoRaWAN tiene una topología conocida como: Estrella de Estrellas, compuesta por cuatro elementos

principales: dispositivos finales (nodos), pasarelas, servidor de red y un servidor de aplicaciones. Los dispositivos finales suelen estar formados por sensores o actuadores, que comparten la información adquirida con la pasarela, haciendo uso de la capa física LoRa a través de nodos o motes (Heredia Rivadeneira & Lucero Andrade, 2021).

2.7.1. Clases de dispositivos LoRaWAN

LoRaWAN tiene varias clases diferentes de dispositivos end-points para atender las diferentes necesidades en la amplia gama de aplicaciones, estos se especificarán a continuación:

Clase A

Dispositivos finales bidireccionales (clase A): Permiten tener una comunicación mediante una transmisión a través de dos ventanas de recepción de forma ascendente y para lo cual lo más esencial es que sean bidireccionales con una pequeña variación basada en una base temporal aleatoria (Buestán Vera, 2019).

Son los dispositivos con menor consumo de energía porque la mayor parte del tiempo permanecen inactivos; sólo se despiertan cuando tienen que informar de algo al servidor. Todos los dispositivos finales deben implementar las características de esta clase, lo que resulta útil en situaciones en las que es necesario enviar datos en intervalos de tiempo determinados, pero no en aquellas en las que se requiere que los nodos funcionen como actuadores (Avila Cueva & Parra Ordóñez, 2020)

Clase B

Dispositivos finales bidireccionales con ranuras de recepción programadas (clase B): La gran ventaja que aporta la clase B es la recepción a través de ventanas en horarios programados y a su vez la recepción de una notificación para saber cuándo el dispositivo final está escuchando (Buestán Vera, 2019).

Aparte de las dos ventanas de recepción que abre el modo de funcionamiento de clase A, estos dispositivos abren ventanas adicionales a horas determinadas. Esto, además de dotar al nodo de una mayor capacidad de enlaces descendentes, genera un mayor consumo de energía en su batería. La comunicación funciona mediante un proceso denominado beaconing, que consiste en el envío, por parte de las pasarelas, de balizas o beacons sincronizados en el tiempo a los nodos finales, con el objetivo de que el servidor sepa en qué momento está activo el dispositivo final (Avila Cueva & Parra Ordóñez, 2020).

Clase C

Dispositivos finales bidireccionales con ranuras de recepción máximas (Clase C): En la recepción de datos tiene la capacidad de estar continuamente abierto y de cerrarse cuando está transmitiendo (Buestán Vera, 2019).

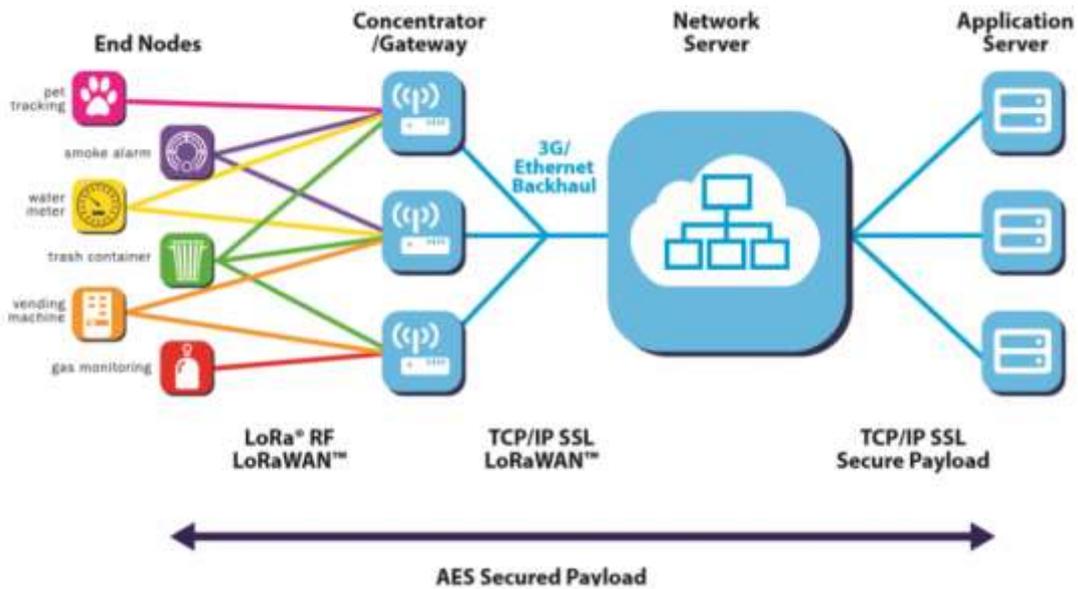
Un nodo de clase C está casi siempre a la escucha de las transmisiones de enlace descendente, y sólo cierra la ventana de recepción cuando necesita enviar un nuevo mensaje. Estos dispositivos abren dos ventanas, igual que los de clase A, sólo que esta vez la segunda ventana permanece abierta indefinidamente para recibir mensajes del servidor. A diferencia de las clases anteriores, un dispositivo de clase C ofrece una menor latencia a costa de un mayor consumo de energía (Avila Cueva & Parra Ordóñez, 2020).

2.7.2. Arquitectura LoRaWAN

Una red LoRaWAN normalmente se encuentra implementada en una topología de tipo estrella. Los elementos claves que conforman su arquitectura son: nodos finales, puertas de enlaces, un servidor de red y un servidor de aplicación. La siguiente Figura 10, presenta la interacción de estos componentes.

Figura 10

Arquitectura de la Red LoRaWAN



Fuente: (Rivas, 2021)

El funcionamiento básico de la red LoRaWAN es el siguiente (Avila Cueva & Parra Ordóñez, 2020):

1. Un nodo final, provisto de sensores, envía un mensaje a una o varias puertas de enlace mediante una comunicación inalámbrica LoRa.
2. Las puertas de enlace, que se encuentren dentro del alcance del nodo, reciben el mensaje y mediante una conexión IP lo reenvían hacia el servidor de red.
3. El servidor de red recibe los paquetes de las puertas de enlace y gestiona la duplicación de los mismos. Además, se encarga de determinar que puerta de enlace posee el mejor indicador de intensidad de señal recibida (RSSI).
4. Una vez filtrado el paquete, el servidor de red lo envía al servidor de aplicaciones adecuado, quien se hace cargo de preparar los datos para que el usuario final pueda usarlos en su implementación.

5. De manera opcional, el servidor de aplicación podría requerir enviar una respuesta al nodo que emitió el mensaje. Para ello, el servidor de red utilizará la puerta de enlace escogida en el punto 3.

2.7.3. Escalabilidad en las redes de LoRa

Estos dispositivos, combinados con el avance de las nuevas tecnologías de comunicación inalámbrica, nos dan la posibilidad de desplegar diferentes tipos de nodos que conforman Redes de Sensores aplicados en diferentes áreas, para obtener datos y poder realizar operaciones. Entre las características de las redes de sensores podemos nombrar (Medina, Romero, De Giusti, & Tinetti, 2018):

- Baja tasa de transferencia
- Limitación en la alimentación o bajo consumo de los nodos sensores
- Alimentación por baterías
- Escalabilidad y/o gran cantidad de nodos

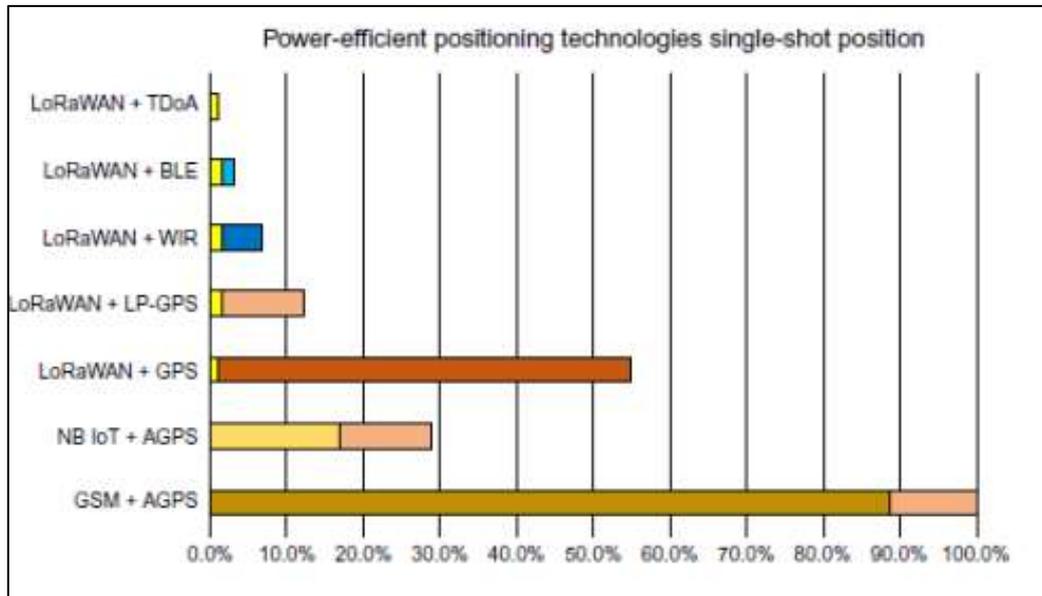
Los nodos sensores son pequeñas unidades compuestas por un microcontrolador, uno o varios sensores, un módulo de energía, un módulo de comunicación y, en algunos casos, actuadores. Estos nodos tienen como función principal la recogida y transmisión de datos para el control centralizado (Medina, Romero, De Giusti, & Tinetti, 2018).

2.7.4. Geolocalización con LoRa

Como se ilustra en la Figura 11, existen numerosas combinaciones tecnológicas potenciales que servirán para satisfacer la necesidad de geolocalización. Las barras horizontales indican cuánta energía es necesaria, traducida en el tamaño de la batería o en la frecuencia de sustitución de la misma, que son ambos impulsores clave del coste total de propiedad de la geolocalización. (Quispe Robles, 2021)

Figura 11

Uso de energía por la combinación de tecnologías



Fuente: (Quispe Robles, 2021)

La triangulación basada en la diferencia de tiempo de llegada (TDoA) es una característica atractiva de las redes LoRaWAN, gracias al ancho de banda relativamente amplio de los canales de LoRa (125 kHz o más), que permite marcar la hora de los paquetes con una precisión de nanosegundos. Como no se requiere ningún tipo de procesamiento en el dispositivo, se trata con mucho de la tecnología de mayor eficiencia energética que presenta el menor costo total de propiedad de todas las opciones. Sin embargo, debido a los multi-trayectos (es decir, las señales de RF pueden rebotar, por lo que la señal recibida no se desplaza necesariamente en línea recta), la precisión de la geolocalización es inferior a la del GPS. (Quispe Robles, 2021)

2.7.5. Seguridad en redes LoRa

LoRaWAN establece dos factores clave para la seguridad de su red:

- Procedimiento de enlace, que permite que tanto el nodo como la red LoRaWAN se autenticuen mutuamente. Esto asegura que sólo los nodos autorizados pueden unirse a una red autorizada.
- Autenticación de los mensajes de aplicación y MAC, estos mensajes son: autenticados en origen, protegidos por integridad y encriptados desde el nodo al servidor de aplicaciones LoRaWAN, y viceversa.

Además, LoRaWAN utiliza contadores de tramas para detectar y bloquear los ataques de repetición. Cuando un dispositivo se activa en la red, los contadores de tramas de enlace ascendente y descendente se ponen a cero. El contador correspondiente a estos enlaces se incrementa a medida que se aceptan los mensajes. En el caso de que el nodo o la red recibieran un mensaje con un contador de tramas inferior al último aceptado, éste sería ignorado.

2.7.6. Limitaciones de uso

Las limitaciones de este tipo de sistemas pueden revisarse a continuación (García González, 2019):

a) Datos en tiempo real: LoRaWAN se utiliza para enviar pequeños paquetes de datos cada cierto tiempo. Normalmente se envían unos pocos bytes, una vez cada poco minuto. Una vez por minuto, como máximo.

b) Llamadas telefónicas y envío de información multimedia: No es posible

c) Controlar cosas (encender las luces, por ejemplo): Aunque es posible, no es recomendable. Es preferible que el flujo de información sea en una sola dirección, de los nodos a la pasarela. Aunque la comunicación puede ser bidireccional, no se recomienda. Y, en cualquier caso, el control no podría hacerse de forma instantánea, concretamente debido a la latencia de la red.

d) Tamaño y frecuencia de los Uplinks y Downlinks: El Uplink es el proceso de envío de datos desde los nodos a la pasarela y el Downlink es el proceso contrario. Tanto los uplinks como los downlinks deben ser precisos y concisos, tan pequeños como sea posible. Ni siquiera se recomienda enviar los datos como texto plano o en formato JSON, ya que esto requeriría demasiados bytes para formatear el mensaje. En su lugar, se recomienda codificar los datos en formato binario para comprimir la información y mantener la carga útil (mensaje) lo más pequeña posible. Los datos deben enviarse cada cierto número de minutos, teniendo en cuenta que cuanto mayor sea la frecuencia de transmisión de datos, más energía habrá que utilizar (menos tiempo de uso de la batería) y el proceso se complica.

e) Imposibilidad de transmitir y recibir datos simultáneamente: Hasta hoy, las pasarelas no tienen la capacidad de enviar un enlace descendente a un nodo mientras reciben un enlace ascendente. Es decir, para transmitir algo hay que dejar de recibir información. Y esto, por supuesto, limita el número de nodos que puede manejar un sistema. Mientras una pasarela envía información a un nodo, ningún otro nodo podrá comunicarse con la pasarela y entonces tendremos problemas relacionados con datos que nunca llegan a su destino.

f) Cobertura en todas partes: Sí, esto también se ha mencionado como una ventaja. La cobertura de la pasarela LoRaWAN es una ventaja allí donde se instalan las pasarelas. Sin embargo, es un problema donde no hay pasarelas (García González, 2019).

2.7.7. Aplicaciones de redes LoRa en ganadería

Revisando la aplicación de las redes LoRa en el área de la ganadería, se tienen la investigación de Cangrejo Aguirre & Hernández López (2019), en la que se aplica este tipo de redes en un sistema de monitoreo para ganado bovino cuyo objetivo es reducir el abigeato en las zonas ganaderas, el sistema de monitoreo permite a los ganaderos tener

información en tiempo real sobre la ubicación los animales mediante el uso de tecnología IoT y Cloud. Como parte del servicio de monitoreo, el sistema permite desarrollar una cerca virtual a pequeña escala con las características del terreno. En ese sentido, los ganaderos podrán estar enterados, a través del movimiento de los animales, si estos salen de la propiedad a través de la visualización de una alarma que se activará cuando esto suceda.

El servicio de monitorización del ganado ofrece un servicio de alerta al cliente a través de una aplicación web cuando un animal se encuentra fuera de la zona habitual (la finca). La gestión se realiza a través de una red IoT, la evolución tecnológica que permite conectar a las personas con los diferentes procesos productivos del campo, en este caso los animales, dando lugar a una automatización de la granja que ayuda a organizar mejor el tiempo y hacer más efectivas las actividades.

2.8. Metodología de desarrollo

Para el desarrollo de la investigación se adopta el Modelo en Cascada, que incluye las etapas: análisis de requisitos, diseño, implementación, verificación y mantenimiento. De esta manera, se facilita el desarrollo del proyecto ordenando las etapas y llevando a cabo sus objetivos fase por fase para así poder avanzar a la siguiente etapa, lo cual es perfectamente aplicable a proyectos de pequeña escala. Sin embargo, las etapas mencionadas pueden variar

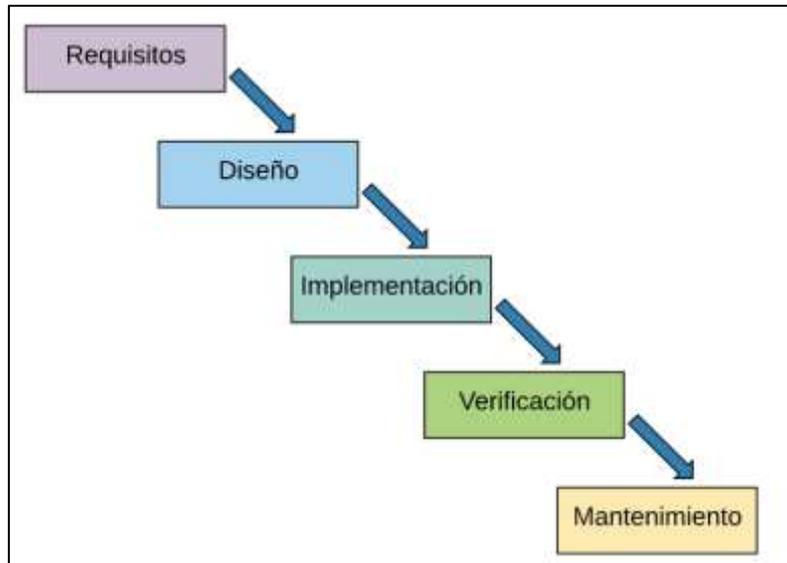
2.8.1. Modelo en cascada

Esta metodología se basa en la ejecución gradual, es decir, en donde cada fase debe completarse antes de empezar la siguiente fase. El uso de este modelo en el proyecto nos plantea que al final de cada fase, se lleva a cabo la revisión para determinar si el

proyecto avanza adecuadamente. Por último, se realizan las pruebas únicamente después de que el desarrollo se haya completado. Como lo muestra la Figura 12.

Figura 12

Diagrama del modelo en cascada.



Fuente: (Arciniega, 2021)

Requisitos.

Se trabaja con los clientes y los usuarios finales del sistema para determinar el dominio de aplicación y los servicios que debe proporcionar el sistema, así como sus restricciones. Con esta información se produce el documento de “Especificación de Requerimientos del Sistema”. (Risso, 2022)

Diseño.

Durante el proceso de diseño del sistema se distinguen cuáles son los requerimientos de software y hardware. Después se propone una arquitectura completa del sistema, es decir, durante la etapa de diseño se identifican los subsistemas que componen el sistema y se describe cómo funciona cada uno y las relaciones entre éstos.

Implementación.

Consiste en codificar y probar los diferentes subsistemas por separado. La prueba de unidades implica verificar que cada una cumpla su especificación (proveniente del diseño).

Verificación.

Una vez que se probó que funciona individualmente cada una de las unidades, éstas se integran para formar un sistema completo que debe cumplir con todos los requerimientos del software. Cuando las pruebas del sistema completo son exitosas, éste se entrega al cliente.

Mantenimiento

Finalmente, en la última fase del modelo de cascada, es momento de analizar los resultados del paso anterior y realizar los cambios pertinentes, si es que son necesarios, para dar por concluido el proyecto.

Es probable que tenga que regresar a la fase anterior del modelo más de una vez, cada cierto tiempo, para comprobar que se adapta a los cambios de su entorno. Y este proceso no significa que hayas fallado al aplicar la metodología de la cascada, sino que con lo rápido que se dan los cambios en la tecnología hoy en día, es esencial que mantengas el sistema constantemente actualizado para que siga siendo relevante. (Risso, 2022)

CAPÍTULO III SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍA LORA PARA LA PREVENCIÓN DE ABIGEATO EN LOS SECTORES RURALES DEL CANTÓN MONTÚFAR

En este capítulo se aplica la metodología del Modelo en Cascada para el desarrollo del sistema, se presenta el análisis de la situación actual incluyendo la tabulación de resultados de las encuestas aplicadas a ganaderos de varios de los sectores rurales del cantón Montúfar entorno al abigeato y al manejo reproductivo bovino como se muestra en el Anexo 1, y se explica como estas nos ayudaron a resolver las preguntas planteadas para diseñar el sistema.

Como parte del desarrollo del sistema se propone al dispositivo asignarle un nombre, además se creó un logotipo que se puede apreciar en la Figura 13, para futuras menciones del sistema se lo hará con este nombre “**Secure Cattle**”.

Figura 13

Nombre y logo del sistema



3.1. Descripción general del sistema

Secure Cattle se basa en una red inalámbrica utilizando tecnología LoRa para la geolocalización de ganado, el cual consta de un nodo central y un nodo móvil ubicado sobre el bovino que está en constante movimiento por el área de pastoreo.

El nodo central se refiere a un Gateway encargado de recibir la información obtenida por el nodo móvil para posteriormente almacenar y procesar todos los datos recolectados, generando alertas a los ganaderos en caso de posible abigeato o pérdida y cuando exista eventos de manejo reproductivo.

Por otra parte, el nodo móvil transmite la ubicación del bovino, además contribuye a la identificación y al control del manejo reproductivo, para posteriormente presentar esta información al usuario

Finalmente, se desea contar con un sistema para prevenir el abigeato en los sectores rurales del cantón Montúfar, que permita conocer la ubicación y tener un control del manejo reproductivo, apoyando en la seguridad y administración del hato.

3.2. Análisis de la situación actual

Este proyecto se desarrolla dentro de los sectores rurales del cantón Montúfar, mediante el análisis de la situación actual se busca recopilar información para responder preguntas referentes al diseño del sistema. En la tabla 1 se detalla el formato utilizado en el levantamiento de información para conocer la situación actual entorno a la problemática y de esta manera sustentar el desarrollo del proyecto, la cual se obtuvo directamente de los beneficiarios que son los ganaderos.

Tabla 1.

Método y formato para levantamiento de información de la situación actual.

SITUACIÓN ACTUAL	
Método:	Para la recolección de información se propone el método de la investigación descriptiva mediante una encuesta. Se ha seleccionado la encuesta para conocer las opiniones y datos actuales acerca de la problemática.

Las encuestas se aplicarán a ganaderos y moradores de distintos sectores rurales del cantón Montúfar.

Formato: La encuesta según su objetivo es de tipo descriptiva, como resultado se busca conocer la situación actual entorno al abigeato y el manejo reproductivo.

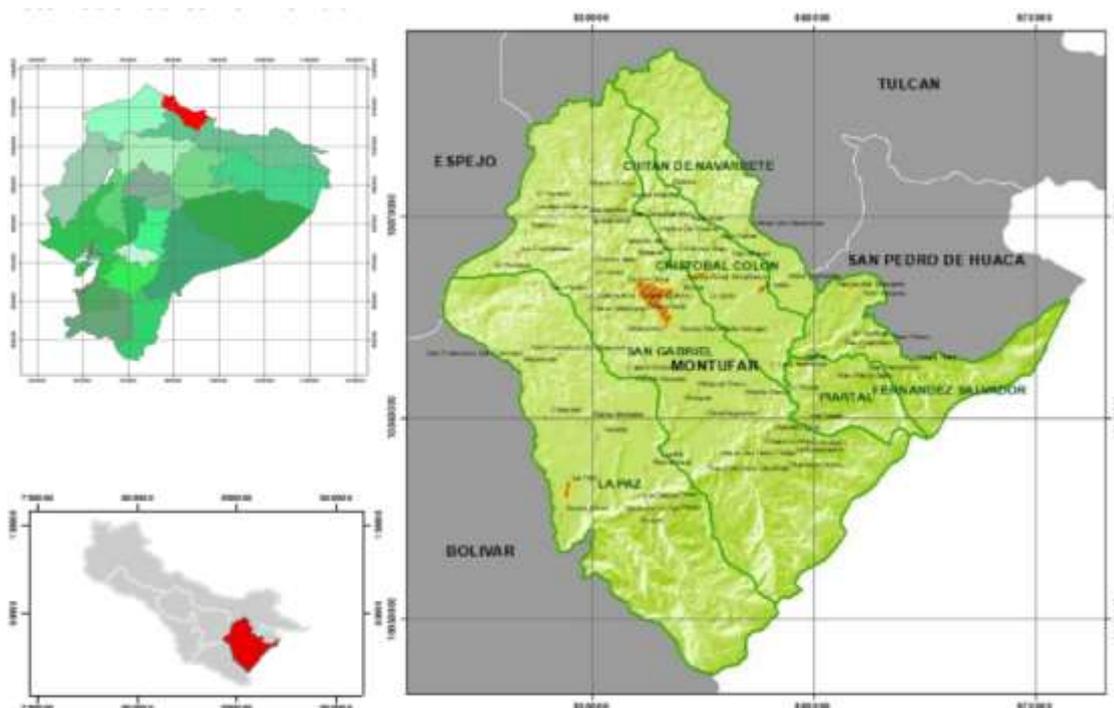
El tipo de preguntas fueron de respuesta cerrada, es decir, en donde el encuestado dispone de un conjunto de opciones mediante las cuales se busca cuantificar y obtener datos estadísticos, estas fueron referidas a como se lleva el manejo reproductivo, los métodos que se usa para obtener eficiencia reproductiva y también al abigeato como problemática existente en los sectores rurales del cantón. La encuesta aplicada se muestra en el Anexo 1.

3.2.1. Cantón Montúfar

El cantón Montúfar se ubica en la región norte del Ecuador, es parte de la provincia del Carchi integrante de la zona 1 de la planificación a nivel nacional. Su territorio es parte importante del altiplano que limita la cuenca del Valle del Chota y conforma las cuencas alta y media del río Apaquí, sus límites como se muestra en la Figura 14, son: al Norte el Cantón Tulcán; al Sur los Cantones Bolívar y Sucumbíos; al Este Cantones Sucumbíos, Huaca y Tulcán y al Oeste los Cantones Bolívar y Espejo. (GAD-Montúfar, 2020)

Figura 14

Localización del Cantón Montúfar



Fuente: (GAD-Montúfar, 2020).

3.2.1.1. Sectores Rurales

La extensión del cantón Montúfar corresponde a 38073,21 km², los mismos que se encuentran distribuidos en 37298,20 km² en el área rural en donde se incluyen las dos parroquias urbanas (González Suárez, San José) ya que también comprende sectores rurales y las cinco parroquias rurales (Fernández Salvador, Piartal, Cristóbal Colón, La Paz, Chitan de Navarrete). Como lo indica la Tabla 2.

Tabla 2.

Áreas Rurales del cantón Montúfar

Área Rural	
Parroquia	Km ²
González Suárez	5215,94
San José	9462,30
Cristóbal Colón	3003,35

Chitan de Navarretes	3912,53
Fernández salvador	2584,13
La paz	11247,32
Piartal	1872,64

Nota: Fuente: (GAD-Montúfar, 2020)

La actividad ganadera del cantón Montúfar además de ser uno de los rubros económicos más importantes dentro del cantón, tiene una fuerte tradición agropecuaria que combina los cultivos especialmente de papa y pasto como su sistema de producción predominante. (GAD-Montúfar, 2020). En la Tabla 3, se muestra la población que se dedica a la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca por parroquias.

Tabla 3.

Personas ocupadas en Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca por parroquias

Parroquia	Hombre	Mujer	Total
San Gabriel	2661	754	3415
Cristóbal Colón	548	101	649
Chitan de Navarretes	130	41	171
Fernández salvador	301	121	422
La paz	611	196	807
Piartal	327	67	394
Total	4578	1280	5858

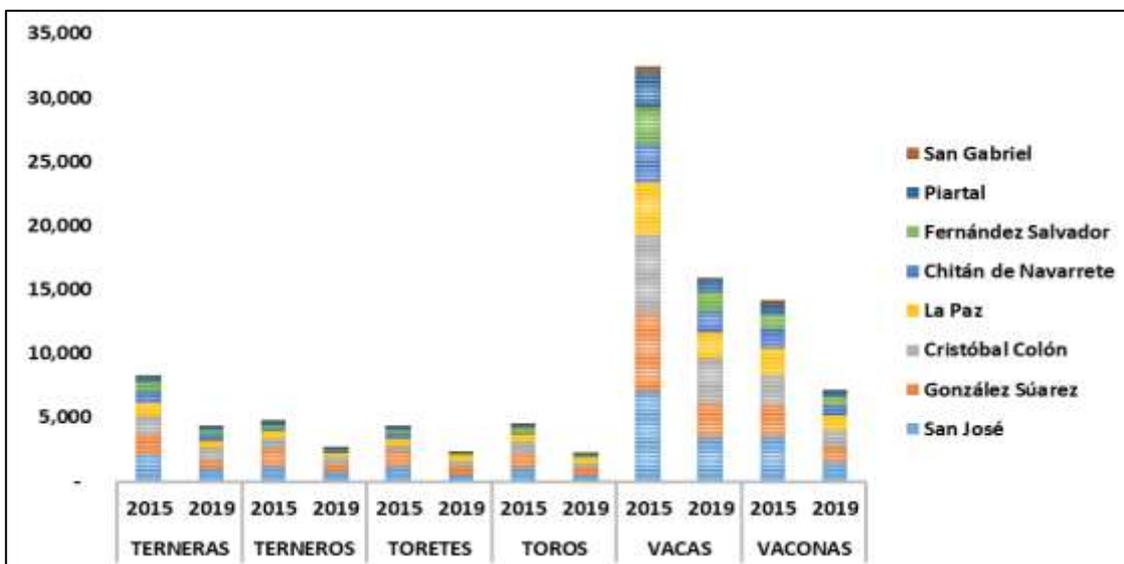
Nota: Fuente: (GAD-Montúfar, 2020)

3.2.1.2. Ganado bovino por parroquia Período 2015 – 2019

A continuación, en la Figura 15, se detalla el número de cabezas de ganado entre el 2015 y 2019 en todas las parroquias del cantón Montúfar.

Figura 15

Número de cabezas de ganado por parroquia Período 2015 - 2019



Fuente: Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitaria - Sistema Fiebre Aftosa Ecuador (SIFAE)

3.2.2. Cálculo muestral

La presente investigación se realizó en el cantón Montúfar específicamente en los sectores rurales, el levantamiento de información se lo hizo tomando muestras de las áreas rurales de las 7 parroquias pertenecientes al cantón. La muestra se evalúa según la cantidad de personas encuestadas, realizando el cálculo muestral mediante la siguiente Ecuación 1. Se cuenta con un número de 5858 personas que se dedican a la explotación ganadera como se muestra en la Tabla 3, pertenecientes a los sectores rurales del cantón.

$$n = \frac{N Z^2 \sigma^2}{(N - 1) e^2 + Z^2 \sigma^2}$$

Ecuación 1. *Cálculo del número de encuestas*

Donde:

n = Representa el tamaño de la muestra.

σ = Es la proporción de individuos que tienen en la población la característica de estudio. Este dato es habitualmente incógnito y se suele suponer que 0.5 que es la elección más convincente.

N = Representa el tamaño de la población.

Z = Representa el nivel de confianza, es decir, un valor constante y generalmente se presenta con el 95%, equivalente a 1,96 siendo el valor mínimo aceptable.

e = Significa el límite aceptable de error muestral que, habitualmente suele usarse un valor entre el 1% (0,1) y 9% (0,9), se selecciona el valor mínimo de error aceptable para obtener una respuesta más acertada.

Para este caso tomamos los siguientes datos:

$$\sigma = 0,5$$

$$N = 5858$$

$$Z = 1,96$$

$$e = 0,1$$

$$n = \frac{5858 (1,96)^2 (0,5)^2}{(5858 - 1) 0,1^2 + (1,96)^2 (0,5)^2} = 94 \text{ Encuestas}$$

Una vez realizado los cálculos correspondientes reemplazando los datos en la Ecuación 1, se obtiene un número de 94 encuestas que son necesarias realizar para el levantamiento de información. Los resultados obtenidos permitirán conocer la situación actual entorno al abigeato y manejo reproductivo bovino, además opiniones e

inconvenientes, lo cual permite fundamentar de mejor manera el desarrollo de “Secure Cattle”.

Con la información recolecta se realiza las tabulaciones de cada una de las preguntas aplicadas en la encuesta se encuentran en el Anexo 2, y en base a estos resultados se obtiene el contexto de la situación actual entorno a la problemática y las características que el sistema debe cumplir según los requerimientos de los usuarios.

3.2.3. Situación actual en el cantón Montúfar entorno al abigeato y manejo

reproductivo bovino

A través del levantamiento de información se pudo determinar la situación actual entorno al abigeato y el manejo reproductivo, en donde mediante tabulación Anexo 2, se evidencia los siguientes resultados.

En los sectores rurales del cantón Montúfar en el último año, en base a la información recolectada el 60% de las personas han sido víctimas de abigeato o pérdida de ganado, esto se debe a que tan solo el 40% de las personas utilizan algún método para mitigar este problema a través de vigilancia nocturna y encierro del ganado en establos, mientras el 75% no realiza ningún tipo de prevención dejando sus animales en propiedades alejadas de sus viviendas, lo que los hace más propensos a pérdidas o robo de su ganado.

En cuanto al manejo reproductivo que se debe llevar dentro del hato ganadero existe mucho desconocimiento ya que no se conoce la importancia y los beneficios que obtendrían llevando un buen manejo, únicamente el 5% de los encuestados llevan registros de manera manual en bitácoras y el 95% no llevan ningún tipo de registro.

3.3. FASE 1: Requisitos y requerimientos

En esta fase de la metodología establece el análisis para determinar los requisitos y requerimientos que involucran el desarrollo del sistema, por lo tanto, fue necesario realizar un análisis investigativo para conocer la situación actual acerca de la problemática existente entorno al abigeato y al manejo reproductivo bovino en los sectores rurales del cantón Montúfar.

3.3.1. Requerimientos del sistema

Se establecerán bajo el estándar IEEE 29148:2011 basándose en los Stakeholders que son requerimientos que determinan el adecuado funcionamiento del sistema y a partir de ellos obtendrá los requisitos necesarios para desarrollar el prototipo.

Los requerimientos se conforman en tres que son los siguientes: Requerimientos de Usuario, Requerimientos de Sistema y Requerimientos de Hardware.

3.3.2. Nomenclatura de los Requerimientos

A continuación, en la Tabla 4, para mejor identificación de cada uno de los requerimientos se hará mediante las siguientes abreviaturas.

Tabla 4.

Términos abreviados y acrónimos usados durante el análisis de requerimientos.

Abreviatura	Descripción
StSR	Requerimientos Stakeholders
SySR	Requerimientos del Sistema
SRSR	Requerimientos de Arquitectura

El estándar permite asignar prioridades a cada uno de los requerimientos, estas son determinadas mediante criterios como: Alta, Media y Baja. A continuación, en la Tabla 5, se describe la prioridad que se le asigna a cada requerimiento del sistema.

Tabla 5.

Prioridad de los Requerimientos del sistema.

Prioridad	Descripción
Alta	Hace referencia a un requerimiento crítico que debe contener el desarrollo del sistema.
Media	Este tipo de requerimiento que puede afectar la decisión final del sistema, sin embargo, se puede omitir este requerimiento en casos fortuitos.
Baja	El excluir este tipo de requerimientos no causa un impacto significativo en la decisión final del sistema.

3.3.3. Requerimientos de Stakeholders

Los stakeholders (StSR) son el conjunto de las partes interesadas del proyecto. En la Tabla 6, se describen los stakeholders y el papel que desempeñan cada uno para el correcto desarrollo del sistema buscando que el trabajo sea satisfactorio.

Tabla 6.

Listado de stakeholders.

STAKEHOLDERS (StSR)		
1	Usuarios directos	<ul style="list-style-type: none"> • Pequeños, medianos y grandes productores de ganado bovino. • Asociaciones de ganaderos.
2	Usuarios Indirectos	<ul style="list-style-type: none"> • Moradores de sectores rurales del cantón. • Brigadistas de vacunación.
3	Desarrollador	<ul style="list-style-type: none"> • Sr. Cristian Guachán
4	Director y asesor del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • Mgs. Carlos Vásquez • Mgs. Fabián Cuzme

En base a las encuestas realizadas Anexo1, se considera las necesidades de los usuarios y para poder cumplir con las expectativas. En la Tabla 7, se evaluarán los requerimientos operacionales y de usuario.

Tabla 7.

Requerimientos de stakeholders.

StSR		Prioridad		
#	REQUERIMIENTO STAKEHOLDER	Alta	Media	Baja
		StSR1	Conocer la ubicación del ganado en todo momento.	X
StSR2	El nodo móvil debe tener bajo consumo de energía.		X	
StSR3	Es sistema debe ser lo más pequeño posible		X	
StSR4	El acceso a la plataforma web y aplicación móvil siempre disponible para el propietario y administrador.	X		
StSR5	El sistema debe generar oportunamente las alarmas para cuando exista posible abigeato y para los eventos reproductivos.	X		
StSR6	El sistema debe implementarse en un sector rural perteneciente al cantón Montúfar.	X		
StSR7	Almacenamiento en la base de datos.		X	
StSR8	Establecer el área de pastoreo.		X	
StSR9	Las alertas generadas deben ser enviadas por SMS, notificaciones en la plataforma web y App móvil.	X		
StSR10	Nodo móvil conectividad a Internet.			X
REQUERIMIENTOS DE USUARIO				
StSR11	Mostrar la ubicación de manera legible y de fácil comprensión.	X		
StSR12	Tener credenciales de autenticación para ingresar al sistema.	X		
StSR13	Las notificaciones de alertas deben ser lo más instantáneas posible.	X		
StSR14	El sistema debe contar con alimentación eléctrica de respaldo		X	

StSR15	Las baterías del nodo móvil deben ser intercambiables	X
StSR16	Conocimiento en ganadería	X

3.3.4. Requerimientos del sistema

Los requerimientos iniciales del sistema (SySR) son derivados de la observación directa de las necesidades de los usuarios y delimitan las funcionalidades referentes al comportamiento y propiedades del proyecto. A continuación, en la Tabla 8 se presentan los SySR referidos a la interfaz, de uso, los modos y estados físicos.

Tabla 8.

Requerimientos del sistema.

SySR		Prioridad		
#	REQUERIMIENTO DEL SISTEMA	Alta	Media	Baja
Requerimientos de interfaz				
SySR1	El sistema deberá enviar los datos del GPS en tiempo real	X		
SySR2	Las alertas de los eventos deben ser en tiempo real.	X		
SySR3	Es necesario ingresar a la plataforma mediante credenciales para visualizar e ingresar los datos.	X		
SySR4	Pines de entrada y salida de información del sistema embebido.		X	
Requerimientos de uso				
SySR5	La ubicación deberá mostrarse en tiempo real.	X		
SySR6	Ingresar el registro de los eventos reproductivos e identificación	X		
SySR7	Para visualizar la información deberá autenticarse al sistema.	X		
Requerimientos de performance				
SySR8	El dispositivo implementado sobre el animal debe no interferir en las actividades diarias que realicen.		X	

SySR9	Se debe asegurar que los datos recolectados de ubicación lleguen a la base de datos.	X
SySR10	Notificaciones de alertas a través de sonidos y de interfaz visual	X
Requerimientos de modos/estado		
SySR11	El sistema debe estar en funcionamiento todo el tiempo	X
Requerimientos físicos		
SySR12	El sistema debe estar colocado sobre cada bovino para captar la ubicación real.	X
SySR13	El dispositivo debe ser amigable para los animales.	X
SySR14	Tamaño reducido	X

3.3.5. Requerimientos de arquitectura

En la Tabla 9, se muestra los requerimientos de arquitectura (SRSH), donde se describe los requisitos de diseño, de software, de hardware y eléctricos; ayudando en la elección acertada de los componentes de software y hardware que serán parte del sistema.

Tabla 9.

Requerimientos de Arquitectura.

SRSH				
#	REQUERIMIENTOS DE ARQUITECTURA	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
Requerimientos de software				
SRSH1	El software de programación debe ser compatible para los sensores y la placa de desarrollo a elegir.	X		
SRSH2	Contar con disponibilidad de librerías entre los módulos y la placa de procesamiento.	X		
SRSH3	Sistema operativo y lenguaje de programación de código abierto.	X		
SRSH4	El sistema alojara datos en una plataforma como servicio en la nube en tiempo oportuno	X		
SRSH5	Software de diseño de interfaces de usuario para la visualización de datos y alertas	X		

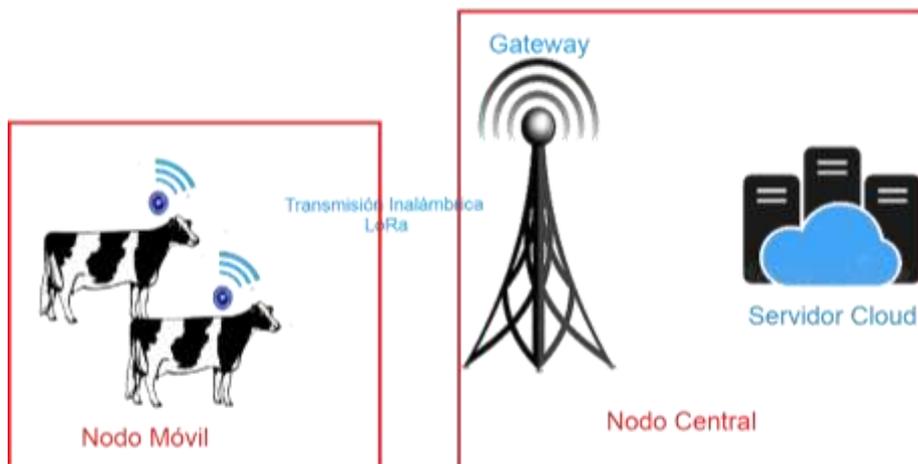
SRSH6	Software de base de datos NoSQL que permita tener un bajo costo en el rendimiento del sistema	X
SRSH7	Plataforma de código abierto para la programación de aplicaciones móviles Android	X
Requerimientos de hardware		
SRSH8	Alta capacidad de procesamiento.	X
SRSH9	Se requiere un módulo GPS que genere ubicaciones lo más exactas posible.	X
SRSH10	El sistema embebido debe ser compatible con sistemas operativos de código abierto.	X
SRSH11	El nodo móvil debe ser lo más pequeño posible	X
SRSH12	Cobertura inalámbrica igual o mayor al borde del área de pastoreo	X
Requerimientos lógicos		
SRSH13	Los nodos del sistema deben mantener siempre comunicación	X
SRSH14	La placa del nodo móvil debe tener entrada y salida analógica para la recolección de datos	X
Requerimientos eléctricos		
SRSH15	El nodo móvil requiere soporte una batería portable	X
SRSH16	Bajo consumo de energía	X
Requerimientos de diseño		
SRSH17	Para el nodo móvil se debe diseñar una caja para protección de la humedad y factores externos.	X
SRSH18	El nodo central estar ubicado en un lugar adecuado para la correcta comunicación con el nodo móvil.	X

3.3.6. Características del sistema

Para una mejor gestión y desarrollo del sistema se opta por dividir en dos partes como se muestra en la Figura 16. El nodo móvil implementado sobre el bovino que será el encargado de captar la información y el nodo central o Gateway que comprende la interpretación de los datos para ser visualizados por el usuario.

Figura 16

Nodos del sistema



3.3.7. Elección de Hardware y Software para el sistema

La selección de hardware y software se la realiza mediante una tabla comparativa de especificaciones según los requerimientos de stakeholders (StRS), de sistema (Sisar) y de arquitectura (SRSH), se evalúa cada componente y mediante dicha tabla se obtiene la valoración de los atributos correspondientes y al final se elige al componente de mayor puntuación. La puntuación se define con “1” si cumple con el requerimiento y con “0” cuando no cumple con el requerimiento.

3.3.7.1. Elección de Hardware

En esta sección se determina los componentes de hardware únicamente para los dos primeros bloques del sistema que hacen referencia al nodo móvil y al nodo central.

Nodo Móvil

EL nodo móvil se refiere específicamente al que está ubicado sobre el bovino, el cual consta de: un sistema embebido, un módulo LoRa y un módulo GPS. Por consiguiente, se elige en base a los requerimientos indicados en la Tabla 9.

Sistema Embebido

En la Tabla 10, se elige el sistema embebido que será el que procese los datos recolectados por el nodo móvil.

Tabla 10.

Selección del sistema embebido del nodo móvil.

Hardware	Requerimientos				V. Total
	SRSH10	SRSH11	SRSH13	SRSH14	
Arduino Pro-Mini	1	1	1	1	4
Arduino Nano	1	0	1	1	3
Raspberry Pi	1	0	1	0	2

1: Cumple

0: No cumple

Elección: Mediante el análisis realizado, y según la tabla de arquitectura se obtiene que el sistema embebido óptimo y capaz de cumplir con todos los requerimientos es el Arduino Pro-Mini.

A continuación, en la Tabla 11, se muestran las principales características del sistema embebido seleccionado.

Tabla 11.

Características de Arduino Pro-Mini.

Arduino Pro-Mini	
Características	<ul style="list-style-type: none">• Microcontrolador ATmega328 funcionando a 8MHz• 14 entradas/salidas digitales y 6 entradas análogas

-
- Trabaja perfectamente con módulos GPS o sensores que utilicen 3.3V
 - Regulador de 3,3V incorporado de 5V hasta 9V por pin RAW
 - Corriente máxima de salida: 150mA
 - Protección contra sobre corriente
 - LEDs de estado incorporados (para alimentación y pin 13)
 - Dimensiones 18 x 33mm
 - Peso menor a 2 gramos
-

Módulo GPS

En la Tabla 12, se elige el módulo GPS para la elección se seleccionó 3 opciones, las cuales son las que más se adaptaban a las necesidades del proyecto.

Tabla 12.

Selección de hardware del módulo GPS.

Hardware	Requerimientos				V. Total
	SRSH2	SRSH9	SRSH11	SRSH14	
Módulo GPS LC86L	1	1	1	1	4
Módulo GPS NEO-6M	1	1	0	0	2
Módulo GPS XM0110	1	1	1	1	4

1: Cumple

0: No cumple

Elección: Mediante el análisis realizado tenemos dos opciones que cumplen con los requerimientos solicitados de los cuales se elige el Módulo GPS LC86L por la facilidad de adquisición.

A continuación, en la Tabla 13, se muestran las principales características del módulo GPS seleccionado.

Tabla 13.

Características del módulo GPS seleccionado

	Módulo GPS LC86L
Características	<ul style="list-style-type: none">• Voltaje de alimentación: 2.8 a 4.3V, típico 3.3V• Voltaje I/O: 2.8V típico• Compatible con el módulo GPS L80 de Quectel• Admite conmutación automática de antena, detección de antena y protección contra cortocircuitos de antena• Soporta SBAS (WAAS/EGNOS/MSAS/GAGAN)• Soporta AGNSS• Admite comandos SDK desarrollados por Quectel• 26 canales de seguimiento y 11 canales de adquisición• Dimensiones: 16x16x6.95mm aprox.

Módulo LoRa

En la Tabla 14, se elige el módulo LoRa encargado de la transmisión de datos desde el nodo móvil hacia el nodo central.

Tabla 14.*Selección del hardware para la comunicación.*

Hardware	Requerimientos				V. Total
	SRSH2	SRSH1	SRSH2	SRSH4	
Transceptor LoRa RFM69	1	1	0	1	3
Transceptor Lora Ra-02	1	1	1	1	4
Módulo RF Transceptor RFM95	1	1	1	1	4

1: Cumple**0: No cumple**

Elección: Mediante el análisis se obtiene dos módulos capaces de satisfacer los requerimientos, sin embargo, se elige el Transceptor Lora Sx1278 Ra-02 debido a la disponibilidad en el mercado local.

A continuación, en la Tabla 15, se muestran las principales características del módulo inalámbrico seleccionado para la comunicación.

Tabla 15.*Características del Transceptor LoRa Ra-02*

Transceptor Lora Ra-02	
	<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje de operación: 1.8 ~ 3.7V, valor típico 3.3V • Corriente de recepción: $\leq 10.8\text{mA}$ (LnaBoost off, band 1) • Corriente en transmisión: $\leq 120\text{mA}$ (+ 20dBm)
Características	<ul style="list-style-type: none"> • Corriente en Sleep mode: $0.2\mu\text{A}$ • Chip WiFi: ESP8266 • Rango de frecuencia: 420MHz ~ 450MHz • Estándar wireless: 433MHz

-
- Distancia de comunicación: 10Km
 - Interface: SPI GPIO Half-duplex
 - Bit rates hasta de 300kbps
 - Conector para antena externa
-

Nodo Central

EL nodo central se refiere específicamente al Gateway, el cual consta de: un sistema embebido, un módulo LoRa. Por consiguiente, se elige en base a los requerimientos indicados en la Tabla 9.

Sistema Embebido

En la Tabla 16, se elige el sistema embebido que será el que procese los datos enviados por el nodo móvil para posteriormente ser mostrados al usuario.

Tabla 16.

Selección del hardware del sistema embebido del nodo central.

Hardware	Requerimientos				V. Total
	SRSH2	SRSH8	SRSH10	SRSH14	
Raspberry Pi	1	1	1	0	3
ESP32	1	0	0	1	2
Arduino Uno	1	1	1	0	3

1: Cumple

0: No cumple

Elección: Mediante el análisis realizado se puede determinar que la placa Raspberry Pi es la que cumple con la mayoría de los requerimientos por su capacidad de procesamiento.

A continuación, en la Tabla 17, se muestran las principales características del sistema embebido seleccionado.

Tabla 17.

Características del sistema embebido seleccionado

	Raspberry Pi
Características	<ul style="list-style-type: none">• CPU + GPU: Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.4GHz• RAM: 1GB LPDDR2 SDRAM• Wi-Fi + Bluetooth: 2.4GHz y 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac, Bluetooth 4.2, BLE• Ethernet: Gigabit Ethernet sobre USB 2.0 (300 Mbps)• GPIO de 40 pines• HDMI• 4 puertos USB 2.0• Puerto CSI para conectar una cámara.• Puerto DSI para conectar una pantalla táctil• Salida de audio estéreo y vídeo compuesto• Micro-SD• Power-over-Ethernet (PoE)

Módulo LoRa

Para elección del módulo LoRa encargado de la recepción de datos (Gateway) se hace en base a la selección realizada en la Tabla 14, debido que el transceptor debe tener las mismas características solo que trabajará en diferente modo de operación.

3.3.7.2. Elección de software

Para la elección del software se realiza para cada etapa que conforma el sistema, se debe mantener relación a los requerimientos establecidos en la Tabla 8, de igual manera como se realizó la elección de hardware.

Nodo Móvil

En la Tabla 18, se muestra la valoración de cada requerimiento para la elección del software de programación.

Tabla 18.

Selección del software para el nodo móvil.

Software	Requerimientos			V. Total	
	SRSH1	SRSH2	SRSH3		
Arduino IDE	1	1	1	1	4
Python	1	1	1	1	4

1: Cumple

0: No cumple

Elección: Arduino IDE es el software idóneo acorde a la selección de hardware anteriormente realizada para este nodo.

Nodo Central

En la Tabla 19, se muestra la valoración de cada requerimiento para la elección del software de programación a implementarse en este nodo.

Tabla 19.

Selección del software para el nodo central.

Software	Requerimientos				V. Total
	SRSH1	SRSH2	SRSH3	SRSH8	
Arduino IDE	1	1	1	1	4
Python	1	1	1	1	4

1: Cumple
0: No cumple

Elección: Mediante el análisis realizado se puede determinar que Python es el adecuado, debido a la compatibilidad con la placa de procesamiento seleccionada anteriormente para este nodo.

Servidor web

Para la selección del servidor web se considera en base a los requerimientos establecidos en la Tabla 9. A continuación en Tabla 20, se muestra la valoración realizada para la selección.

Tabla 20.

Selección del software para el servidor web

Software	Requerimientos	V. Total
	SRSH4	
Hostinger	1	1

Apache

1

1

1: Cumple

0: No cumple

Elección: Con el análisis realizado en base a los requerimientos se realiza la elección del software Hostinger debido a las prestaciones que presta este servidor.

A continuación, en la Tabla 21, se muestra las características del software para el servidor web seleccionado.

Tabla 21.

Características del software para el servidor web

	Hostinger
Características	<ul style="list-style-type: none">• API• Alojamiento de sitios web• Controles o permisos de acceso• Creación de informes y estadísticas• Gestión de archivos, contenidos y pedidos• Gestión de páginas web

Base de datos

Se consideraron las siguientes opciones de base de datos no relacionales (NoSQL) que se adaptan de forma general a los requerimientos del proyecto. En la Tabla 22, se muestra la valoración de acuerdo con cada requerimiento de software.

Tabla 22.*Selección de la Base de datos*

Software	Requerimientos		V. Total
	SRSH4	SRSH6	
Cassandra	0	1	1
Firebase	1	1	2

1: Cumple**0: No cumple**

Elección: Mediante el análisis realizado se muestra que la base de datos Firebase es la mejor opción, debido a que cumple con los requerimientos del proyecto. Esto se debe a que es una base de datos que proporciona un alojamiento en la nube en tiempo real

A continuación, en la Tabla 23 se presenta las principales características técnicas de la base de datos seleccionada.

Tabla 23.*Características principales de la base de datos seleccionada*

Firebase	
Características	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de base de datos no relacional (NoSQL). • Licencia comercial. • Almacén de datos en tiempo real alojado en la nube. • Métodos de acceso Android - IOS - JavaScript API - Restful http API • Recibe actualizaciones automáticamente con los datos más recientes.

Sitio web

Para el desarrollo del sitio web es necesario elegir una plataforma acorde a los requerimientos. En la Tabla 24, se muestra la valoración realizada para la selección.

Tabla 24.

Selección del software para el sitio web

Software	Requerimientos	V. Total
	SRS4	
Angular	1	1
Sublime text	1	1

1: Cumple

0: No cumple

Elección: Mediante la valoración realizada se observa que las dos plataformas cumplen con los requerimientos para el desarrollo del sitio web sin embargo se selecciona como mejor opción la plataforma Sublime Text, puesto que el desarrollador tiene más experiencia y conocimiento del framework.

A continuación, en la Tabla 25, se muestra las principales características del software para el desarrollo del sitio web seleccionado.

Tabla 25.

Características del software para el desarrollo del sitio web

Sublime Text	
Características	• Minimapa
	• Multi Selección
	• Multi Cursor
	• Multi Layout

-
- Soporte nativo para infinidad de lenguajes
 - Syntax Highlight configurable
 - Búsqueda Dinámica
 - Auto completado y marcado de llaves
 - Soporte de Snippets y Plugins
 - Configuración total de Keybindings.
 - Paleta de Comandos
 - Coloreado y envoltura de sintaxis
-

App móvil

Para el desarrollo de la App móvil se consideran las siguientes opciones acorde a los requerimientos establecidos. A continuación, en la Tabla 26, se muestra la valoración para la selección del software.

Tabla 26.

Selección del software para App móvil

Software	Requerimientos	V. Total
	SRS7	
App Inventor	1	1
Android Studio	1	1

1: Cumple

0: No cumple

Elección: Mediante el análisis realizado se puede determinar que los dos entornos son adecuados para desarrollar Apps para Android, sin embargo, se selecciona Android Studio debido a que es el IDE oficial.

En la Tabla 27, se muestran las principales características del software para el desarrollo de la App seleccionado.

Tabla 27.

Características del software para el desarrollo de la App Móvil

Android Studio	
Características	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de construcción Gradle • Construcción y gestión de proyectos basado en Maven • Refactorización y completado avanzado de código Android • Diseño del editor gráfico • Generador de assets • Vista en tiempo real de renderizado de layouts • Soporte para Google Cloud Platform • Firma APK y gestión de almacén de claves • Soporte para NDK (Native Development Kit: herramientas para implementar código nativo escrito en C y C++)

3.4. FASE 2: Diseño de “Secure Cattle”

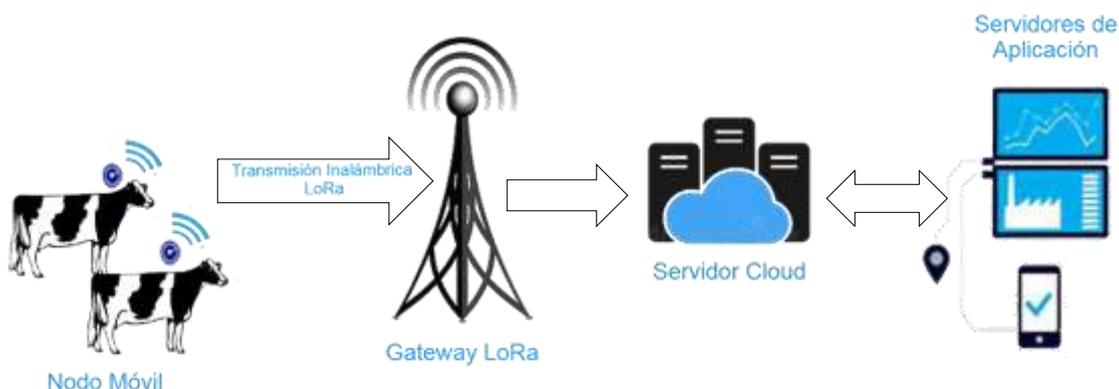
Una vez definido los componentes y requerimientos necesarios para el sistema, además el análisis en donde con la ayuda de las encuestas se determinó la situación actual de los sectores rurales del cantón Montúfar entorno a la problemática. Por lo tanto, para iniciar con la fase del diseño es necesario dar a conocer la arquitectura del sistema y los diagramas de bloques de cada etapa que lo conforman.

3.4.1. Arquitectura del sistema

El sistema de geolocalización para la prevención de abigeato está conformado por nodos móviles encargados de recolectar la información como se muestra en la Figura 17, para luego esta información ser transmitida al nodo central o Gateway mediante comunicación inalámbrica LoRa, todos los datos serán procesados y almacenados en un servidor en la nube para estar disponible cuando los usuarios los requieran o el sistema tenga la necesidad de generar alertas ante un posible abigeato o se generen eventos reproductivos.

Figura 17

Arquitectura del Sistema “Secure Cattle”

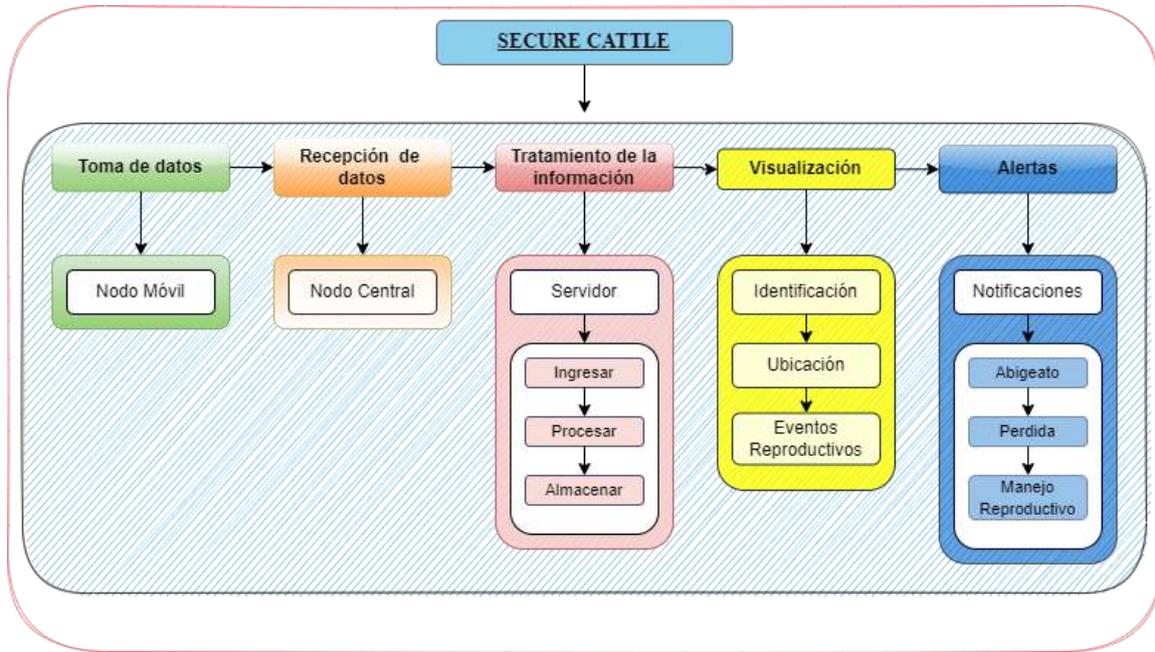


3.4.2. Diagrama de bloques general

En la Figura 18, se muestra el diagrama de bloques general del funcionamiento de “Secure Cattle” las partes de cada bloque y como estas se van a interconectar. De esta manera se obtiene una mejor comprensión de las funciones que se van a llevar a cabo en cada uno de los 5 bloques, las cuales se abordaran a detalle posteriormente.

Figura 18

Diagrama de bloques general del sistema.

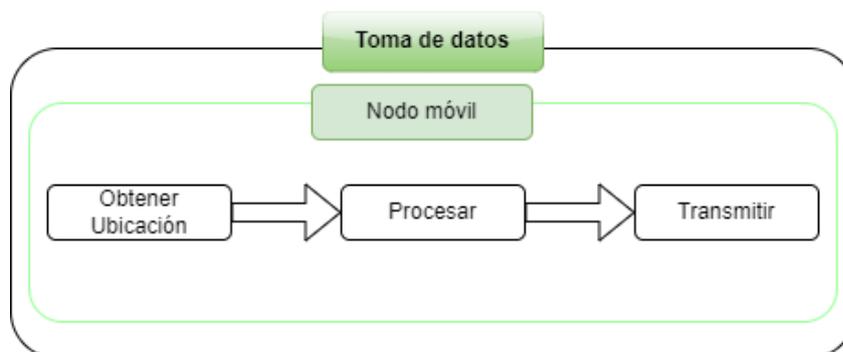


3.4.3. Bloque Toma de datos

En la Figura 19, se observa el diagrama del primer bloque del sistema, el cual hace referencia al nodo móvil y consta de un módulo GPS para obtener la ubicación del bovino, un módulo de procesamiento de datos y un módulo LoRa para el envío de la información.

Figura 19

Diagrama de bloques del bloque Toma de datos.



Etapa 1: Obtención de datos. En esta etapa se obtiene la ubicación captada por el módulo GPS, implementado sobre el bovino.

Etapa 2: Procesamiento de datos. - Se inicia el tratamiento de la información se extrae la longitud y latitud recolectada antes de pasar a la siguiente etapa para el envío.

Etapa 3: Comunicación. Mediante el uso del módulo Lora se establece la comunicación entre el nodo móvil y el Gateway.

3.4.3.1. Selección de pines y Diagrama Circuitual

En la Tabla 28, se realiza la selección de pines y se describe como se comunican entre los elementos que intervienen en el nodo móvil: Arduino, módulo GPS y el módulo Lora.

Tabla 28.

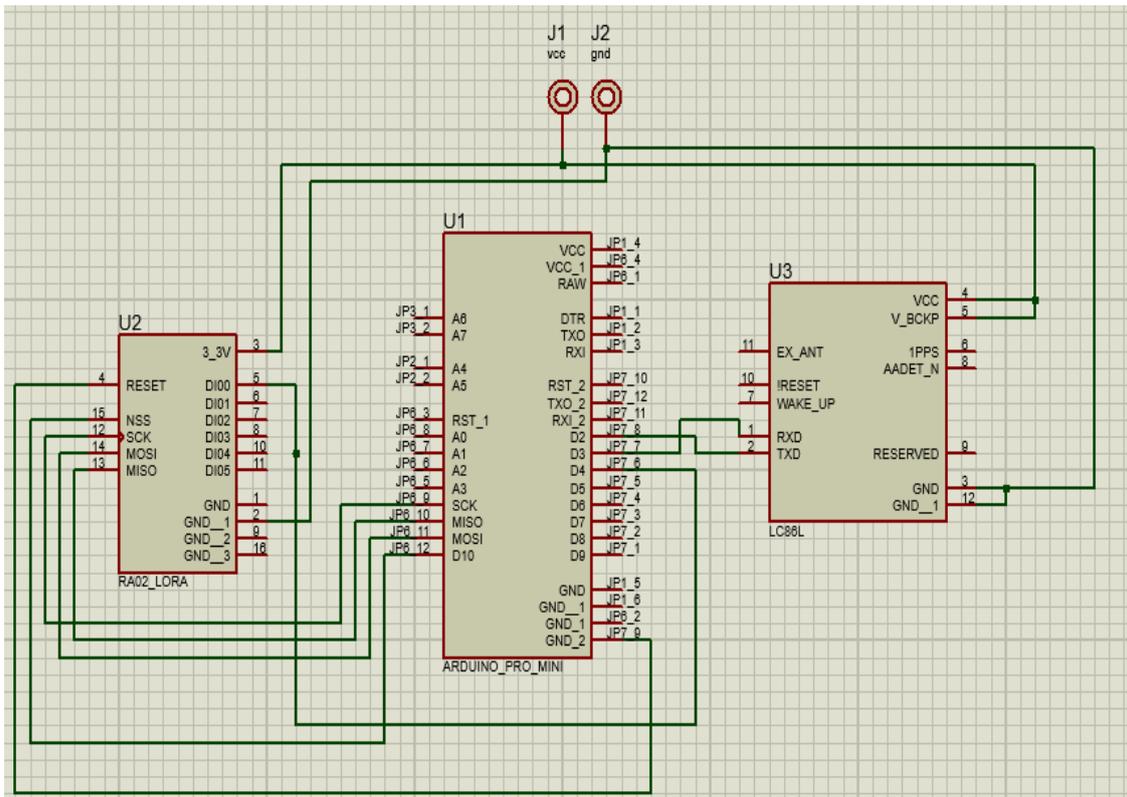
Selección de pines Nodo móvil.

	Arduino	Módulo Lora	Módulo GPS	Descripción
PINES	SCK	SCK		Velocidad a la que se transmite cada bit.
	MISO	MISO		Recepción de datos desde el otro integrado.
	MOSI	MOSI		Transmisión de datos hacia el otro integrado.
	D10	NSS		Habilita el integrado hacia el que se envían los datos
	D2		TX	Transmite datos
	D3		RX	Recibe datos
	3.3V	VCC	VCC	Pines de Alimentación
	GND	GND	GND	

A continuación, en la Figura 20, se observa el circuito diseñado y como están conectados los elementos, la simulación se realizó mediante el uso del software Proteus.

Figura 20

Diagrama del circuito.

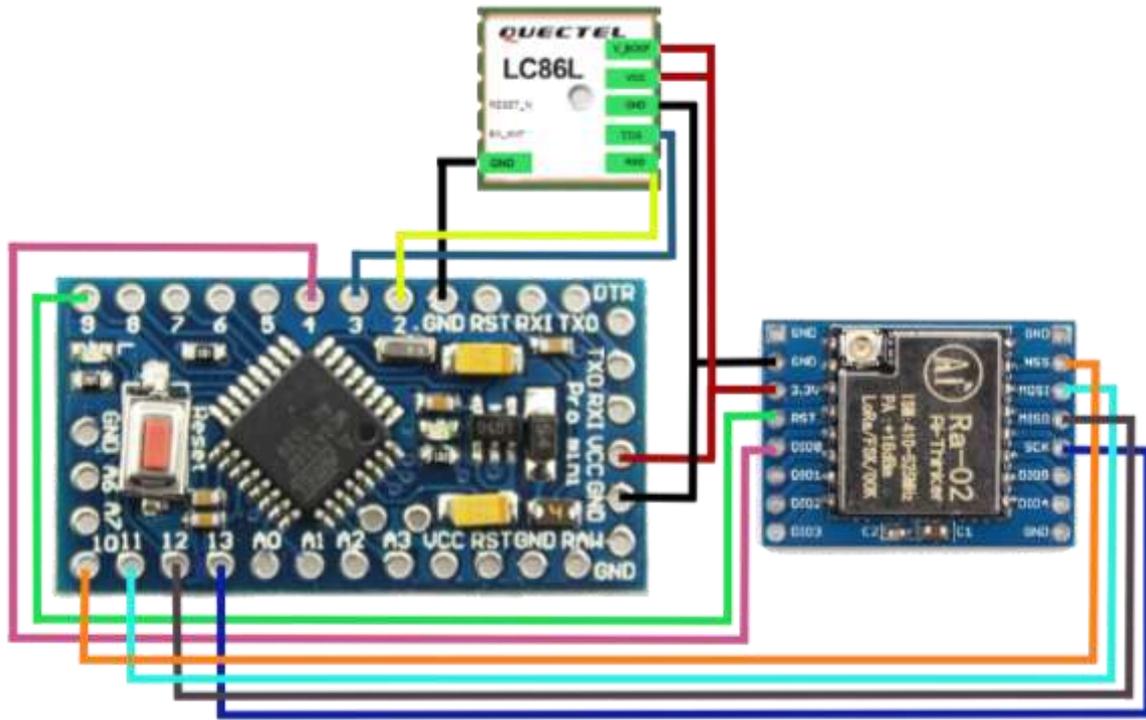


3.4.3.2. Diagrama de conexión

Este bloque corresponde al nodo móvil que es el encargado de captar la ubicación de cada bovino. En la Figura 21, se muestra el diagrama de conexión integrado por la placa de procesamiento Arduino, el módulo GPS LC86L y el módulo transceptor LORA Ra-02.

Figura 21

Diagrama conexión bloque Toma de datos



3.4.3.3. Diseño de la PCB

Para el diseño de la placa se utilizó el software Proteus a continuación, en la Figura 22 y 23 se muestra el diseño con los componentes utilizados para el nodo móvil a ser implementado sobre los bovinos.

Figura 22

Diseño de la PCB del Nodo Móvil.

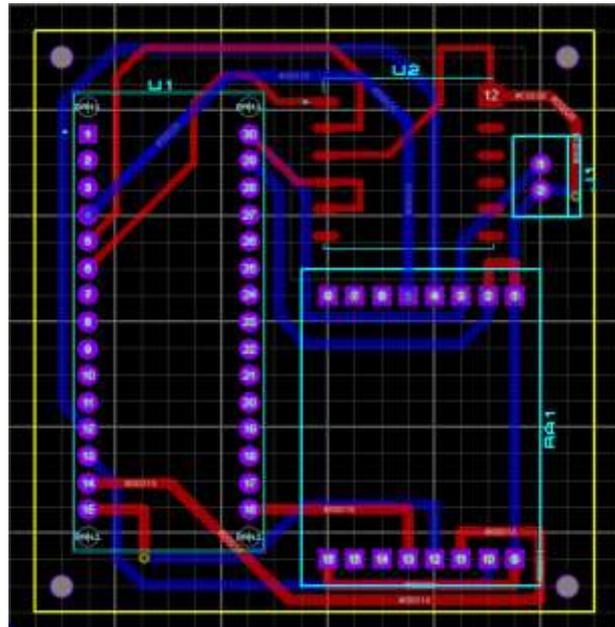
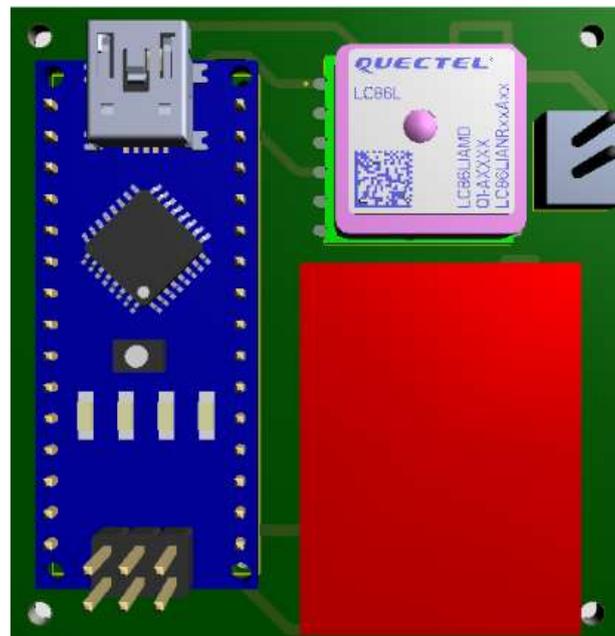


Figura 23

Simulación 3D de la placa del Nodo Móvil.



3.4.3.4. Programación del nodo móvil

En el Anexo 3 se puede visualizar la programación completa de este nodo, Sin embargo, a continuación, detallamos algunas partes relevantes. En la Figura 24, podemos ver la importación de las librerías necesarias, como son librerías de protocolos de

transferencia de datos SPI y comunicación Serial, así también las librerías como TinyGPS++ que nos facilita el trabajo con el módulo GPS y la librería LoRa.h que nos permite realizar el envío y recepción de datos por medio del protocolo Lora.

Figura 24

Importación de librerías

```
1  #include <TinyGPS++.h> // importamos libreria para utilizar el dps
2  #include <Wire.h> //
3  #include <SoftwareSerial.h> // Libreria para crear puertos seriales
4
5  #include <SPI.h> // libreria comunicacion SPI
6  #include <LoRa.h> // libreria para usar el modulo lora
```

A continuación, en la Figura 25, se muestra como declaramos los pines Rx y Tx, para realizar la comunicación con el módulo GPS y en la línea 10 haciendo uso de la librería *SoftwareSerial* creamos un puerto serial el cual lo nombramos *gpsSerial* utilizando los pines declarados previamente Rx, Tx pines 3 y 2 respectivamente y a continuación creamos una extensión de la librería *TinyGPSPlus* la cual la nombramos *gps*.

Figura 25

Declaración de pines RX y TX

```
8  #define rxGPS 3 // declaramos pin puerto rx para el gps
9  #define txGPS 2 // declaramos pin puerto tx para el gps
10 SoftwareSerial gpsSerial(rxGPS, txGPS); // creamos un puerto serie para el gps
11 TinyGPSPlus gps; // extension de la libreria gps
```

En la Figura 26, se muestra la función **enviar_lora** recibe como argumento una sola variable, en la cual se encuentra almacenada la información a enviar, aquí hacemos uso de la librería LoRa donde podemos observar que en la línea 89 iniciamos la transmisión de los datos, a continuación, se realiza el envío de estos para después finalizar

el envío de la información después de esperar un tiempo prudente para que el envío se realice de forma correcta.

Figura 26

Librería LoRa

```

84 void enviar_lora(String datos) {
85     Serial.print("Enviando Paquete: "); // mostramos que se inicio el envio del paquete
86     //Serial.println(counter);
87
88     // send packet
89     LoRa.beginPacket(); // iniciamos la transmision
90     LoRa.print(datos); // enviamos los datos
91     Serial.println(datos); // mostramos los datos enviados
92     // LoRa.print(counter);
93     LoRa.endPacket(2500); // finalizamos el envio del paquete

```

3.4.3.5. Cálculos de Alimentación Eléctrica del Nodo móvil.

Para la alimentación eléctrica del nodo móvil es necesario el uso de un batería debido que este nodo estará implementado sobre el bovino, para ello en la Tabla 27 se realiza un listado de los dispositivos con la cantidad de voltaje y corriente requerido para su funcionamiento.

Tabla 29.

Consumo de voltaje y corriente de los dispositivos del módulo móvil

Dispositivo	Corriente	Voltaje de operación
Arduino Pro-Mini	40 mA * 9 pines =360 mA	(2.5 - 3.7) v
Módulo GPS LC86L	31 mA	(2.8 – 4.3) v
Transceptor Lora Ra-02	TX: 93 mA	(3.3 – 12) v
Total, Corriente= 484 mA		
Total, Voltaje= 3.7 v		

Una vez realizado el cálculo correspondiente se determina que para este nodo es necesario utilizar una batería que trabaje a 3.7 v con una corriente de 500 mA.

3.4.4. Bloque Recepción de datos

Este bloque se refiere al nodo central específicamente al Gateway, el cual consta de un sistema embebido y un módulo LoRa. En la Figura 27, se observa el diagrama de bloques del segundo que corresponde a la recepción de datos enviados por el bloque anterior.

Figura 27

Diagrama de bloques del bloque Recepción de datos.



Etapa 1: Recepción de datos. - Para lograr la mayor precisión el conjunto de datos debe contener suficientes muestras de variación

Etapa 2: Procesamiento de datos. - Se inicia el tratamiento a las imágenes de entrenamiento mediante la biblioteca

Selección de pines

En la Tabla 30, se realiza la selección de pines y se describe como se comunican entre los elementos que intervienen en el nodo móvil: Arduino, la Raspberry y el módulo Lora.

Tabla 30.*Selección de pines Nodo central*

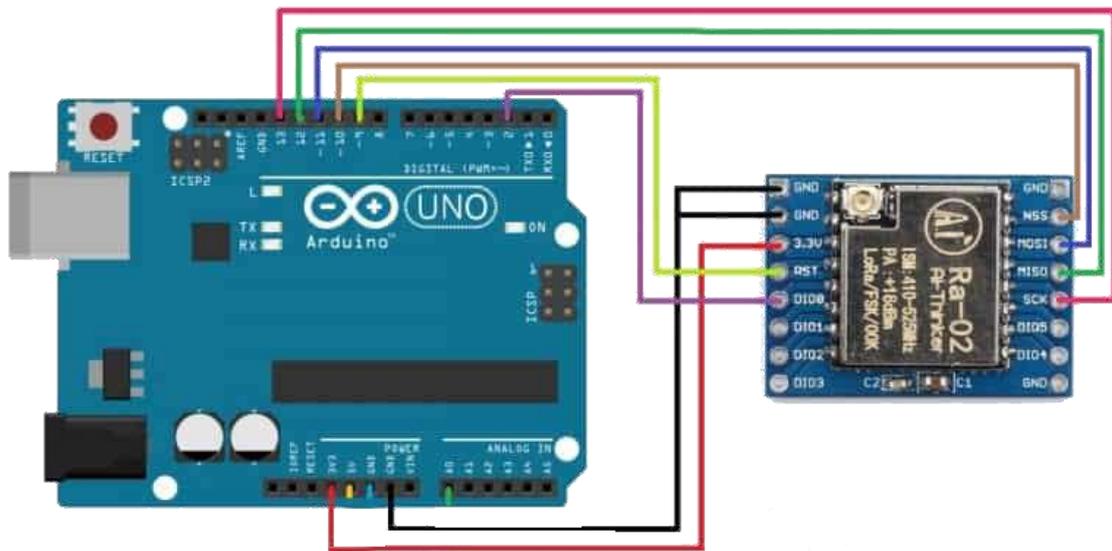
	Arduino	Módulo Lora	Descripción
PINES	SCK	SCK	Velocidad a la que se transmite cada bit.
	MISO	MISO	Recepción de datos desde el otro integrado.
	MOSI	MOSI	Transmisión de datos hacia el otro integrado.
	D10	NSS	Habilita el integrado hacia el que se envían los datos
	GND	RESET	
	3.3V	VCC	Pines de Alimentación.
	GND	GND	

Diagrama de conexión bloque Recepción de datos

Este bloque corresponde al nodo central que es el encargado de recibir la información enviada por el bloque anterior. En la Figura 28, se muestra el diagrama de conexión integrado por una placa de procesamiento un Arduino Uno, un Raspberry Pi y un módulo transceptor LORA Ra-02.

Figura 28

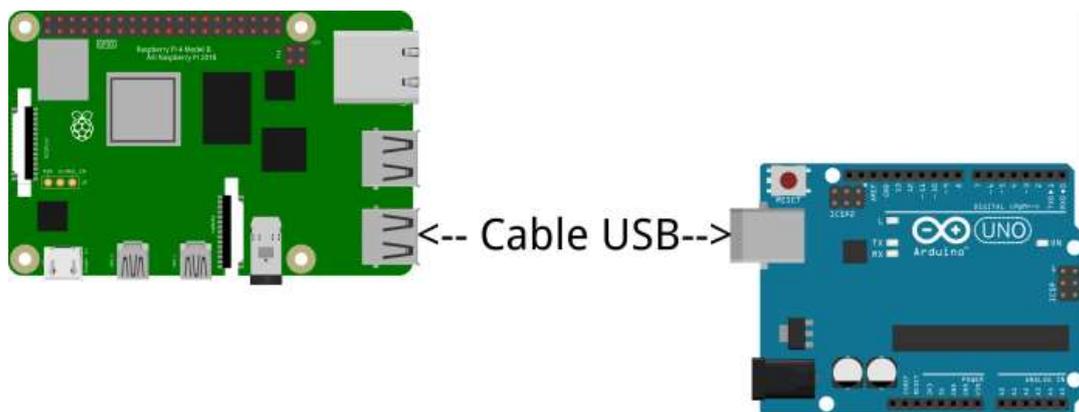
Diagrama conexión bloque Recepción de datos.



En la Figura 29, se muestra la comunicación serial establecida entre el Arduino y la Raspberry para la vinculación del nodo central con Firebase.

Figura 29

Comunicación serial.



Programación del nodo Central

En el Anexo 4 se muestra el código completo. A continuación, en la Figura 30, podemos mirar la importación de las librerías necesarias como lo son *LoRa.h* la cual nos facilita la programación y utilización del módulo Lora.

Figura 30

Importación de librerías.

```
1  #include <SPI.h> // comunicacion SPI
2  #include <LoRa.h> // COMUNICACION Lora
```

A continuación, en la Figura 31, se muestra la programación de la comunicación serial, haciendo uso *Serial.begin* inicializamos la comunicación serial a una velocidad de 9600 Baudios. Seguido de esto comprobamos que la comunicación serial funcione correctamente, en la línea 11, 12 y 13 se verifica la comunicación con el módulo lora funcione correctamente.

Figura 31

Programación de la comunicación serial.

```
6  void setup() {
7    Serial.begin(9600); // iniciamos puerto serie
8
9    while (!Serial); //verificamos comunicacion serial
10   Serial.println("LoRa Receiver");
11   if (!LoRa.begin(433E6)) { // verificamos comunicacion con el modulo lora
12     Serial.println("Starting LoRa failed!");
13     while (1);
14   }
```

Cálculos de Alimentación Eléctrica Nodo central

Para la alimentación eléctrica del nodo central en la Tabla 31, se realiza un listado de los dispositivos con la cantidad de voltaje y corriente requerido para su funcionamiento.

Tabla 31.

Consumo de voltaje y corriente de los dispositivos del módulo central

Dispositivo	Corriente	Voltaje de operación
-------------	-----------	----------------------

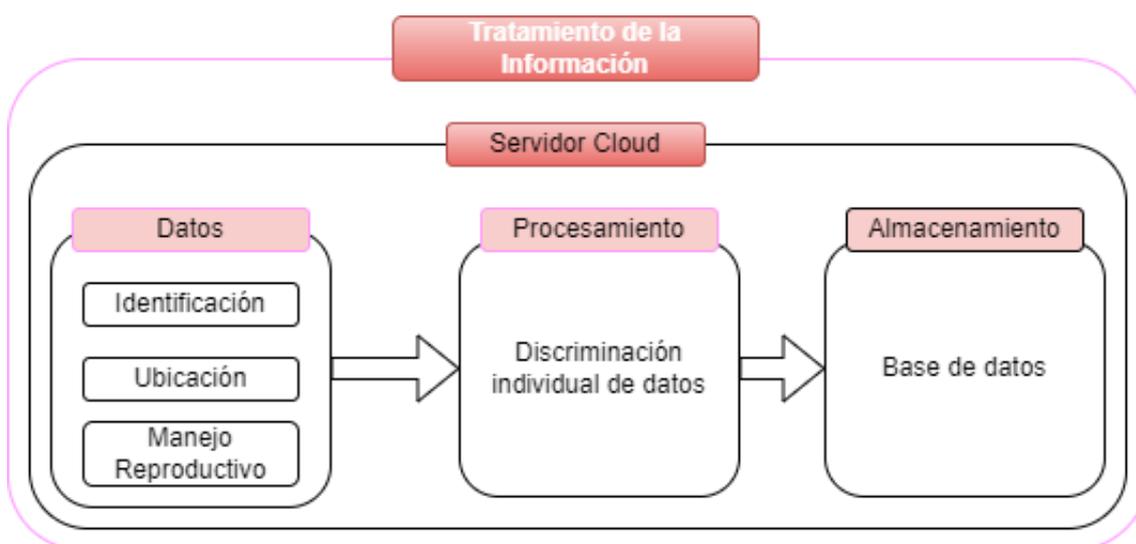
Arduino Uno	40 mA * 6 pines =240 mA	5v
Raspberry Pi	360 mA	5v
Transceptor Lora Ra-02	RX: 12.15 mA	(3.3 – 12) v
Total, Corriente= 612.15 mA		
Total, Voltaje= 5 v		

3.4.5. Bloque Tratamiento de la información

En la Figura 32, se muestra el diagrama de bloques de la etapa de tratamiento de información y los bloques que lo conforman.

Figura 32

Diagrama de bloques etapa de Tratamiento de información.



Etapa 1: Datos. En esta etapa se obtiene y se ingresa los datos de identificación, ubicación y manejo reproductivo a nuestro servidor web.

Etapa 2: Procesamiento. Una vez obtenido los datos es necesario discriminar esta información para poder ser almacenada y posteriormente mostrada.

Etapa 3: Almacenamiento. Esta etapa hace referencia a la base de datos que tiene nuestro sistema para almacenar en la nube la información generada.

Esquema de funcionamiento

Una vez recolectados los datos por el nodo móvil, esta información es enviada al servidor en la nube Firebase mediante conexión a internet utilizando el protocolo HTTP a través de nuestro Gateway, como se observa en la Figura 33, del esquema de funcionamiento general de transmisión de datos a la nube.

Figura 33

Esquema de funcionamiento general de transmisión de datos a la nube.

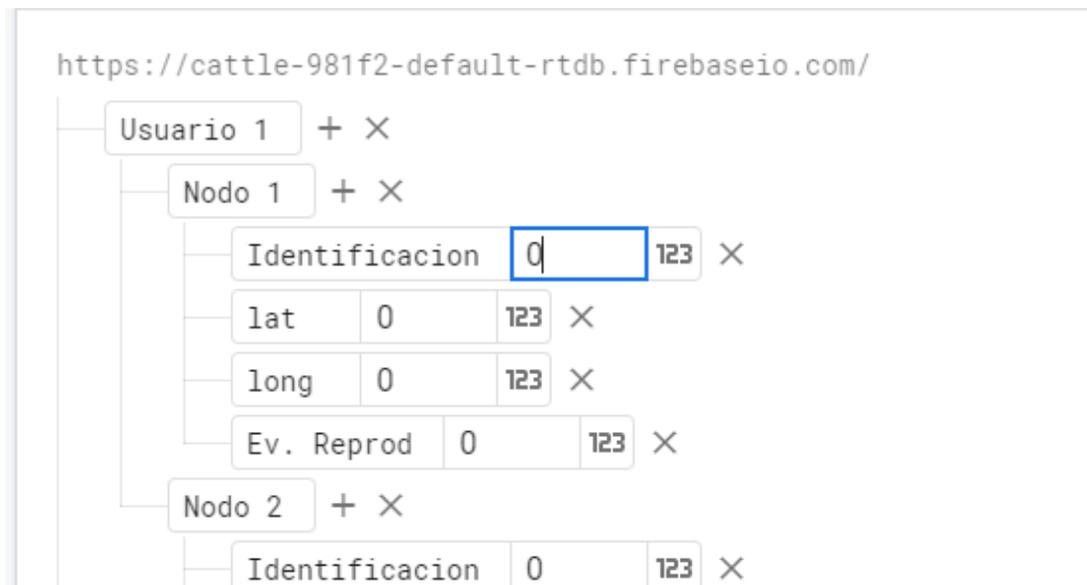


Estructura de la base de datos

A continuación, se define la estructura que tendrá nuestra base de datos dentro del servidor web, en la Figura 34, muestra como esta configurada a través de usuarios que tendrán acceso a la información dependiendo de su rol, en la base de datos cada nodo implementado sobre el bobino que contiene información de identificación, ubicación y eventos reproductivos.

Figura 34

Estructura de la base datos.



Vinculación del Gateway con Firebase

Para la vinculación es necesario una Raspberry el mismo que realizara la función de un Gateway, se programa para que los datos recibidos los organice y los suba a la base de datos en la nube. La programación se encuentra realizada en el lenguaje Python y se explica detalladamente en el Anexo 5.

En la Figura 35, se muestra la librería que nos permite comunicarnos con nuestra base de datos de firebase, además de importar las dependencias necesarias de esta misma librería.

Figura 35

Librerías de Firebase.

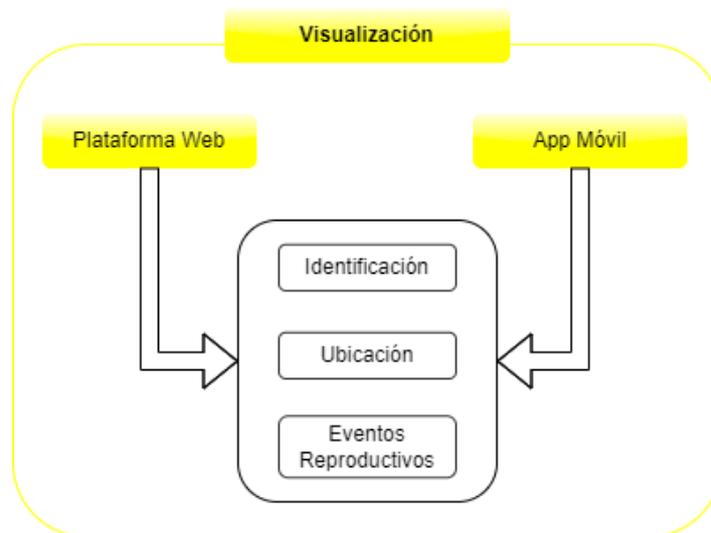
```
2 import firebase_admin # libreria comunicacion con firebase
3 ## importamos dependencias de firebase_admin
4 from firebase_admin import credentials
5 from firebase_admin import db
```

3.4.6. Bloque de Visualización

En la Figura 36, se observa el diagrama de bloques de visualización, en esta etapa del sistema se muestra la información a través de las diferentes plataformas de los datos obtenidos e ingresados.

Figura 36

Diagrama de bloques etapa de Visualización



Etapa 1: Plataforma Web. En esta etapa podemos ver la plataforma web en donde se muestra toda la información.

Etapa 2: App Móvil. Esta etapa hace referencia a la App móvil desarrollada para visualizar los datos del sistema

A continuación, en las Figuras 37 y 38, se muestra el diseño de las plataformas de visualización, para conocer la ubicación del bovino a través de la aplicación web como la aplicación móvil.

Figura 37

Interfaz plataforma web

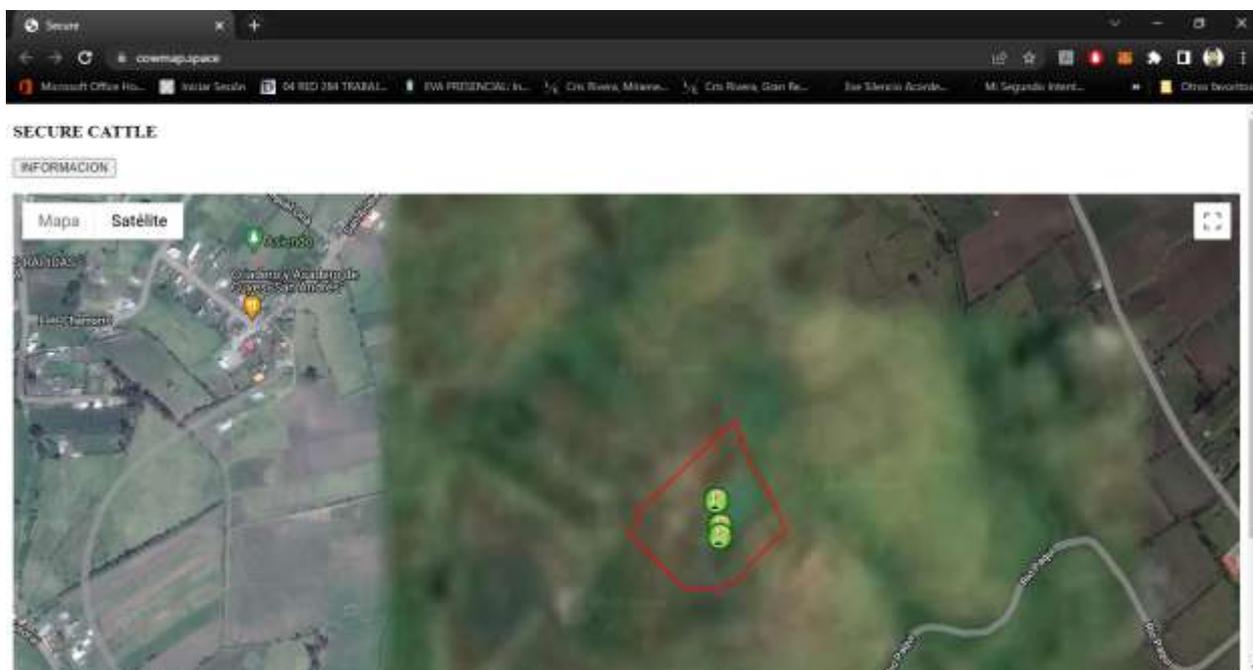


Figura 38

Interfaz App Móvil

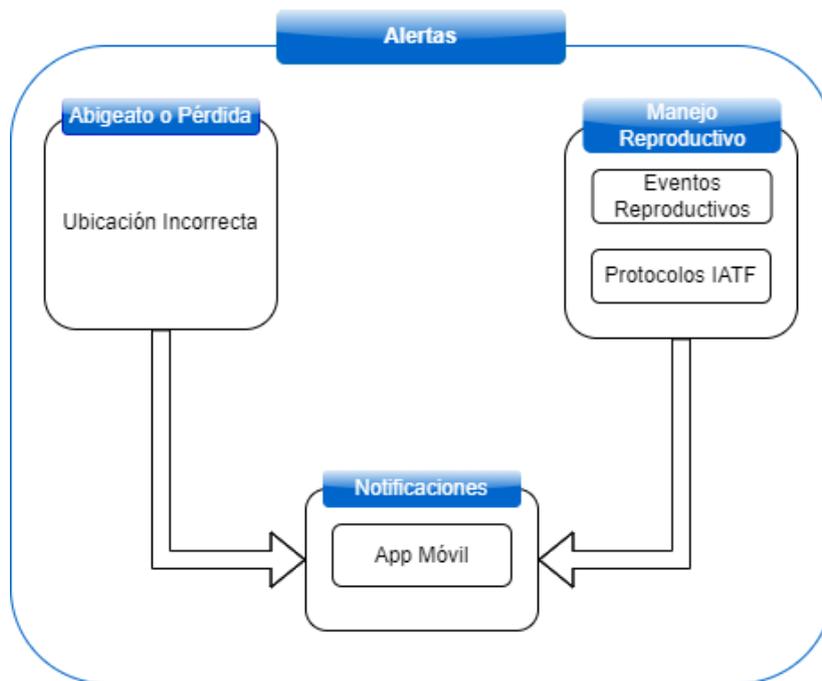


3.4.6.1. Diagrama de bloques de la etapa de Alertas

En la Figura 39, se muestra el diagrama de bloques de las Alertas en donde se identifica las notificaciones que se generan a través de los datos obtenidos e ingresados.

Figura 39

Diagrama de bloques etapa de Alertas.



Etapa 1: Abigeato o pérdida. En esta etapa se hace referencia a las notificaciones que se generan a partir de la comparación de los datos recolectados y el área de pastoreo del ganado.

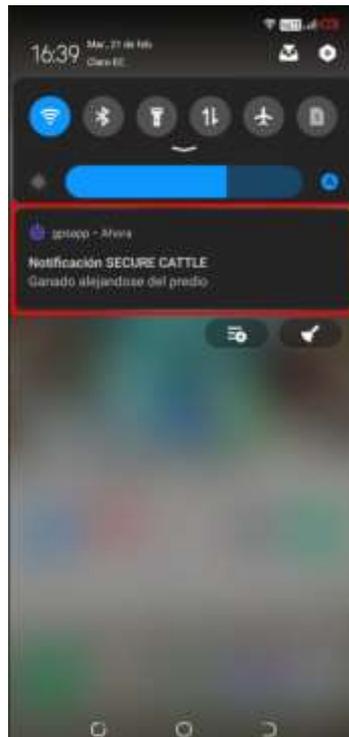
Etapa 2: Manejo reproductivo. – Las alertas en esta etapa se generan a partir de los datos ingresados por el usuario de cada animal del hato ganadero.

Etapa 3: Notificaciones. Las notificaciones para los dos casos mencionados anteriormente se las generan a manera de notificación en la App móvil.

En la Figura 40, se muestra las formas de notificaciones que genera el sistema para los diferentes eventos y las alertas sobre la aplicación móvil.

Figura 40

Alertas generadas por el sistema.



CAPÍTULO IV IMPLEMENTACIÓN Y VERIFICACIÓN DE “SECURE CATTLE”.

En este capítulo se describe detalle a detalle toda la implementación del sistema y las adecuaciones realizadas para poder llegar a la fase de verificación de “Secure Cattle” mediante las pruebas de funcionamiento.

4.1. FASE 3: Implementación del sistema

En esta fase se describe la implementación, como se va complementando cada parte del hardware necesario para poner en funcionamiento el sistema. A continuación, se detalla la implementación del nodo móvil, seguido del nodo central.

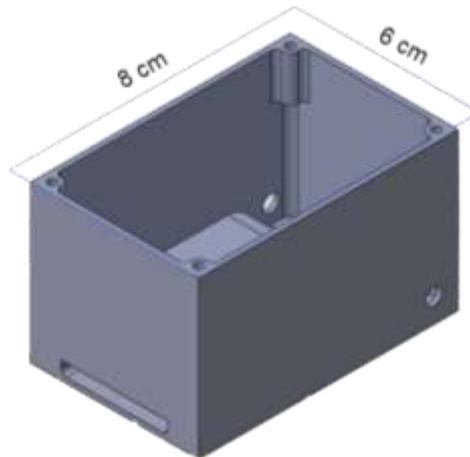
4.1.1. Implementación del Nodo Móvil

Una vez con la placa terminada con todos los componentes necesarios para el funcionamiento de este nodo. En la Figura 41. se detalla el diseño de un case protector el

cual cubrirá al nodo del polvo la humedad y factores externos, además sirve para proteger el circuito y su alimentación eléctrica.

Figura 41

Case protector del nodo



Para la implementación de este nodo sobre los bovinos, se realiza mediante un collar utilizado en la ganadería para identificación, al cual se adhiere el sistema como se muestra a continuación en la Figura 42.

Figura 42

Nodo móvil adherido al collar.



4.1.2. Implementación del Nodo Central o Gateway

Para la implementación de este nodo es necesario dividirlo en dos partes; la primera la cual que consta de la Raspberry y es necesario colocarla en donde sea posible

realizar la conexión eléctrica y de red para que la información sea enviada hacia nuestra base de datos.

Figura 43

Nodo central



La segunda parte consta del circuito receptor LoRa como se muestra en la Figura 44. El cual es implementado de igual manera en un case protector y posteriormente ubicado en una parte alta, ya que eso permite que haya línea de vista con los nodos móviles y así poder establecer la comunicación.

Figura 44

Circuito receptor LoRa



4.2.FASE 4: Verificación del sistema

En esta fase se describen los resultados obtenidos a partir de la implementación, que corresponde a las pruebas de funcionamiento. En donde se comprueba el funcionamiento correcto de los componentes electrónicos, la comunicación y la gestión de la información.

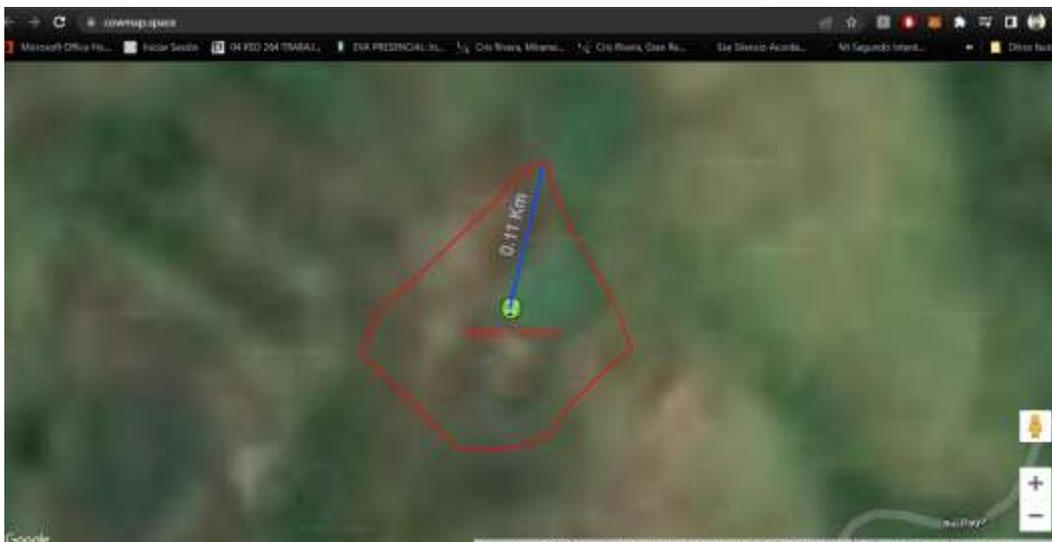
4.2.1. Ubicación de los nodos

Para realizar la verificación del sistema en campo es necesario establecer el lugar en el cual el “Secure Cattle” será sometido a prueba, el lugar fue elegido por la factibilidad. Se elige una propiedad con una extensión de tres hectáreas aproximadamente equivalente a 30.000 m², ubicada en el sector rural “El Totoral” perteneciente a la parroquia San José del Cantón Montúfar.

A continuación, en la Figura 45 se muestra la ubicación de los nodos, en el cual el nodo central será un punto fijo y los nodos móviles se encuentran dentro del área denominada “zona segura”, entonces se hace referencia al punto más lejano como posible ubicación del nodo móvil para representar su ubicación.

Figura 45

Ubicación de los nodos



4.2.1.1. Nodo Central

La ubicación del nodo central como se mencionó anteriormente fue necesario dividirlo en dos partes en donde la primera parte se optó por ubicarla dentro de la vivienda por la facilidad del acceso a la energía eléctrica para la alimentación y al internet para el tratamiento de la información. Como se muestra en la Figura 46.

Figura 46

Ubicación nodo central



La segunda parte del nodo corresponde al circuito receptor LoRa, el cual fue ubicado en la parte alta junto a la vivienda a 3.50 m aproximadamente con la finalidad de conseguir línea de vista a todos los puntos del área de prueba y poder establecer comunicación entre los nodos móviles y el nodo central. Como se muestra en la Figura 47.

Figura 47

Ubicación circuito receptor LoRa



4.2.1.2. Nodo Móvil

El nodo móvil adherido al collar está listo para ser implementado sobre el bovino como se muestra en la Figura 48 para iniciar con la adquisición de datos de posicionamiento y proporcionar la ubicación en tiempo real y así observar como se desplaza el bovino en el área de pastoreo.

Figura 48

Implementación de "Secure Cattle"



4.2.2. Cronograma de pruebas

Una vez terminado el diseño y la implementación del sistema es necesario realizar pruebas de funcionamiento en campo. De esta forma se podrá evaluar el desempeño del sistema la toma de datos de ubicación, el envío y tratamiento de la información, para tomar las acciones necesarias en caso de presentar algún tipo de falla.

Las pruebas a realizar consisten en verificar el correcto funcionamiento de los dos nodos que conformar el sistema, tanto el nodo móvil encargado de la recolección de la ubicación de los bovinos como el nodo central encargado de la recepción y tratamiento de estos datos en la Tabla 32, se muestra el cronograma de pruebas realizadas.

Tabla 32.*Cronograma de pruebas*

Cronograma de Pruebas			
Tipo de prueba	Lugar de Prueba	Resultado	Duración
Verificación del funcionamiento del nodo móvil	Propiedad ubicada en el sector rural “El Totoral”	Recolección de datos por el nodo móvil	2 días
Verificación del funcionamiento del nodo central o Gateway	Vivienda de la Propiedad ubicada en el sector rural “El Totoral”	Recepción de los datos mediante comunicación LoRa	3 días
Tratamiento y envío de la información previo a la presentación de los datos	Vivienda de la Propiedad ubicada en el sector rural “El Totoral”	Se espera que los datos sean publicados en tiempo real sobre las plataformas	5 días
Generación de alertas por los cambios de ubicación de los bovinos	Alrededores de la propiedad ubicada en el sector rural “El Totoral”	Aviso pertinente al ganadero de posible abigeato	5 días

A continuación, en la sección 4.2.3. se menciona de una manera más detallada las pruebas expuestas en la Tabla 32.

4.2.3. Pruebas en campo

Una vez ubicados los nodos correctamente, se procede a delimitar el área de pastoreo esta se llamará “Zona Segura” para lo cual fue necesario tomar los puntos geográficos del contorno de la propiedad como se muestra en la Figura 49.

Figura 49

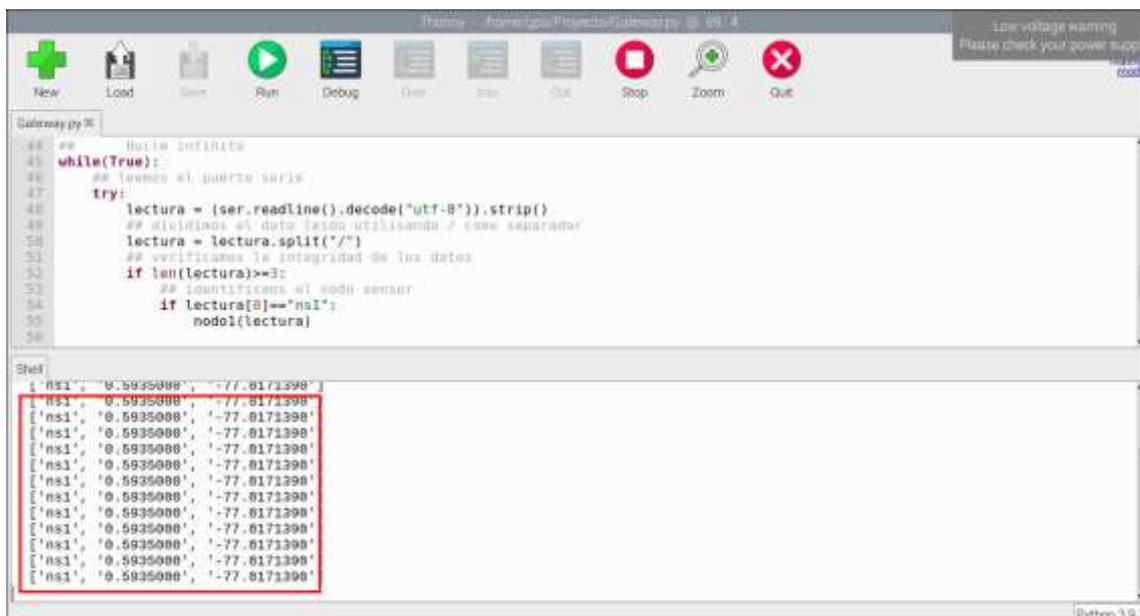
Zona segura



El nodo móvil se encuentra colocado sobre el bovino empieza a capturar datos sobre latitud y longitud para obtener la ubicación, estos datos son enviados a través de la comunicación LoRa y receptados por el Gateway. En la Figura 50 se puede observar como los datos pueden ser apreciados de manera local en la pantalla del nodo central.

Figura 50

Datos visualizados localmente.



Esta información que se aprecian anteriormente es enviada a través de internet a la base de datos Firebase para ser discriminados datos válidos y no válidos como lo observamos en la Figura 51 para luego ser visualizados en las plataformas de aplicación.

Figura 51

Datos en Firebase



Así como la información se va actualizando en Firebase de igual manera se va actualizando los datos en las plataformas de visualización. A continuación, en la Figura 52 podemos observar como los bovinos se encuentran dentro de la zona segura.

Figura 52

Bovinos dentro de la zona segura



De igual manera se puede apreciar la ubicación de los bovinos reflejada en la aplicación móvil como se muestra en la Figura 53 y la misma información se aprecia en el sitio web www.cowmap.space Figura 54, confirmando en este caso la ubicación de los bovinos se encuentran dentro del cerco virtual que corresponde al área de pastoreo.

Figura 53

Ubicación del bovino en la Aplicación móvil

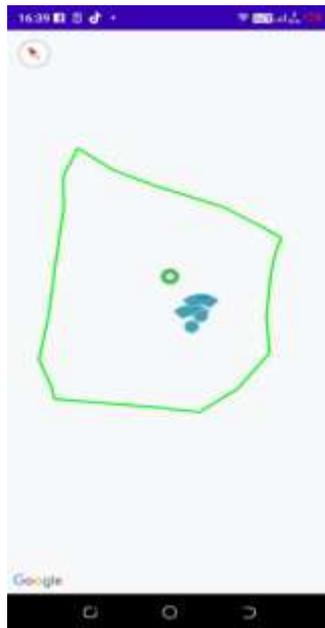
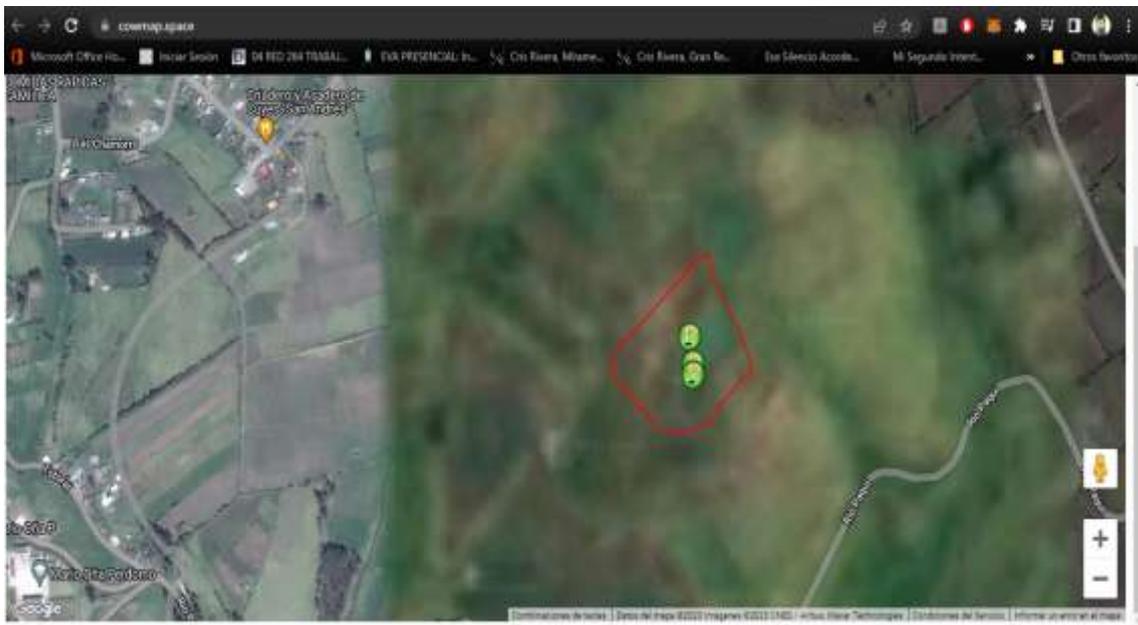


Figura 54

Ubicación del bovino en la plataforma Web



4.2.3.1. Prueba en caso de posible abigeato

Para poder generar las alertas en caso de un posible abigeato es necesario realizar una triangulación entre un punto central, los bordes y el nodo móvil en base a esto se

genera la alerta al propietario del ganado a través de las plataformas de visualización una vez el bovino salga de la cerca establecida.

En la Figura 55 se observa el punto de referencia situado de manera central que es el punto con el que se establece la comparación para verificar si el nodo esta dentro o fuera del área de la zona segura.

Figura 55

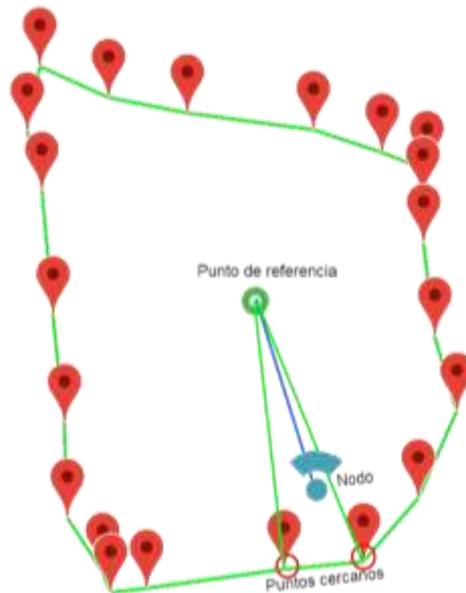
Punto de referencia.



En el caso que el nodo se encuentra dentro de la zona segura, se determina de la siguiente manera; se capta la ubicación del nodo, se mide la distancia del nodo al punto de referencia y se compara la distancia con los dos puntos más cercanos; y si la distancia al punto de referencia es menor a los dos puntos más cercanos al nodo entonces significa que el nodo esta dentro de la zona segura. Como se indica en la Figura 56.

Figura 56

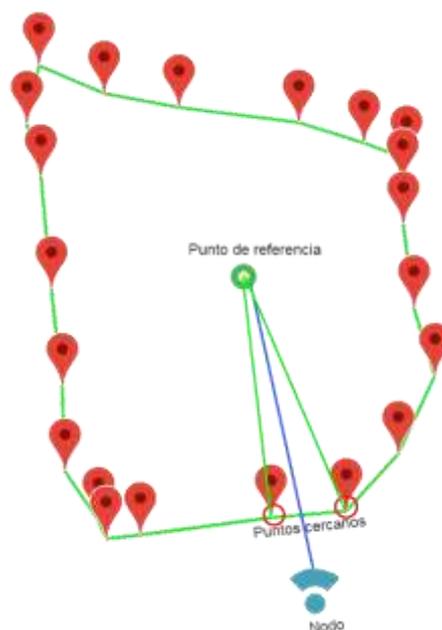
Nodo dentro de la zona segura.



Para el caso cuando el nodo sale de la zona segura, se establece de igual manera a la comparación anterior, entre los puntos más cercanos y el nodo se compara la distancia en este caso la distancia del nodo al punto de referencia será mayor a la de los puntos más cercanos. Como se muestra en la Figura 57.

Figura 57

Nodo fuera de la zona segura



Para experimentar la respuesta del sistema se realiza la prueba de sacar el ganado fuera de la zona segura entre estas, el animal que está colocado el collar con el sistema como se puede observar en la Figura 58.

Figura 58

Bovinos fuera de la zona segura



Se puede observar que se genera una alerta en la aplicación de “ganado alejándose del predio” como se muestra en la Figura 59. Lo cual al ingresar a mirar la ubicación podemos constatar que efectivamente el bovino se encuentra fuera de la zona segura como se muestra en la Figura 60.

Figura 59

Notificación de posible abigeato

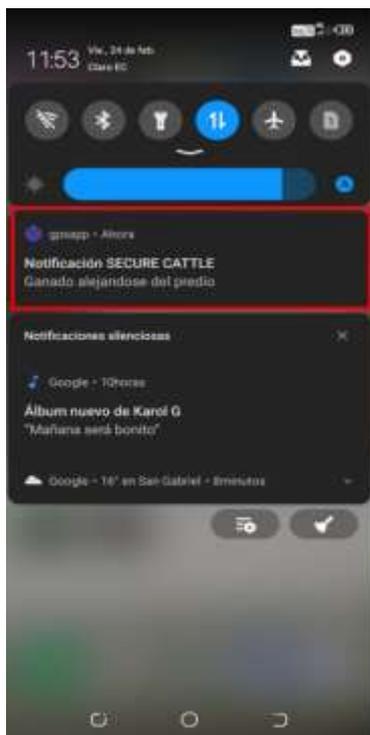
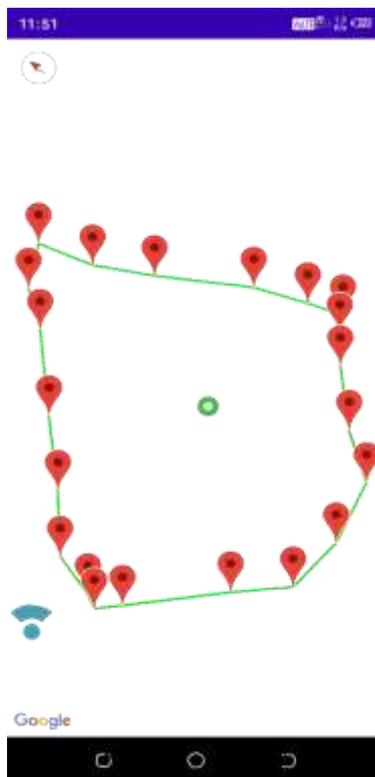


Figura 60

Ubicación de bovino fuera de la zona segura



4.2.3.2. Prueba de eventos reproductivos

Las pruebas para los eventos reproductivos se los realiza en el bovino de nombre “Consentida” y con el apoyo del profesional encargado del hato ganadero, empieza en el momento de ingresar la información de identificación. Como se muestra en la Figura 61.

Figura 61

Registro de animales.

Nombre	Número	Parto
Estrella	18	<input type="checkbox"/>
Consentida	25	<input checked="" type="checkbox"/>

La parte marcada de la figura 61, nos indica el punto de partida del manejo reproductivo y este empieza desde el momento en que la vaca da cría, es decir el parto. Al marcar esta opción se activa el proceso para llevar el control del animal hasta que inicie su siguiente gestación de manera óptima.

Una vez terminado el parto la vaca inicia el periodo puerperio el cual dura entre 25 a 35 días aproximadamente por lo cual a los 30 días se realiza una ecografía bovina

por profesional encargado mediante el uso de ecógrafo veterinario, como se muestra en la Figura 62.

Figura 62

Ecografía bovina



A continuación, en la Figura 63, muestra como se registra en la App en “Si” la ecografía realizada por el profesional quien indica que la vaca a iniciado su ciclo estral de manera correcta, por lo cual en los 30 días posteriores la vaca debe presentar celo natural o caso contrario se hará uso de un protocolo IATF para obtener eficiencia en el manejo reproductivo.

Figura 63

Registro de Ecografía



Para este caso, concluidos los 30 días no hay indicadores que la vaca presente celo natural, por lo que es necesario hacer uso de un protocolo IATF como indica la Figura 64, para poder preñar al bovino.

Figura 64

Selección manejo reproductivo



A continuación, en la Figura 65, se elige el protocolo a criterio del profesional y se inicia con lo que indica a realizar el protocolo J-SYNCH.

Día 00: Dispositivo + 2 ml de Benzoato Estradiol

Día 06: Retirar Dispositivo + 2 ml de Prostaglandina

Día 09: 2,5 ml de gonadorelina: IATF

Figura 65

Protocolos IATF



La finalidad principal de agregar el manejo reproductivo a este sistema es evitar pérdidas de tiempo en el ciclo reproductivo del ganado logrando eficiencia reproductiva, a través de un procedimiento guiado por un profesional y con ayuda de alertas que se generan de manera oportuna para no olvidar ninguno de estos procesos, es posible lograr mantener una economía animal completa y sostenible.

4.2.4. Limitaciones del sistema

Luego de realizar las pruebas de funcionamiento se puede establecer algunos parámetros que podrían ser considerados limitaciones dentro del sistema.

- El rango de cobertura no se pueda establecer a más de 100 metros de nuestra zona segura debido a las interferencias que se presentan como árboles que impiden que exista línea de vista.

- El monitoreo continuo de la ubicación del hato ganadero hace que el consumo de alimentación eléctrica también sea continuo por lo que existe la necesidad de estar reemplazando baterías cada 7 u 8 días

4.2.5. Seguridad física del sistema

Para protección y seguridad del sistema en caso de corte o algún desperfecto que pueda presentarse al tratar de quitárselo, se optó por rodear el collar con hilo conductor para que el sistema también genere una alerta de “Collar cortado” y el propietario y pueda actuar oportunamente.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica realizada para esta investigación es necesaria para conocer las condiciones de vida de los animales en este caso los bovinos obteniendo de esta manera parámetros importantes como requerimientos técnicos para el desarrollo del sistema.

A través del levantamiento de información realizado a los ganaderos de los sectores rurales del cantón Montúfar se pudo conocer la situación actual entorno a la problemática.

Gracias a la metodología aplicada se obtuvo una manera ordenada y secuencial para completar el desarrollo del sistema, cumpliendo con los requerimientos establecidos para cada una de las fases del modelo.

Se construyó un sistema con el uso de la tecnología LoRa para prevención del abigeato dentro del sector ganadero del cantón, aportando así una herramienta capaz de contribuir a la seguridad de los animales ante esta posible amenaza y promoviendo el desarrollo de la ganadería inteligente en el Ecuador.

Mediante las pruebas realizadas del sistema se pudo obtener resultados favorables a la investigación logrando establecer comunicación LoRa entre los nodos móviles y el nodo central, obteniendo un máximo de 120 metros de alcance.

El alcance máximo de la comunicación es de 120 metros en campo abierto y manteniendo siempre línea de vista en donde se garantiza la entrega de los datos de ubicación en tiempo real, lo cual fue ideal para la propiedad en la que el sistema se puso

a prueba, en caso de tener una mayor extensión de terreno será necesario implementar otro nodo central y así mantener la comunicación.

El tiempo estimado para la generación de las notificaciones dependerá en parte de la conectividad a internet que se tenga, y también del nivel de carga de las baterías por lo que se determinó realizar un cambio cada 8 días tomando en cuenta que el sistema está activo durante las 24 horas del día, en las pruebas realizadas se obtuvo un retardo de 60 a 86 segundos.

La visualización de los datos obtenidos por el GPS es de fácil interpretación en la plataforma móvil para el usuario ya que permite visualizar y alertar de los eventos que se generan de una manera intuitiva y funcional.

5.2. RECOMENDACIONES

El sistema desarrollado sirve de base para proyectos futuros con otros tipos de ganado y adecuado para obtener otros datos relacionados con salud, alimentación y producción contribuyendo de mejor manera al ganadero.

El nodo denominado central o Gateway debe estar ubicado en una parte lo suficientemente alta para poder aprovechar todas las prestaciones que la tecnología LoRa nos brinda ya que es necesario establecer línea de vista con los nodos móviles.

Se recomienda el uso de paneles solares como alternativa frente a la descarga de baterías, haciendo mas prolongado el tiempo entre cambio y cambio, alimentando así las baterías durante el día y únicamente el consumo durante la noche, teniendo en cuenta que el sistema deberá está activo durante las 24 horas del día.

Al realizar proyectos de comunicación inalámbrica se debe considerar el escenario y muchos factores como: cobertura, obstrucciones, geografía del terreno, distancias,

tiempos de respuesta entre otros. Con la finalidad de elegir con dispositivos adecuados al diseño para garantizar la fiabilidad de la información.

Para la elección de software y hardware en las diferentes etapas del sistema es necesario considerar costos, factibilidad y disponibilidad de los mismos para de esta manera sea más fácil poder ejecutar el desarrollo y finalización del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, A. (2018). *SISTEMA DE MONITORIZACIÓN Y CONTROL DE GANADO VACUNO POR MEDIO DE TECNOLOGÍA INALÁMBRICA PARA PREVENCIÓN DE ABIGEATO*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.
- Alliance, L. (2015). A technical overview of LoRa and LoRaWAN.
- Arciniega, F. (2021). *Fernando Arciniega Programador Web y Diseñador Gráfico*. Obtenido de <https://fernandoarciniega.com/metodologia-de-cascada/>
- Asamblea Constituyente. (2008). *Constitución De La República Del Ecuador*. Quito: Asamblea Constituyente. Obtenido: <https://www.wipo.int/edocs/lexdocs/laws/es/ec/ec030es.pdf>.
- Avila Cueva, E., & Parra Ordóñez, M. (2020). *Desarrollo de un prototipo de red LPWAN con tecnología lora para la detección de intrusos en las viviendas de una zona residencial*. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21345/1/CD%2010862.pdf>
- Buestán Vera, J. (2019). *Desarrollo de una red IoT con tecnología lora para detección de automóviles*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16897/1/UPS-ST003910.pdf>
- Cangrejo Aguirre, D., & Hernández López, D. (2019). *Sistema de apoyo a la prevención del abigeato de ganado bovino utilizando tecnologías IoT y Cloud*. Bogotá: Universidad Santo Tomás. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/17515/2019danielacangrej o.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Capdevila, L. A. (2020). *Manejo reproductivo de hembras Hereford, en una cabaña del Valle Medio, provincia de Rio Negro, Argentina*. Universidad Nacional de Río Negro.
- Cattaneo, L. (2020). MINI VADEMÉCUM REPRODUCCIÓN DE GRANDES ANIMALES. *Zoovet*, 2.
- Cerón, J. H. (2013). *Manejo reproductivo en bovinos*.
- Cevallos, C., & Muñoz, D. (2020). *DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA REDUCCIÓN DEL ABIGEATO EN LA HACIENDA LA CAPILLA DE LA CIUDAD DE TULCÁN*. Quito: UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE QUITO.
- Cevallos, O. F. (2017). *Caracterización morfológica y molecular del bovino criollo en la provincia de Manabí (Ecuador)*. Obtenido de Universidad de Córdoba: <https://helvia.uco.es/handle/10396/14825>
- COIP. (2014). *Código Integral Penal*. Quito: Editora Nacional.
- GAD-Montúfar. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Montúfar 2015 -2031*. San Gabriel: GAD-Montufar. Recuperado

de:http://www.gadmontufar.gob.ec/documents/PD%20y%20OT%20%20MONTUFAR%202015_2031.pdf.

- GAD-Montúfar. (2020). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL - ACTUALIZACION 2020-2035*. San Gabriel : GAD-Montufar. Recuperado de: <http://www.gadmontufar.gob.ec/archivos/PDOT2020-2035.pdf>.
- García González, A. (14 de Octubre de 2019). *¿Qué es LoRaWAN y para qué se utiliza?* Obtenido de <http://panamahitek.com/que-es-lorawan-y-para-que-se-utiliza/>
- Heredia Rivadeneira, A., & Lucero Andrade, P. (2021). *Diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores con tecnología LoRa para monitoreo industrial orientado a OPC de arquitectura unificada*. Cuenca: Universidad de Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/35875/1/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n.pdf>
- Hidalgo, M. R., Vargas, O. N., & Vite, H. A. (2020). *Análisis situacional de la actividad ganadera en la parroquia Palmal del cantón Arenillas*. . Obtenido de Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas, 3(2), 124-130.: <https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/14825/2017000001589.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Horrach, M., Bertot, J., Vázquez, R., & Garay, M. (2020). *Eficiencia reproductiva de sistemas vacunos en inseminación artificial. Tendencias actuales y perspectivas*. Obtenido de Revista de Producción Animal, 32(3): http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-79202020000300070
- INEC-ESPAAC. (2020). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAAC) 2019*. Quito: INEC, Recuperado de: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Presentacion%20de%20los%20principales%20resultados%20ESPAAC%202019.pdf.
- López, F. A., Herrera, A. C., García, G., Múnera, O. D., & Cerón, M. F. (2011). *Caracterización reproductiva en vacas Holstein del departamento de Antioquia*. Obtenido de Rev Colomb Cienc Pecu; 24:3: <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v24n3/v24n3a35.pdf>
- López, J. F. (25 de 02 de 2020). *Tipos de ganadería*. Obtenido de Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/tipos-de-ganaderia.html>
- Lora Alliance. (2020). *About LoRa Alliance*. Obtenido de <https://lora-alliance.org/about-lora-alliance/>
- Marizancén, M. A., & Pimentel, L. A. (2017). *Mejoramiento genético en bovinos a través de la inseminación artificial y la inseminación artificial a tiempo fijo*. Obtenido de Revista de investigación Agraria y ambiental Vol. 8 Núm.2: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/2050>

- Medina, S., Romero, F., De Giusti, A., & Tinetti, F. (2018). Análisis para Despliegue de una Red de Sensores. *XXIV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*, 787-796. Obtenido de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/73360/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Menoscal, A. E. (2020). *La Actividad Ganadera Caprina Y Su Incidencia En El Desarrollo Económico De Los Habitantes De La Parroquia Membrillar Del Cantón Jipijapa*. Obtenido de Universidad Estatal del sur de Manabí: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2344>
- Millet, C. E. (2016). *Estrategias de comercialización de pequeños productores agroalimentarios con enfoque agroecológico. Departamento Belgrano, provincia de Santa Fe, Argentina. 2000 -2009. Estudio de caso*. Obtenido de Universidad Nacional del Litoral: <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/handle/11185/1059>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2017). *Plan Estratégico Institucional 2017 - 2021*. Quito: MAG. Recuperado de: https://www.agricultura.gob.ec/wp-content/uploads/2020/09/AM_068_PEI2.pdf.
- Moreno, S., Ibarra, F. A., Martín, M. H., Retes, R., Hernández, J. E., & Rodríguez, J. d. (2018). *Importancia Económica De La Eficiencia De Producción De Becerras Utilizando Diversas Alternativas De Producción Y Manejo En El Centro De Sonora, Mexico*. Obtenido de Revista Mexicana de Agronegocios, vol. 43, pp. 107-116: <https://www.redalyc.org/journal/141/14158242010/html/>
- Naveros Flores, M. L., & Huanca Mamani, T. (2014). *ABC DEL INSEMINADOR EN GANADO VACUNO DE LECHE*. Ayacucho: INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA - INIA.
- Ospino, J., & Verastegui, J. N. (2018). *Caracterización de los sistemas de producción ganadera en la Comunidad Campesina de Tactayoc - Santa Ana de Tusi - Pasco*. Obtenido de Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2262>
- Quispe Robles, K. (2021). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN LORAWAN PARA LA LOCALIZACIÓN DE VICUÑAS EN LA COMUNIDAD PRIMER CHIMPA JILAHUATA – AZÁNGARO - AZÁNGARO - PUNO*. Puno: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO.
- Reimondo, G. (22 de Marzo de 2019). *Geolocalización de LoRaWAN*. Obtenido de <https://humanizationoftechnology.com/geolocalizacion-en-lorawan/revista/2019/volumen-2-2019/03/2019/#:~:text=La%20infraestructura%20LoRaWAN%20%E2%84%A2%20proporciona,alimentados%20por%20medio%20de%20bater%C3%ADas>.
- Reyes, J. A. (2012). *Desarrollo e implementación de la ganadería intensiva, para una mejor comercialización de carnes bovina en la finca "El Cortijo Las Marías"*. Obtenido de Universidad Autónoma de Occidente:

https://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/ECONOMICAS_6/Administracion_de_Empresas/12.pdf

Risso, I. (2022). *Domina el modelo en cascada y potencia al máximo tus proyectos de software*. Obtenido de <https://www.crehana.com/blog/desarrollo-web/modelo-en-cascada/>

Rivas, J. (29 de Abril de 2021). *Arquitectura de red en LoRaWAN*. Obtenido de <http://lora-panama.com/arquitectura-de-red/>

Salcedo, S., & Guzmán, L. (2015). *Agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. Obtenido de FAO: <https://www.fao.org/3/i3788s/i3788s.pdf>

Sánchez, A. S. (2010). *Parámetros Reproductivos de Bovinos*. Veracruz: Universidad Veracruzana. Obtenido de https://www.uv.mx/personal/avillagomez/files/2012/12/Sanchez-2010._Parametros-reproductivos-bovinos.pdf

Sequeira, L. T. (2013). *Compendio sobre reproducción animal*. Obtenido de Universidad Nacional Agraria: <https://cenida.una.edu.ni/textos/nl53t683c.pdf>

Signi. (2019). *Significado de Ganadería*. Obtenido de <https://www.significados.com/ganaderia/>

Vallejo, E. S. (2021). *Modelo de Gestión Empresarial para el mejoramiento de la Producción Ganadera de la Asociación de Ganaderos "A.G.B." del cantón Balzar, provincia del Guayas*. Obtenido de Universidad Estatal Del Sur De Manabí: <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3251/1/TESIS%202021-EDISON%20VALLEJO.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Formato de encuesta realizada a los ganaderos y moradores de distintos sectores rurales del cantón Montúfar.



ENCUESTA

Esta encuesta está dirigida a los ganaderos y moradores de distintos sectores rurales del Cantón Montúfar, la misma que tiene por objetivo diagnosticar el contexto actual entorno al manejo reproductivo bovino y al abigeato, además analizar los parámetros adecuados que tendrá el sistema.

INSTRUCCIONES

- Lea atentamente cada una de las preguntas, revise todas las opciones y elija la alternativa que mejor lo identifique.
- Marque con una (X) la alternativa seleccionada.

Seleccione la parroquia a la cual pertenece:

González Suárez	
San José	
Cristóbal Colón	
Chitan de Navarretes	
Fernández salvador	
La paz	
Piartal	

Pregunta N°1: ¿Conoce Ud. la importancia del manejo reproductivo bovino?

Si _____

No _____

Pregunta N°2: ¿Cómo Ud. lleva el registro del manejo reproductivo de su ganadería?

Bitácoras_____

Tarjetas reproductivas_____

Cuadernos_____

Calendarios de pared_____

Sistema informático_____

Ninguno_____

Pregunta N°3: ¿Qué métodos piensa Ud. que es adecuado para obtener eficiencia reproductiva dentro de la ganadería?

Buena alimentación_____

Buena genética_____

Buen manejo_____

Ninguno_____

Pregunta N°4: ¿En el último año Ud. ha sido víctima de robo o pérdida (abigeato) de ganado?

Si_____

No_____

Pregunta N°5: ¿Qué método utiliza Ud. para prevenir el robo o pérdida de ganado?

Vigilancia Nocturna_____

Encierro del ganado en establos_____

Sistemas de geolocalización_____

Personal de vigilancia_____

Ninguno_____

Pregunta N°6: ¿Le gustaría contar con un sistema de geolocalización que permita conocer la ubicación de su ganado, además tener control sobre el manejo reproductivo?

Si_____

No_____

Pregunta N°7: ¿Las alertas generadas por el sistema con qué frecuencia le gustaría recibirlas?

Solamente cuando exista posible abigeato o pérdida_____

Solamente cuando existan eventos reproductivos pendientes_____

Solamente cuando usted lo solicite_____

Todas las anteriores_____

Pregunta N°8: ¿Qué tipo de medio considera el adecuado para recibir las alertas?

Mensajes de texto (SMS)_____

Mensajes de la aplicación (App Móvil) _____

Alertas en la plataforma Web_____

Todas las anteriores_____

Pregunta N°9: En cuanto al dispositivo móvil. ¿Qué sistema operativo Ud. utiliza?

Android_____

Apple_____

Otro_____

No sabe_____

Pregunta N°10: En cuanto al tamaño del dispositivo a implementarse en el bovino. ¿Cuál de las siguientes opciones considera Ud. la adecuada?

Lo más pequeño posible_____

Mediano_____

El tamaño me parece indiferente_____

Pregunta N°11: En cuanto la alimentación eléctrica del dispositivo. ¿Cuál de las siguientes opciones considera Ud. que es la adecuada?

Con baterías recargables_____

Con baterías desechables_____

Pregunta N°12: Para el manejo y acceso a los datos del sistema, ¿Cuál de las siguientes opciones usted considera que es la más adecuada?

Perfiles con credenciales de ingreso para cada usuario_____

Todos puedan ingresar y modificar los datos_____

Pregunta N°13: ¿Que considera Ud. importante dentro de las características para el desarrollo del sistema?

Seguridad de los datos_____

Precisión en la ubicación_____

Envío de mensajes o notificaciones_____

Tiempo de respuesta del sistema_____

Todas la anteriores_____

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN

Anexo 2. Tabulación de encuestas

Resultado de las encuestas realizadas a los ganaderos y moradores de distintos sectores rurales del cantón Montúfar. Se realizó un total de 94 encuestas para todo el cantón, establecido de la siguiente manera:

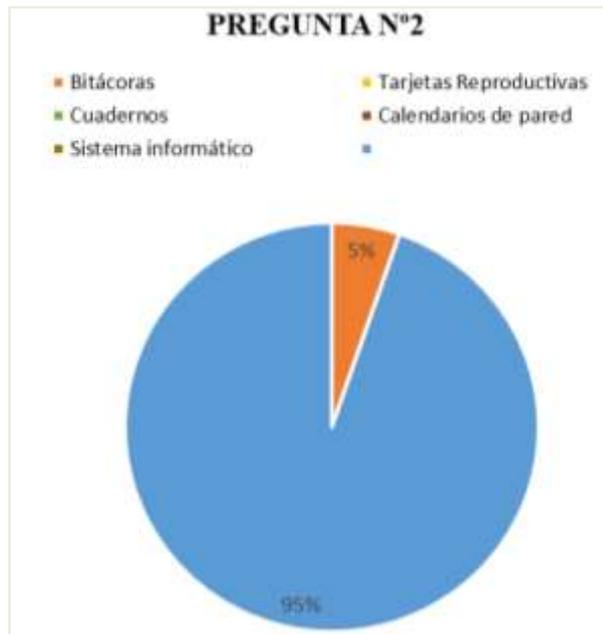
- 13 encuesta aplicadas para cada parroquia: Chitan de Navarretes, Fernández salvador, La paz y Piartal
- 14 encuestas aplicadas en cada parroquia: González Suárez, San José y Cristóbal Colón.

Pregunta N°1: ¿Conoce Ud. la importancia del manejo reproductivo bovino?



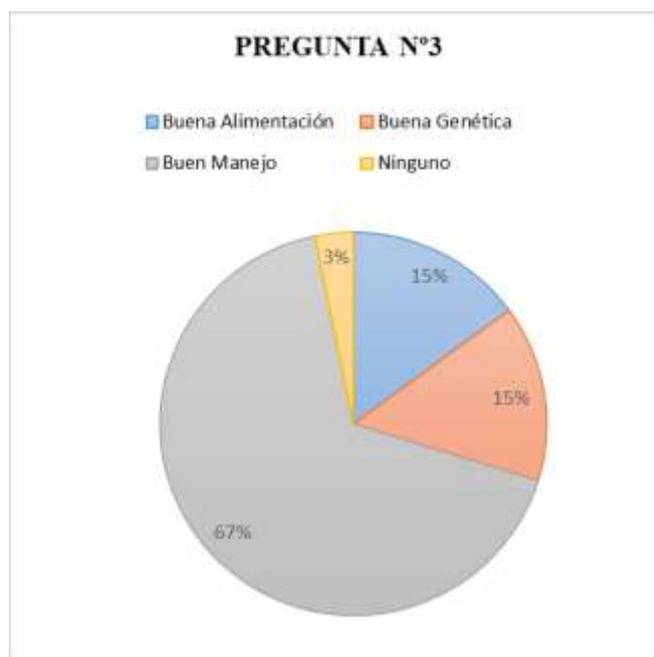
Como se observa en la gráfica únicamente 5% de los encuestados conocen acerca de la importancia del manejo reproductivo, mientras el 95% no tienen conocimiento acerca del tema.

Pregunta N°2: ¿Cómo Ud. lleva el registro del manejo reproductivo de su ganadería?



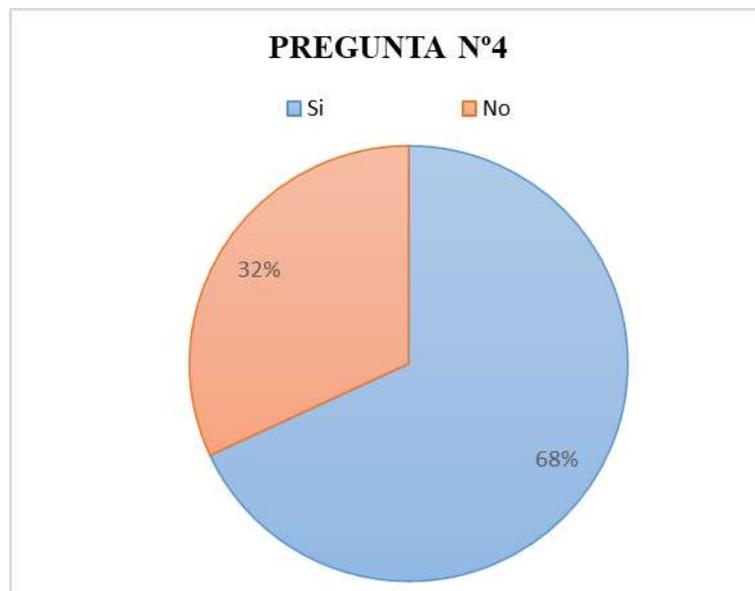
Como se observa en la gráfica, únicamente el 5% de las personas encuestadas llevan un registro del manejo reproductivo a través de bitácoras, mientras que el 95% de las personas al no conocer de la importancia del manejo reproductivo no llevan ningún tipo de registro de su hato.

Pregunta N°3: ¿Qué métodos piensa Ud. que es adecuado para obtener eficiencia reproductiva dentro de la ganadería?



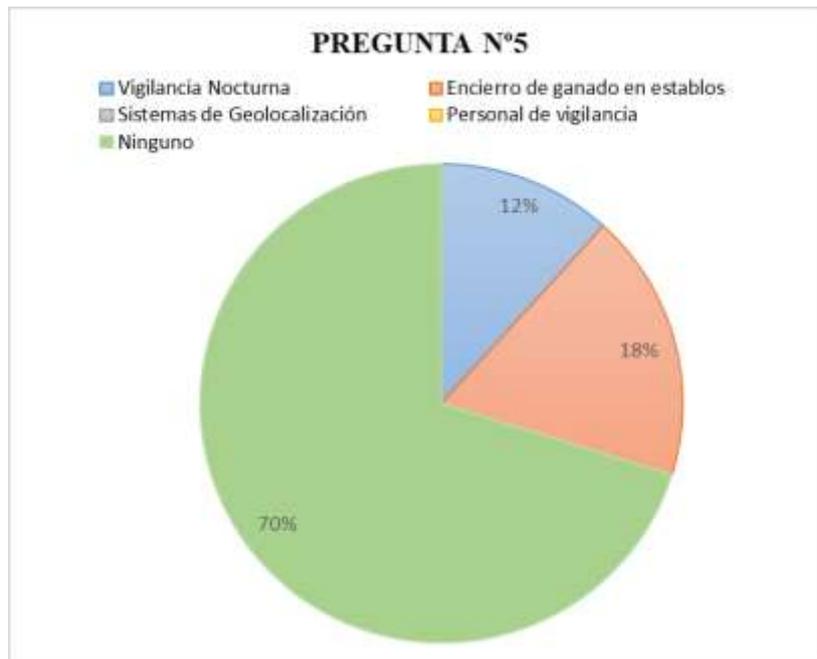
Como se muestra en la gráfica, el 67% de las personas encuestadas consideran que un buen manejo puede garantizar eficiencia reproductiva, mientras otras personas en un 15% para cada alternativa consideran que mantener una buena alimentación y genética ayuda a la eficiencia reproductiva y únicamente el 3% de los encuestados consideran que ninguna de las opciones es la indicada.

Pregunta N°4: ¿En el último año Ud. ha sido víctima de robo o pérdida (abigeato) de ganado?



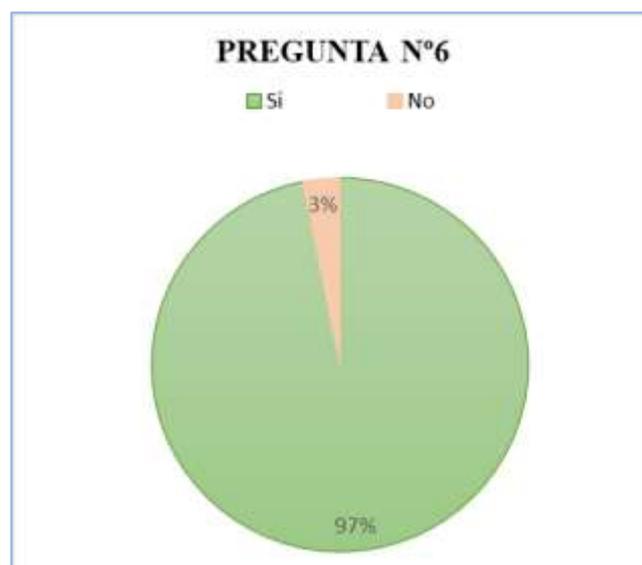
En la gráfica nos muestra como en el último año el 68% de las personas encuestadas han sido víctimas de robo o pérdida de ganado, mientras en 32% de las personas no han tenido ningún inconveniente de este tipo.

Pregunta N°5: ¿Qué método utiliza Ud. para prevenir el robo o pérdida de ganado?



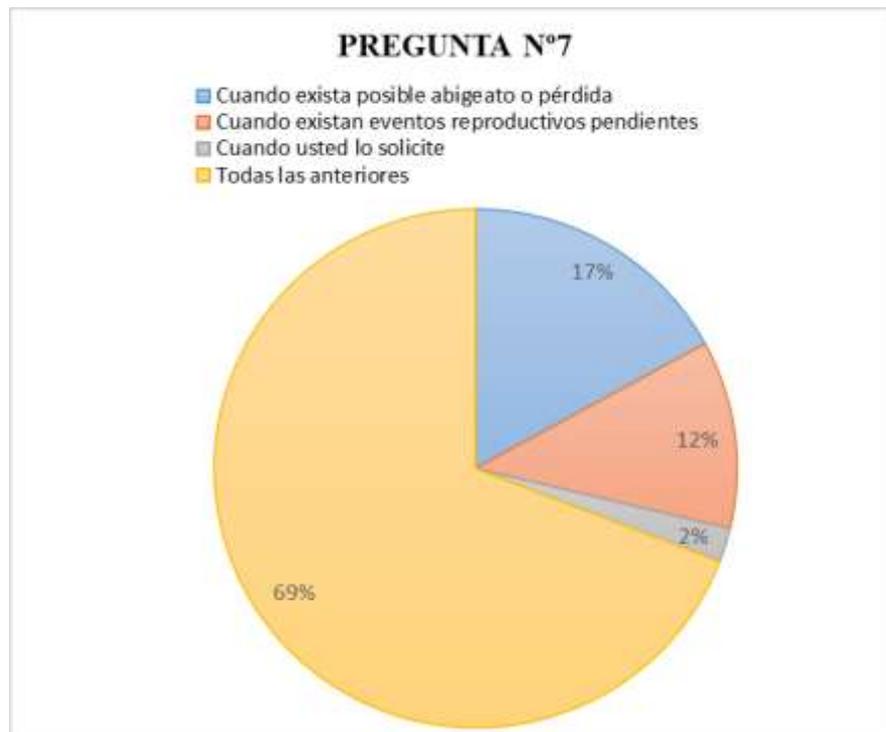
En la gráfica se muestra como el 30% de las personas encuestadas realizan vigilancia nocturna y encierro de ganado en establos para mitigar el problema, mientras el 70% no realiza ningún tipo de prevención debido a la falta de tiempo ya que se dedican a otras labores como la agricultura o por la distancia que deben recorrer para hacerlo.

Pregunta N°6: ¿Le gustaría contar con un sistema de geolocalización que permita conocer la ubicación de su ganado, además tener control sobre el manejo reproductivo?



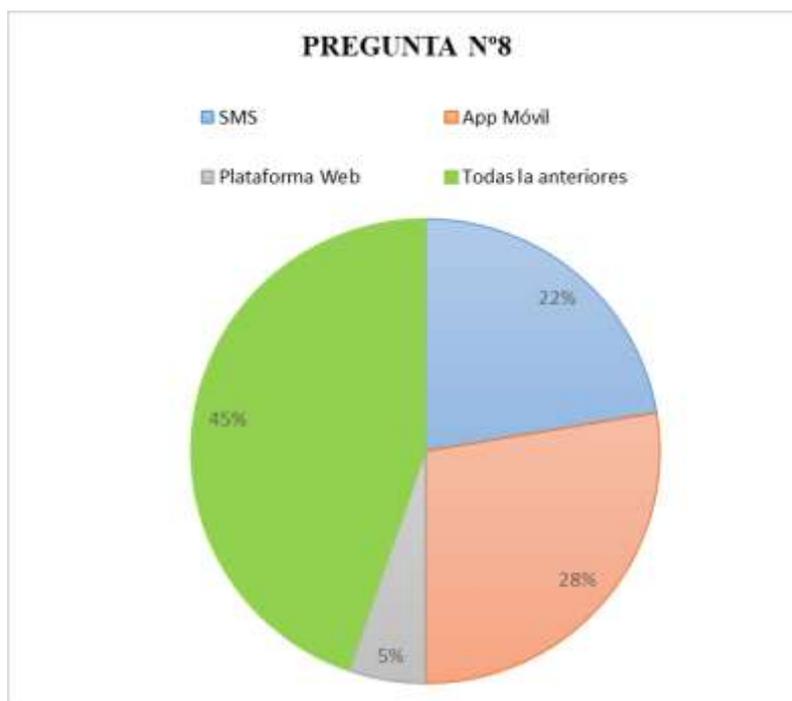
En la gráfica se observa el 97% de las personas encuestadas les gustaría contar con un sistema de geolocalización que permita conocer la ubicación de su ganado, además tener control sobre el manejo reproductivo para mejorar la seguridad y productividad.

Pregunta N°7: ¿Las alertas generadas por el sistema con qué frecuencia le gustaría recibirlas?



Como nos muestra la gráfica en cuanto a la frecuencia con la que les gustaría recibir las alertas el 67% coincide con que todas las opciones son la mejor alternativa ya que así tendrían información de su ganado en todo momento.

Pregunta N°8: ¿Qué tipo de medio considera el adecuado para recibir las alertas?



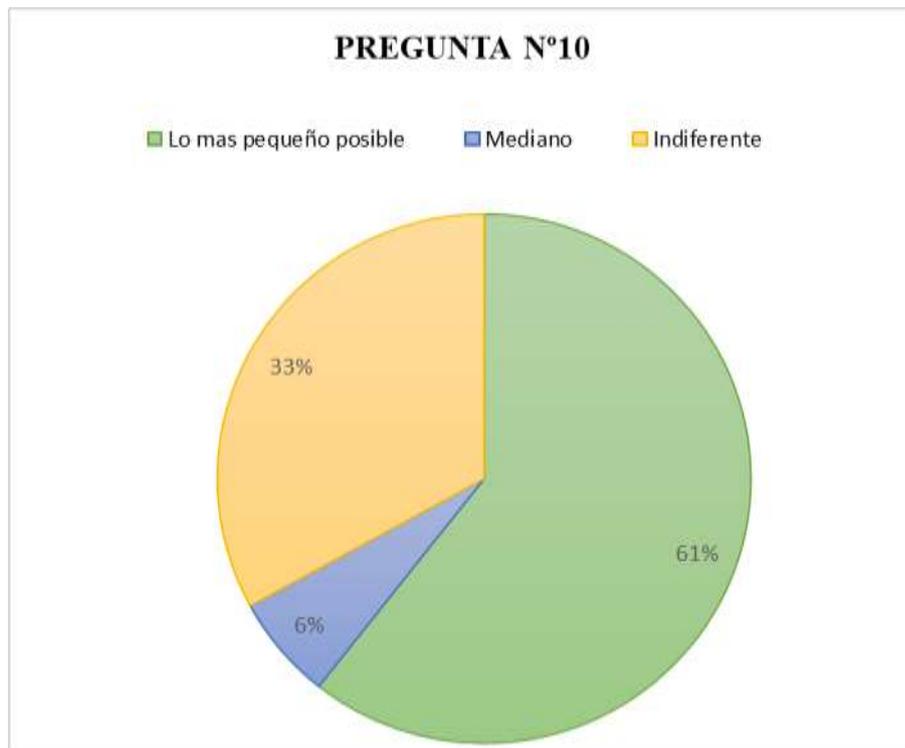
En la gráfica se muestra como las personas encuestadas les gustaría recibir las notificaciones del sistema, el 28% manifiesta a través de la App móvil, el 22% a través de mensajes de texto (SMS), el 5% en la plataforma web y la mayoría es decir un 45% coincide que lo más adecuado sería recibir las notificaciones por los tres.

Pregunta N°9: En cuanto al dispositivo móvil. ¿Qué sistema operativo Ud. utiliza?

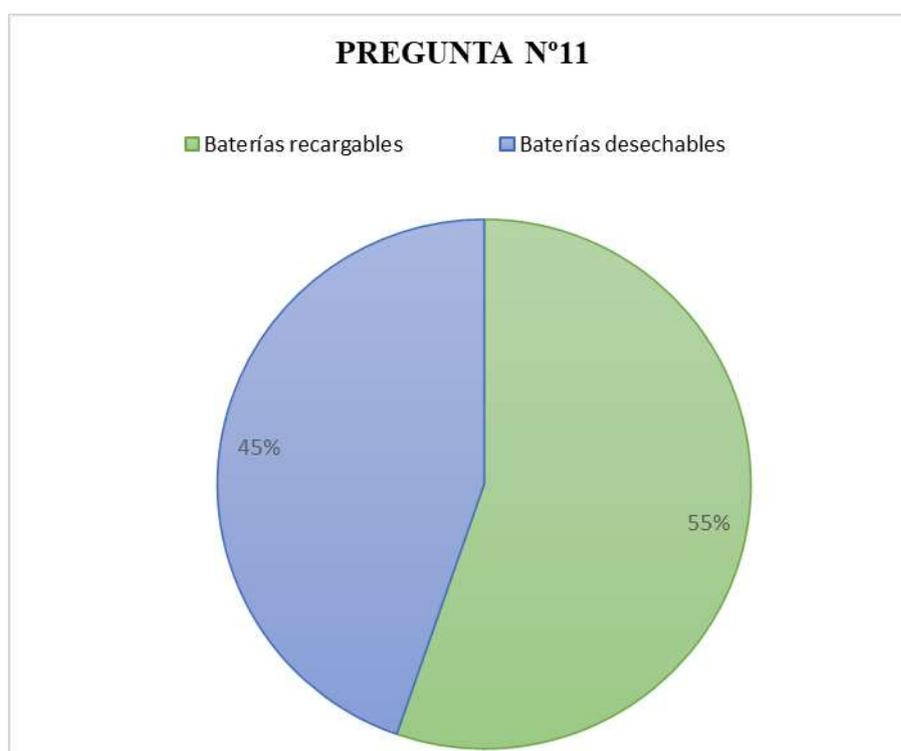


En la gráfica se muestra los resultados en cuanto al sistema operativo móvil que mayor uso tiene dentro de los usuarios es Android con un 58%, mientras un 18% y un 20% no saben o no poseen teléfonos móviles inteligentes respectivamente y tan solo el 4% usa sistema operativo Apple.

Pregunta N°10: En cuanto al tamaño del dispositivo a implementarse en el bovino. ¿Cuál de las siguientes opciones considera Ud. la adecuada?



Pregunta N°11: En cuanto la alimentación eléctrica del dispositivo. ¿Cuál de las siguientes opciones considera Ud. que es la adecuada?



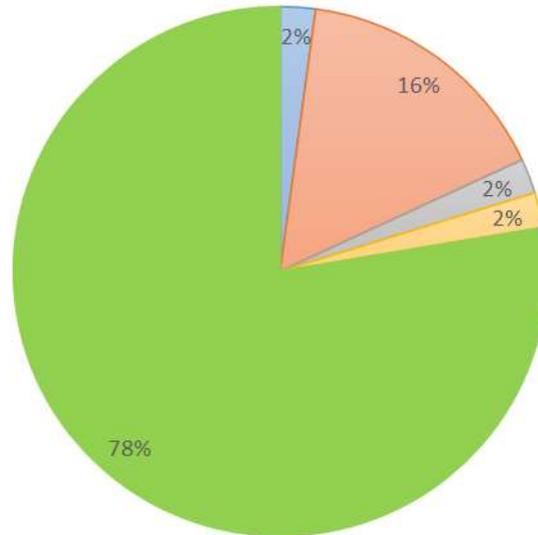
Pregunta N°12: Para el manejo y acceso a los datos del sistema, ¿Cuál de las siguientes opciones usted considera que es la más adecuada?



Pregunta N°13: ¿Que considera Ud. importante dentro de las características para el desarrollo del sistema?

PREGUNTA N°13

- Seguridad de los datos
- Precisión en la ubicación
- Envío de mensajes o notificaciones
- Tiempo de respuesta del sistema
- Todas la anteriores



Anexo 3. Código nodo móvil

```
#include <TinyGPS++.h>
#include <Wire.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
#define rxGPS 3
#define txGPS 2
SoftwareSerial gpsSerial(rxGPS, txGPS);
TinyGPSPlus gps;
// variables para almacenar los valores del GPS
float latitud = 0;
String lati = "";
float longitud = 0;
String lon = "";
// constante identificador del dispositivo ns1=>nodo sensor 1
const String codigo_nodo = "ns1/";
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  //comprobando modulo lora
  while (!Serial);
  LoRa.setPins(10, 9, 4);
  Serial.println("LoRa Sender");
  if (!LoRa.begin(433E6)) {
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
    while (1);
  }
  // Conectando gps sensor
  Serial.println("Iniciando.....");
  gpsSerial.begin(9600);
  Serial.println("fin setup");
  delay(1000);
}
void loop() {
  read_gps();
}
// funcion lectura modulo gps
void read_gps() {
  while (gpsSerial.available())
  {
    //Serial.println("Leyendo.....");
    if (gps.encode(gpsSerial.read()))
    {
      Serial.print("SATS: ");
      Serial.println(gps.satellites.value());
      Serial.print("LAT: ");
```

```

Serial.println(gps.location.lat(), 6);
latitud = gps.location.lat();
lati = String(latitud, 7);
Serial.print("LONG: ");
Serial.println(gps.location.lng(), 6);
longitud = gps.location.lng();
lon = String(longitud, 7);
Serial.print("ALT: ");
Serial.println(gps.altitude.meters());
Serial.print("SPEED: ");
Serial.println(gps.speed.mps());
String dato = codigo_nodo + lati + "/" + lon;
Serial.println(dato);
Serial.print("Date: ");
Serial.print(gps.date.day()); Serial.print("/");
Serial.print(gps.date.month()); Serial.print("/");
Serial.println(gps.date.year());
Serial.print("Hour: ");
Serial.print(gps.time.hour()); Serial.print(":");
Serial.print(gps.time.minute()); Serial.print(":");
Serial.println(gps.time.second());
Serial.println("-----");
enviar_lora(dato);
delay(2500);
}
}
}
// Función para transmitir los datos por medio de lora
void enviar_lora(String datos) {
Serial.print("Enviando Paquete: ");
LoRa.beginPacket();
LoRa.print(datos);
Serial.println(datos);
LoRa.endPacket(2500);
}
}
}

```

Anexo 4. Código nodo central (GATEWAY)

```
#include <SPI.h> // comunicación SPI
#include <LoRa.h> // COMUNICACION Lora
String inString = "";
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial);
  Serial.println("LoRa Receiver");
  if (!LoRa.begin(433E6)) {
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
    while (1);
  }
  //Serial.println("Fin setup");
}
void loop() {
  // intentando capturar un paquete
  int packetSize = LoRa.parsePacket();
  if (packetSize) {
    Serial.print("Recibiendo paquete: ");
    // Leyendo paquete
    while (LoRa.available()) {
      int inChar = LoRa.read();
      inString += (char)inChar;
    }
    Serial.println(inString);
    LoRa.packetRssi();
  }
  inString = "";
  delay(10);
}
```

Anexo 5. Código vinculación del nodo central con Firebase

```
import serial
import firebase_admin
from firebase_admin import credentials
from firebase_admin import db
## función para enviar los datos a la base de Datos
def nodo1(lectura):
    print(lectura)
    lat=float(lectura[1])
    long=float(lectura[2])
    ref = db.reference("nodos1")
    dato_ref =ref.child("NBEmn-F6mpWAcE9DUkZ")
    dato_ref.update({"Lat":lat})
    dato_ref.update({"Long":long})
    ## credenciales de la base de datos
    cred = credentials.Certificate("rastreo-gps-firebase-adminsdk.json")
    ## direccion de la base de datos
    firebase_admin.initialize_app(cred, {
    "databaseURL":"https://rastreo-gps-1d713-default-rtdb.firebaseio.com/"})
    ref = db.reference("/nodos1")
    ref.push({"Lat":0, "Long":0})
    ## iniciamos la comunicacion serial
    ser = serial.Serial("/dev/ttyACM0",9600)
    while(True):
        ## lectura del puerto serie
        lectura = (ser.readline().decode("utf-8")).strip()
        lectura = lectura.split("/")
        if len(lectura)>=3:
            ## identificación el nodo sensor
            if lectura[0]=="ns1":
                nodo1(lectura)
```