



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Dispositivo *IoT* Para el Control de Identificación y Movilidad Pecuaria

Juan Sebastián Quintero Albornoz

Director:

Cesar Augusto Pedraza Bonilla, Ph.D

Universidad Nacional de Colombia
Facultad, Departamento Ingeniería de Sistemas e Industrial
Ciudad, Colombia

2020

Dispositivo IoT Para el Control de Identificación y Movilidad Pecuaria

Juan Sebastián Quintero Albornoz

Trabajo final de maestría presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería de Telecomunicaciones

Director:

Cesar Augusto Pedraza Bonilla, Ph.D

Línea de Investigación:

IoT – Trazabilidad – Cloud Services

Grupo de Investigación:

PLAS

Universidad Nacional de Colombia

Facultad, Departamento Ingeniería de Sistemas e Industrial

Ciudad, Colombia

2020

Resumen

En el presente documento, se realiza un análisis profundo que permitirá conocer la importancia de identificación pecuaria, dando pie a un término bastante conocido actualmente, como es el internet de las cosas, aplicado al control de movilidad pecuaria enfocado a zonas rurales de Colombia, mediante la identificación por RFID en baja frecuencia. Con el resultado obtenido de la presente investigación, se establece un modelo aplicable al sector cárnico construyendo una oportunidad de negocio, ampliando así los mercados al comercio internacional, impulsando no solamente el desarrollo económico del país en el sector agropecuario, si no adicionalmente aplicando tecnología hacia el mismo sector.

Palabras claves – RFID, *IoT*, Servicios en la Nube, Trazabilidad Pecuaria.

Abstract

In this document, an in-depth analysis is carried out that will allow us to know the importance of livestock identification, giving rise to a term that is currently well known, such as the internet of things, applied to the control of livestock mobility focused on rural areas of Colombia, through the identification by RFID in low frequency. With the result obtained from this research, a model applicable to the meat sector is established, building a business opportunity, thus expanding the markets to international trade, promoting not only the country's economic development in the agricultural sector, but also applying technology to the same sector.

Keywords: RFID, IoT, Cloud Services, Livestock traceability

Contenido

	Pág.
Resumen	V
Abstract	VI
Lista de figuras	X
Lista de tablas	XI
Abreviaturas	XII
Introducción	19
1. Capítulo 1	16
1.1 Antecedentes.....	16
1.2 Justificación.....	21
1.2.1 Exportación de Carne Bovina en Colombia.....	21
1.2.2 Exportación Mundial de Carne Bovina:.....	22
1.3 Objetivos.....	22
1.3.1 Objetivo General.....	22
1.3.2 Objetivo Específicos.....	23
1.4 Metodología.....	23
1.4.1 Idea.....	24
1.4.2 Inmersión Área	24
1.4.3 Estudio de Diseño.....	24
1.4.3.1 Formulación de Preguntas de Investigacion.....	24
1.4.4 Selección de Muestras.....	25
1.4.5 Recolección de Datos.....	25
1.4.6 Análisis e Interpretación de Datos.....	26
2. Capítulo 2	27
2.1 Enfoques de la Literatura para Control de Movilidad Pecuaria.....	27

2.1.2	Análisis Cienciométrico.....	27
2.1.3	Análisis Bibliométrico.....	29
2.1.4	Cluster de Tendencias Literarias.....	31
2.1.5	Internet de las Cosas.....	33
2.1.6	Capa Física y Capa de Enlace	35
2.1.7	Tecnologías de Área Extendida.....	37
2.1.8	Tecnologías en Sistemas de Trazabilidad.....	41
3.	Capítulo 3.....	42
3.1	CONOPS.....	42
3.1.1	Descripción de los Actores Estratégico.....	43
3.1.2	Normativa – Entidad Regulador	45
3.1.3	Identificación del Sistema de Control de Movilidad Pecuario Actual	46
3.1.4	Problema.....	50
3.1.5	Necesidades Operacionales.....	51
3.1.6	Descripción General del Sistema Propuesto	57
3.1.7	Funcionamiento del Sistema Propuesto.....	59
3.1.8	Jerarquización de los Actores.....	65
4.	Capítulo 4.....	69
4.1	Diseño de la Plataforma Tecnológica.....	69
4.2	Consideraciones.....	69
4.3	Análisis y Especificaciones de Requisitos.....	70
4.4	Modelo Conceptual de Arquitectura IoT.....	70
4.5	Máquina de Estados.....	72
4.6	Infraestructura Para Cobertura y Disponibilidad de Red de Datos.....	74
4.7	Mapas de Cobertura.....	76
4.7.1	Análisis de Cobertura OpenSignal.....	76
4.7.1.1	Boyacá – Cubará.....	77
4.7.1.2	Arauca.....	78
4.7.1.3	Vichada.....	79
4.7.2	Análisis de Cobertura Operador Claro.....	80
4.7.3	Análisis de Cobertura Operador Movistar.....	85
5.	Capítulo 5.....	92
5.1	Validación del Prototipo IoT.....	92
5.3	Características Agrident AWR100.....	94
5.4	Características Allflex RS320.....	96
5.5	Programación del Dispositivo.....	98
5.6	Escenario de Pruebas.....	98
5.6.1	Escenario 1.....	99

5.6.2 Escenario 2.....	99
5.7 Tiempos de respuesta.....	100
6. Capítulo 6.....	110
6.1 Conclusiones.....	110
Recomendaciones.....	113
Referencias.....	115

Lista de Figuras

- Figura 1-1:** Aplicaciones *RFID*.
- Figura 1-2:** Identificación Animal por Radio Frecuencia [17,3]
- Figura 1-3:** Características de los TAG 11784 Para Semovientes [29]
- Figura 1-4:** Importancia de la Ganadería en Colombia [26]
- Figura 1-5:** Niveles de Exportación de los principales Países de Carne Bovina [56]
- Figura 1-6:** Procedimiento Ejecución del Proyecto
- Figura 2-1:** Producción literaria por años
- Figura 2-2 –** Producción literaria por sectores de países
- Figura 2-3:** Producción literaria por sectores de producción.
- Figura 2-4:** Producción literaria por autores
- Figura 2-5:** Autores Relevantes en el Tema *IoT*
- Figura 2-6:** Relación de Clúster de Tendencias
- Figura 2-7:** Evolución de *IoT* [51]
- Figura 2-8:** Resumen de protocolos utilizados en *IoT* [43]
- Figura 2-9:** Tecnologías LPWAN [61]
- Figura 3-2:** Situación fiebre aftosa, Colombia 2018 [29]
- Figura 3-3:** Diagrama de Relaciones de Actores Involucrados
- Figura 3-4:** Diagrama propuesto para la ubicación del dispositivo *IoT*.
- Figura 3-5:** Esquema general funcionamiento control de movilidad pecuaria
- Figura 3-6:** Jerarquización de *Stakeholders* a través del modelo Mitchell, Agle y Wood
- Figura 4-1:** Arquitectura *IoT* para el sistema de control de movilidad pecuaria
- Figura 4.2:** Diagramas de Estado Finito de Funcionamiento del Sistema de Control de Movilidad
- Figura 4-3:** Mapa Cobertura Cubara – Boyacá
- Figura 4-4:** Mapa Cobertura Arauca
- Figura 4-5:** Mapa Cobertura Vichada
- Figura 4-6:** Mapa Cobertura Cubará – Boyacá Tecnología 2G Claro
- Figura 4-7:** Mapa Cobertura Cubará – Boyacá Tecnología 3G Claro
- Figura 4-8:** Mapa Cobertura Cubará – Boyacá Tecnología 4G Claro
- Figura 4-9:** Mapa Cobertura Arauca Tecnología 2G Claro
- Figura 4-10:** Mapa Cobertura Arauca Tecnología 3G Claro
- Figura 4-11:** Mapa Cobertura Arauca Tecnología 4G Claro
- Figura 4-12:** Mapa Cobertura Arauca Tecnología 2G Claro
- Figura 4-13:** Mapa Cobertura Arauca Tecnología 3G Claro
- Figura 4-14:** Mapa Cobertura Arauca Tecnología 4G Claro
- Figura 4-15:** Mapa Cobertura Cubará - Boyacá Tecnología 2G Movistar
- Figura 4-16:** Mapa Cobertura Cubará - Boyacá Tecnología 3G Movistar
- Figura 4-17:** Mapa Cobertura Cubará - Boyacá Tecnología 4G Movistar
- Figura 4-18:** Mapa Cobertura Arauca Tecnología 2G Movistar
- Figura 4-19:** Mapa Cobertura Arauca Tecnología 3G Movistar
- Figura 4-20:** Mapa Cobertura Arauca Tecnología 4G Movistar
- Figura 4-21:** Mapa Cobertura Vichada Tecnología 2G Movistar
- Figura 4-22:** Mapa Cobertura Vichada Tecnología 3G Movistar
- Figura 4-23:** Mapa Cobertura Vichada Tecnología 4G Movistar
- Figura 5-1:** Circuito Esquemático de Conexiones, Diseñado por el autor con fritzing.
- Figura 5-2:** Lector AWR100 RFID 11784/5
- Figura 5-3:** Lector Allflex RS320 RFID 11784/5
- Figura 5-4:** Presentaciones Para Pruebas de Laboratorio
- Figura 5-5:** Coordenadas de ubicación del Dispositivo *IoT*

Lista de Tablas

Tabla 2-1: Características de Tecnología *Weighthless* [53]

Tabla 3.1: Conexión entre actores administrativos

Tabla 3.2: Conexión entre actores operativos

Tabla 3.3: Conexión entre actores supervisores.

Tabla 3.4: Conexión entre actores beneficiados.

Tabla 3.5: Entidades Entrevistadas

Tabla 3.6: Relaciones existentes entre un Actor A y un Actor B

Tabla No 3-7: Representa la valoración realizada

Tabla 4.3: Secuencia de eventos y acciones del Sistema de Control de Movilidad

Tabla 4-4: Apropiación Porcentual de la Tecnología Clasificada Por Años [43]

Tabla 4-5: Tecnologías de Red con sus respectivas velocidades [16]

Tabla 5-1: Características de Lector *Agrident* AWR100 RFID 11784/11785

Tabla 5-2: Características de Lector *Allflex* RS320 RFID 11784/11785

Tabla 5-3: Tiempo de Respuesta Tecnologías 3G

Tabla 5-4: Tiempo de Respuesta Tecnologías 4G

Abreviaturas

Se identifican las siguientes abreviaturas en el contexto del presente proyecto:

Abreviatura	Término
3GPP	3rd <i>Generation Partnership Project</i>
ADN	Ácido Desoxirribonucleico
ADSL	Línea de abonado digital asimétrica
AHB	Junta de Sanidad Animal
API	Interfaz de Programación de Aplicaciones
SOA	Arquitectura Orientada a Servicios
AWS	Servicios <i>Web Amazon</i>
CONOPS	<i>Concepto de Operación</i>
DBPSK	<i>Modulación por Desplazamiento de Fase</i>
DICOSE	División de Contralor de Semovientes
eMTC	<i>LTE Cat M1</i>
ETB	<i>Empresa de Telecomunicaciones de Bogotá</i>
FDMA	<i>Acceso Múltiple por División de Frecuencia</i>
FEDEGAN	<i>Federación Colombiana de Ganaderos</i>
GMSK	Modulación por desplazamiento mínimo gaussiano
GPIO	Entrada/Salida de Propósito General
GPRS	Servicio General de Paquetes Vía Radio
GSM	Sistema Global para las Comunicaciones Móviles
GSMA	Asociación Sistema Global para las Comunicaciones Móviles
GSMI	Guías Sanitarias de Movilización Interna de Animales
i2c	Circuito Inter-Integrado
INVIMA	Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos
ISO	Organización Internacional de Normalización
LED	Diodo Emisor de Luz
LMDS	Sistema de Distribución Local Multipunto
LTE	Evolución a Largo Plazo
NB	<i>NarrowBand</i>
M2M	Maquina a Maquina
MAF	Ministerio de Agricultura y Silvicultura
MGAP	Dirección General de Servicios Ganaderos del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca del Uruguay
MinAgricultura	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
MinSalud	Ministerio de Salud y Protección Social
MinTransporte	Ministerio de Transporte
MIP	Ministerio de Industrias Primarias de Nueva Zelanda
NZTA	Agencia de Transporte Nueva Zelanda
OIE	<i>Organización Mundial de Sanidad Animal</i>
PAN	<i>Red de Área Personal</i>
PONAL	<i>Policía Nacional de Colombia</i>
QoS	<i>Calidad de Servicio</i>
RPMA	<i>Fase Aleatoria de Acceso Múltiple</i>
SBC	<i>Ordenador de Placa Simple</i>
SINIGAN	<i>Sistema Nacional de Identificación de Ganado Bovino</i>

<i>SPI</i>	Interfaz Periférica de Serie
<i>TCP/IP</i>	Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet
<i>TDMA</i>	Acceso Múltiple por División de Tiempo
<i>UART</i>	Transmisor-Receptor Asíncrono Universal
<i>UNB</i>	Banda Ultra Delgada
<i>USD</i>	<i>Departamento de Agricultura de los Estados Unidos</i>
<i>WCDMA</i>	<i>Acceso múltiple por división de código de banda ancha</i>
<i>WIMAX</i>	Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas

Introducción

Si bien es cierto, que la tecnología avanza a pasos gigantescos, encontrándose inmersa en todos los sectores y/o actividades, que desarrollan los seres humanos en su vida cotidiana tanto laboral como en el hogar, lo que genera transformaciones en el pensamiento individual y colectivo, generando eficiencia, confiabilidad, seguridad y agilidad en procesos cíclicos de la actividad que ejecutan los seres humanos diariamente, que se puede traducir en mayor bienestar de los usuarios que hacen apropiación y aprovechamiento de la tecnología, causando mejores resultados en los objetivos que conllevan cada labor, como se puede analizar a través de la literatura destacada como lo describen los autores (Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., y Ayyash, M. (2015)), enfocando la tecnología al sector agropecuario afirman que: “La calidad de los productos agrícolas depende de la habilidad y experticia del agricultor, de utilizar diversos sensores para detectar los datos ambientales en la granja inteligente”[2] es por eso, que el sector pecuario se siente en la necesidad de avanzar e involucrarse con mayor profundidad en que la tecnología incentive los métodos actuales de control de movilidad e identificación pecuaria, alimentado a su vez la base de datos de trazabilidad pecuaria en Colombia a través del sistema de información SINIGAN y generar un control con mayor eficiencia y confiabilidad en los procesos de movilidad, disminuyendo así las oleadas de abigeato que afectan el sector pecuario en Colombia y aumentando el interés de la inversión de los productores cárnicos, tomando en cuenta la importancia de la identificación para crear la trazabilidad como lo explica los autores (Azuara, G., Luis Tornos, J., & Luis Salazar, J. (2017)) destacando la idea principal de su artículo donde se menciona lo siguiente: “El sistema de trazabilidad para la calidad y la seguridad se refiere a una serie de información, que se basa en la identidad única de la entidad de circulación que se está registrando”.[6]

Es por tal razón que MinAgricultura a través del SINIGAN e ICA lleva a cabo un programa de identificación pecuaria llamado identifica, basado en el reconocimiento individual

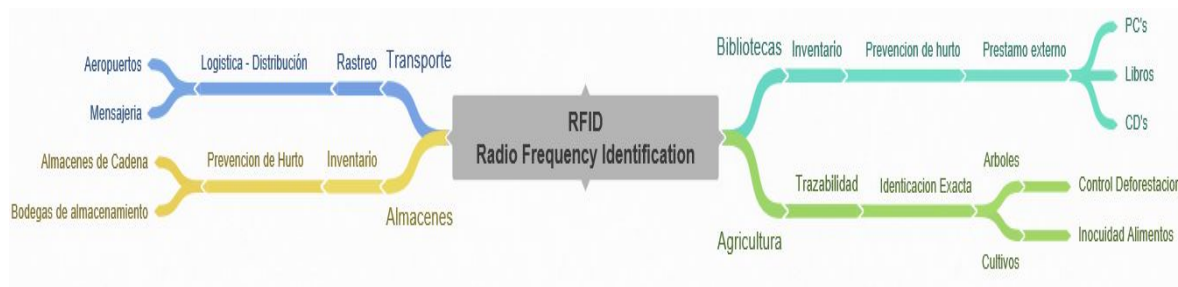
pecuario, con el ánimo de generar un Sistema Nacional de identificación, información y trazabilidad pecuaria, busca así diseñar un modelo que optimice el control que se lleva a cabo actualmente, con documentación en papel que causa alta vulnerabilidad y dificultad en el momento de corroboración de permisos de movilidad pecuaria, por el uso un sistema de control de identificación por medio de los *tag* RFID bajo el estándar internacional 11784 HDX y consulta de permisos de movilidad a través de *IoT* a la base de datos del ICA.

Capítulo 1

1.1 Antecedentes

La tecnología está inmersa en los diversos sectores y actividades que desarrollan los seres humanos en la vida cotidiana, generando innovaciones que causan transformaciones en el estilo de vida, tanto en el aspecto social como cultural, manifestándose en el pensamiento individual y colectivo como lo es el comportamiento humano, la forma de analizar, las condiciones de comercializar productos, entre otros más aspectos, donde se hace necesario ser partícipe de esta misma para ser competitivos, por tal razón el sector pecuario ha avanzado sus procesos de identificación bovina trayendo consigo un trasfondo de beneficios, con la modernización de la identificación pecuaria, se ha generado procesos de trazabilidad y simultáneamente inocuidad en los alimentos procedentes del sector pecuario, buscando disminuir los altos índices de contrabando y abigeato, que afectan la actividad ganadera, construyendo un apoyo a las acciones de las autoridades de control y vigilancia a través de los *tags* de identificación bajo el estándar 11784/11785 y a su vez un mejor aprovechamiento de la materia prima por parte de las manufacturas de cuero, brindando mayor bienestar a los semovientes por la erradicación de las marcas con el hierro caliente, que causan deterioro en el cuero y un intenso dolor en los animales, teniendo en cuenta que se realizan estas marcas cada vez que existe un cambio de propietario. [12,16,24]

Figura No 1-1: Aplicaciones RFID [34][42][45]

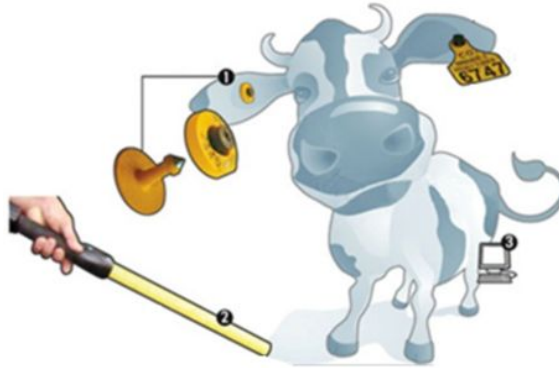


La exploración de los sectores con mayor número de aplicaciones que llevan a cabo un sistema de control, ubicación y/o trazabilidad por medio de la identificación a través de radio frecuencia, en la banda de baja frecuencia (30 Khz – 300 Khz), [5,23,27,31,35] permite identificar el potencial de los *tag* ideas a tomar que propongan avances de identificación pecuario y se pueden destacar los sectores de Transporte, Bibliotecas, Almacenes y Agricultura. [2,11,15,21,17] como se observa en figura No 1-1.

La identificación por RFID tiene una gran serie de aplicaciones en los diversos sectores de la industria tanto en las grandes como pequeñas empresas por el bajo costo de este proceso de identificación, facilitando el control en hurto, inventario y trazabilidad de productos como se puede categorizar en la figura No 1-1. [34][42][45]

La identificación por RFID que irradia los *tags* 11784/11785, [1,4,13,38] instalados en la oreja derecha del semoviente (ver figura No 1-2), utilizan una baja frecuencia en el rango de (30 Khz y 300 khz), lo que permite identificar y construir una base dados con la información de cada pertinente de cada semoviente cumpliendo con las normas ISO 9000 e ICAR para la trazabilidad animal puesto que son dispositivos pasivos (no poseen batería – no son dispositivos GPS) y funcionan con modulación FSK, en una frecuencia de desactivado de 124.2 Khz y 134.2 Khz cuando se encuentra activado, [16] los dispositivos que comúnmente se utilizan actualmente en el ICA, poseen un rango de lectura aproximado de 10 cms en condiciones normales sin obstáculos y bajo las marcas aprobadas por el ICAR, [23] para poder escanear el número de identificación que posee el *tag* 11784 HDX, transmite y recibe de modo bidireccional, ocurriendo una transmisión a la vez, lo que en ocasiones causa colisiones por retardo de lectura, cuando se presentan

al lector RFID varios *tags* simultáneamente. **Figura No 1-2:** Identificación Animal por Radio Frecuencia. [17,3]



En la actualidad a nivel mundial, la trazabilidad es sin lugar a duda un proceso de gran relevancia que construye una cadena de eslabones que permite un mayor control sobre todo si se habla de los alimentos, generando inocuidad de estos mismos y la prevención de enfermedades, caso particular los provenientes del sector pecuario, por lo que el Gobierno De Colombia a través del MINAgricultura, ICA y SINIGAN ha venido implementado el programa identifica basado en el reconocimiento individual pecuario, por medio de los dispositivos *tag* 11784 HDX (ver figura 1-3) con funcionamiento en baja frecuencia y con mayor control en zonas de alta vigilancia como lo son Vichada, Arauca y Cubará – Boyacá (ver figura 3-2). El programa identifica, busca fortalecer la disminución de los índices de contrabando, abigeato e implementación de trazabilidad pecuaria para fortalecer la gestión sanitaria y erradicación de enfermedades que afectan a estos animales, ampliando la posibilidad de mayor participación de productos ganaderos nacionales en mercados internacionales, que exigen la trazabilidad por medio del estándar 11784/5 (ver figura No 1-3). [24]

Nueva Zelanda, como país referente en cuanto a procesos de identificación a través de Ministerio de Agricultura y Silvicultura (MAF), Ministerio de Industrias Primarias (MPI) y la Dirección de Sanidad Animal (AHB) ha construido acontecimientos concentrados hacia la trazabilidad pecuaria individual e implementando el sistema nacional de identificación para bovinos por medio de las normas que rige el estándar 11784,

permitiendo tener un estatus sanitario superior a países con mayor producción ganadera, a causa que Nueva Zelanda hace un reconocimiento los peligros que se pueden presentar para la población y para su economía de producción pecuaria local al comercio internacional, el hecho de llegar a suceder dentro de su país algún tipo de peste o enfermedad transmitida por animales pecuarios, realiza procedimientos de prevención como el que se desarrolla por medio de New Zealand Transport Agency (NZTA) para el control de movilidad como requisitos hacia los transportistas en el cual se identifican los semovientes en el momento de ingresar al camión y realizan el reporte de la cantidad e identificación por medio de los *tag* 11784/5, de los semovientes para posteriormente emitir la información adquirida a la base de datos de Ministerio de Agricultura y Silvicultura (MAF). [25]

URUGUAY, como el siguiente país referente en cuanto a procesos de identificación a través de la dirección MGAP y con la creación del programa de División Contralor de Semovientes (DICOSE),[63] se promueve de manera eficiente, el levantamiento y actualización de una base de datos, para la sostenibilidad del Sistema Nacional de Información Ganadera en lo que compete a los movimientos y existencias de ganado en el territorio nacional de Uruguay, con el ánimo de asegurar su funcionalidad y disposición por parte de las dependencias El DICOSE y a su vez los Servicios Ganaderos, contribuye con la identificación para los semovientes a partir de una numeración única mediante los *tag* bajo el estándar 11784/11785.[32]

El control de movilidad en Uruguay de los semovientes, es asistido por parte de la policía nacional de Uruguay y los funcionarios de la División de Fiscalización de DICOSE en cualquier momento, tanto en predios de explotación ganadera, como en su movilización, identificando y registrando individualmente cada semoviente. Para tal efecto se hace uso del formulario B1, en el que cabe destacar la siguiente información con mayor relevancia:[32]

- ✓ Clase de semovientes.
- ✓ Número de identificación posee el semoviente
- ✓ Tipo de movilización.
- ✓ Planificación de la ruta.
- ✓ Persona a cargo de la movilización.
- ✓ Fecha de movimiento

- ✓ Código Rural

Requisitos del DIN:

- ✓ Material
- ✓ Color
- ✓ Peso
- ✓ Tecnología RFID: HDX-FDX
- ✓ Normatividad: ISO e ICAR
- ✓ Dimensiones DIN
- ✓ Fuente y tamaño de la letra
- ✓ Sistema confiable de Cierre

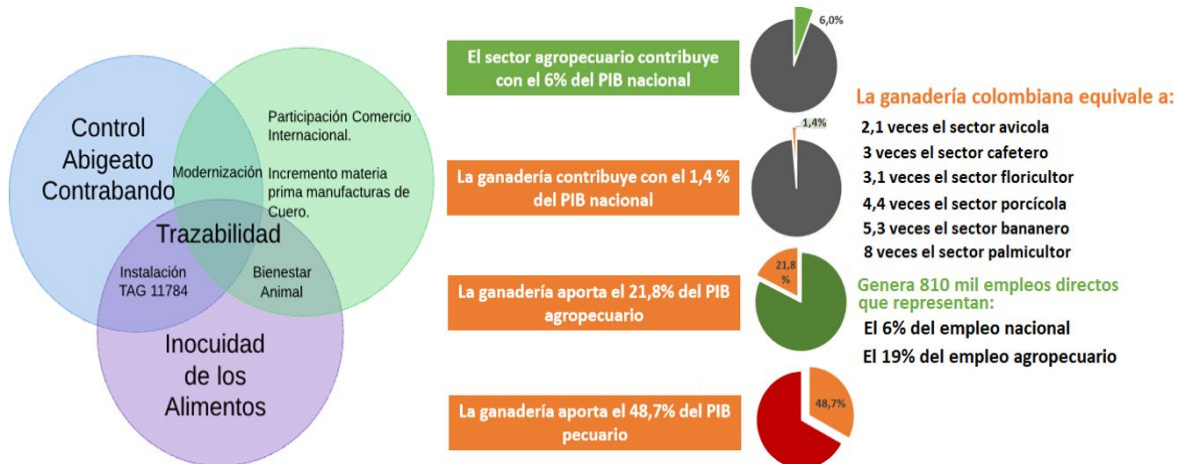
Figura No 1-3: Características de los TAG 11784 Para Semovientes [29]



1.2 Justificación

1.2.1 Exportación de Carne Bovina en Colombia

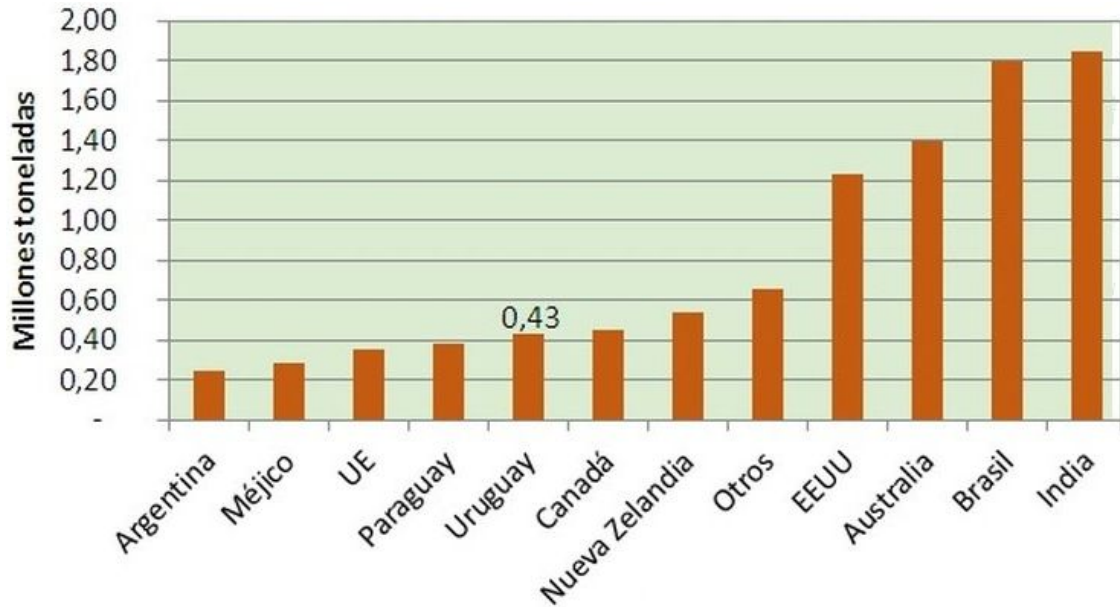
Figura No 1-4: Importancia de la Ganadería en Colombia. [26]



La importancia de la economía ganadera en Colombia, se representa por la amplia actividad enfocada en este sector ver figura No 1-4, teniendo en cuenta los datos del DANE en el año 2018,[15] se ha registrado una falta de dinámica comparado con los últimos años y a su vez un desaprovechamiento en el comercio internacional, con aquellas naciones con las que se tienen firmados acuerdos de tratados de libre comercio, por el tema de los requisitos de sanidad animal, que se imponen cada vez más en el comercio internacional como lo es la construcción de la trazabilidad bajo el estándar 11784/11785,[1] como una de las principales barreras a la competitividad de la ganadería, teniendo en cuenta que por la producción de calidad cárnica en Colombia, se debería estar exportando y aprovechando los precios internacionales de la carne por tal motivo la proyección del programa identifica y del presente proyecto que busca diseñar un prototipo que brinde mayor aprovechamiento de los tag en el estándar 11784 contribuyendo al control de movilidad y alimentado la base de datos que conforma la trazabilidad pecuaria.[24]

1.2.2 Exportación Mundial de Carne Bovina

Figura No 1- 5: Niveles de Exportación de los principales Países de Carne Bovina. [56]



El análisis de la producción mundial identificó un aumento del 2%, lo que corresponde a 9,6% millones de toneladas, es decir un 15.5% de la producción mundial lo que destaca una mayor producción de carne bovina principalmente en EEUU, Brasil y Argentina, de acuerdo al reporte del departamento de Agricultura de EEUU (USDA),[41] destacando a países sudamericanos como Argentina, Paraguay, Uruguay y Brasil donde sobresalen por instaurar buenas prácticas de trazabilidad pecuaria a través de la identificación pecuaria individual por medio del *tag* 11784/11785 y sus sistemas de información.[23]

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Diseñar un prototipo de dispositivo IoT, a través de sistemas embebidos y la construcción de una base de datos con los números de identificación de los tags de los semovientes de la Universidad Nacional de Colombia, para simular las actividades de inspección de Control de Movilidad en los Puestos de Control del ICA desarrollado y ejecutado en las mismas instalaciones de la Universidad.

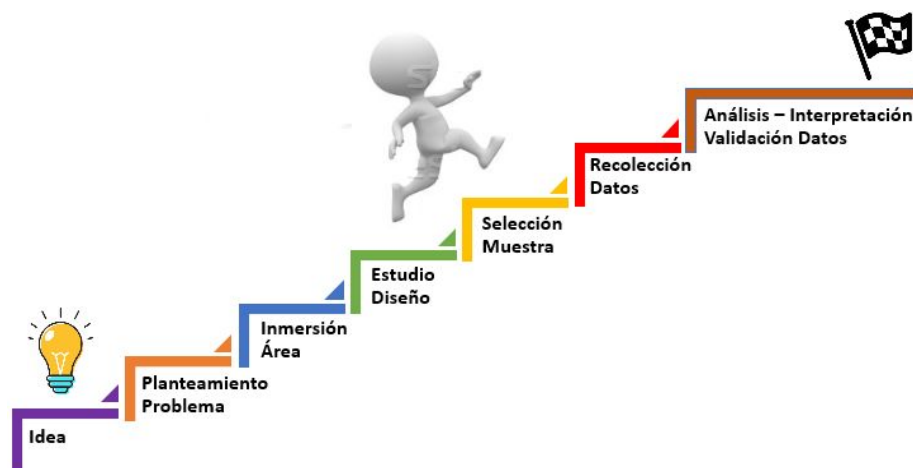
1.3.2 Objetivos Específicos

- Comprender el funcionamiento actual del sistema de control de identificación y movilidad pecuario a través del *tag* 11784 HDX.
- Determinar los inconvenientes que se presentan en el proceso de control de movilidad pecuaria, por medio de los *tags* 11784 HDX.
- Considerar el método más adecuado que se integre con el sistema de información actual y optimice su funcionamiento.
- Validar mediante un sistema de simulación y/o prueba piloto el prototipo diseñado como herramienta para los puestos de control e inspección del ICA.

1.4 Metodología

El presente proyecto basa su ejecución en el método científico planteado por Hernández Sampieri, en una metodología cualitativa brindando una solución a los objetivos que construye el presente proyecto, aplicados en el siguiente orden:[24]

Figura No 1-6: Procedimiento Ejecución del Proyecto, Diseñado por el Autor Inspirado en (Sampieri – F. Collado, 2014)



1.4.1 Idea

La presente investigación busca establecer un modelo aplicable para el control de movilidad, que facilite el proceso de inspección a las autoridades pertinentes, el cual se origina de una idea con acercamiento a la realidad subjetiva, por medio de la observación de hechos, adquirida mediante una experiencia individual generando una convicción por los paradigmas que existen en países referentes como Nueva Zelanda y Uruguay. [30]

1.4.2 Inmersión Área

Para determinar el tema de investigación sobre la utilización de *IoT* con aplicación al sector pecuario, se han designado sus lineamientos y se han destacado sus posiciones desde su origen hasta la actualidad, por medio de análisis de diversas fuentes, entre las que cabe destacar la información brindada por los funcionarios del programa identifica, visitas técnicas a los puestos de inspección y control, plantas de beneficio, PSG, subastas, ferias y complejos ganaderos para identificar el funcionamiento del sistema, la literatura comprendida y junto con la asesoría y el enfoque manifestada por parte del director de trabajo de grado.[65]

1.4.3 Estudio de Diseño

En este proceso se establecen una serie de preguntas de investigación que cimientan y definen la orientación paso a paso que ofrecerá una solución integral hacia el proyecto, señalando lo que se debe hacer para alcanzar los objetivos de este mismo. [51]

1.4.3.1 Formulación de Preguntas de Investigación

¿Cuáles serían las características del prototipo ideal que permita a las autoridades de control y vigilancia establecer un procedimiento de inspección ágil y veraz, frente a la movilidad de los semovientes?

¿Cuáles son los procesos que se realizan actualmente para el control de identificación y movilidad pecuario a través del *tag* 11784 HDX?

¿En qué grado se favorece actualmente, la inspección y control de movilidad pecuaria, por medio de los *tags* 11784 hdx?

¿Cuáles son los factores con mayor relevancia en el proceso de identificación pecuaria, que realizan los países referentes como Uruguay y Nueva Zelanda para que se muestren como casos de éxito que se podrían aplicar en Colombia?

¿El procedimiento de control de movilidad pecuario que se diseñará, se ajusta a las condiciones del sistema nacional de identificación e información del ganado bovino y se puede corroborar mediante una simulación y/o prueba piloto en la Universidad Nacional de Colombia?

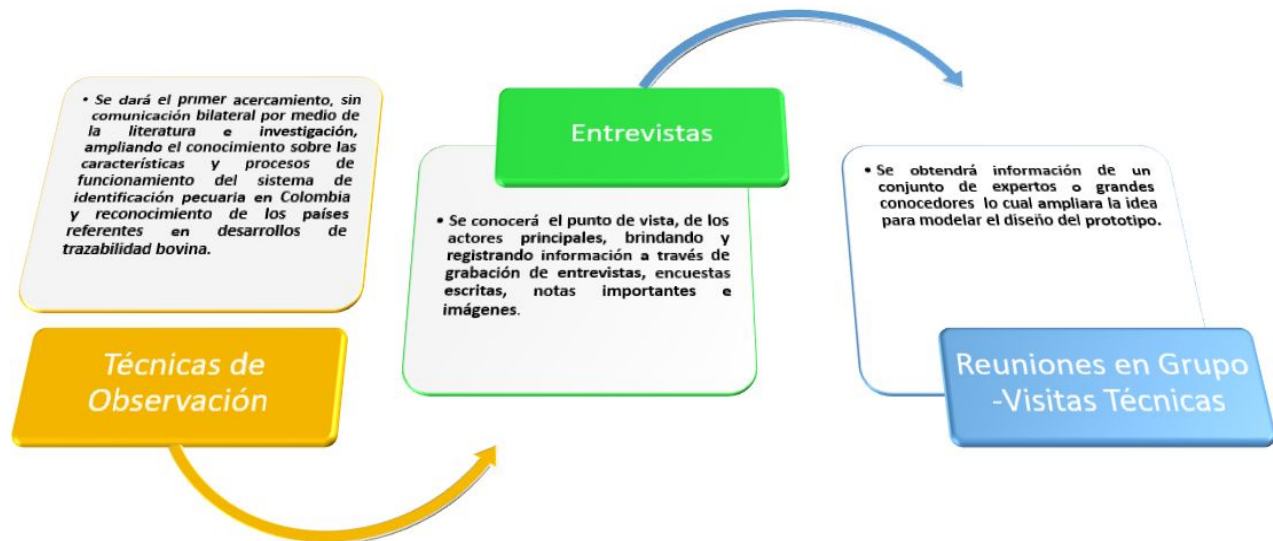
1.4.4 Selección Muestra

La población de la cual se recolectan los datos y se realizará la prueba piloto son de los semovientes de la Universidad Nacional de Colombia, puesto que se cuenta con el permiso de esta misma para llevar a cabo la investigación y los animales se encuentran identificados en su totalidad por medio del *tag* 11784 hdx.[31]

1.4.5 Recolección de Datos

El plan diseñado para el proceso de recolección de datos es el siguiente:

Figura No 1-7: Plan de Recolección de Datos, Diseñado por el Autor Inspirado en (Hernández Sampieri – Fernández Collado, 2014)



1.4.6 Análisis e Interpretación de datos

En esta fase se desarrolla la confrontación de los autores y la información proporcionada, para ponderar las posibles alternativas de acción y las tecnologías de que conforman IoT que prometerían una solución sostenible, para su efectiva atención.

2. Capítulo 2

2.1 Estado del Arte

2.1.2 Enfoques de la literatura para control de movilidad pecuaria.

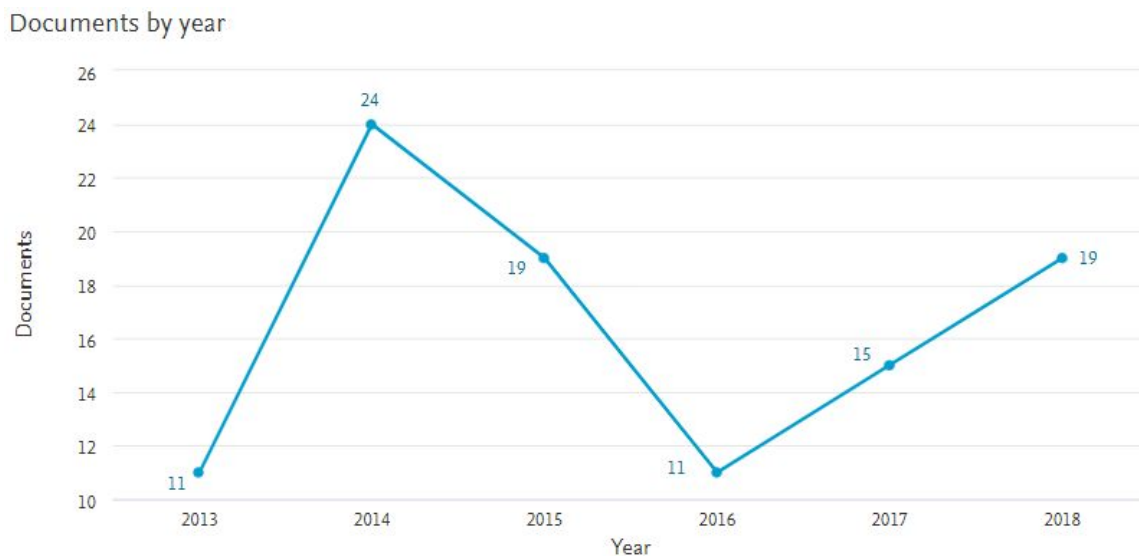
Los pasos para realizar el control de movilidad pecuaria se establecen a través de un monitoreo constante, confiable, ágil y en el momento y lugar preciso, de la definición de monitorear aportada por Patrick Rempel & Tobias, se obtiene la presente definición sobre trazabilidad: “un proceso que identifica de manera completa y precisa la causa raíz de un evento al capturar la información correcta en el momento correcto y al costo más bajo para determinar el estado de un sistema de manera oportuna y significativa”. Los servicios de control de movilidad pecuaria son útiles para detectar, monitorear, analizar y gestionar información de los animales inspeccionados en tiempo real, lo que ayuda a responder de manera oportuna a aprobar o denegar permisos de movilidad pecuaria disminuyendo así los índices de abigeato, contrabando e inspeccionando medidas de control fitosanitarias y adicionalmente alimentando la base de datos de la trazabilidad pecuaria en lo referente a la movilidad. [18,27,35,49]

2.1.2 Análisis Cienciométrico

Con el ánimo de identificar las tendencias y autores para ser tomados como referencia se realiza un análisis cienciométrico, logrando así de esta manera un punto de partida a través literatura para el presente proyecto de investigación. Por medio de la búsqueda

elaborada en las bases de datos científicas, con la creación de siguiente ecuación de búsqueda: ("traceability" OR "traceable" OR "trackable" AND "IoT" OR "Internet of Things" AND "Animal Identification" OR "Animal ID" OR "RFID" OR "Radio Frequency Identification" OR "11784" OR "11785"), palabras claves que conforman la raíz conceptual de la investigación del presente proyecto con sus correspondientes sinónimos, obteniendo los siguientes resultados 99 publicaciones en la base de datos científica *Scopus*, siendo esta una fuente de búsqueda relevante debido a que se considera como el repositorio más amplio con un banco de citas y resúmenes de literatura revisada por pares en las diversas áreas científicas como lo son: humanidades, artes, tecnología, medicina y ciencias sociales. A continuación, se presentan gráficamente los resultados del análisis de los resultados emitidos por *Scopus*:

Figura No 2-1: Producción literaria por años, Diseñado por el Autor a través de la herramienta *Scopus*.



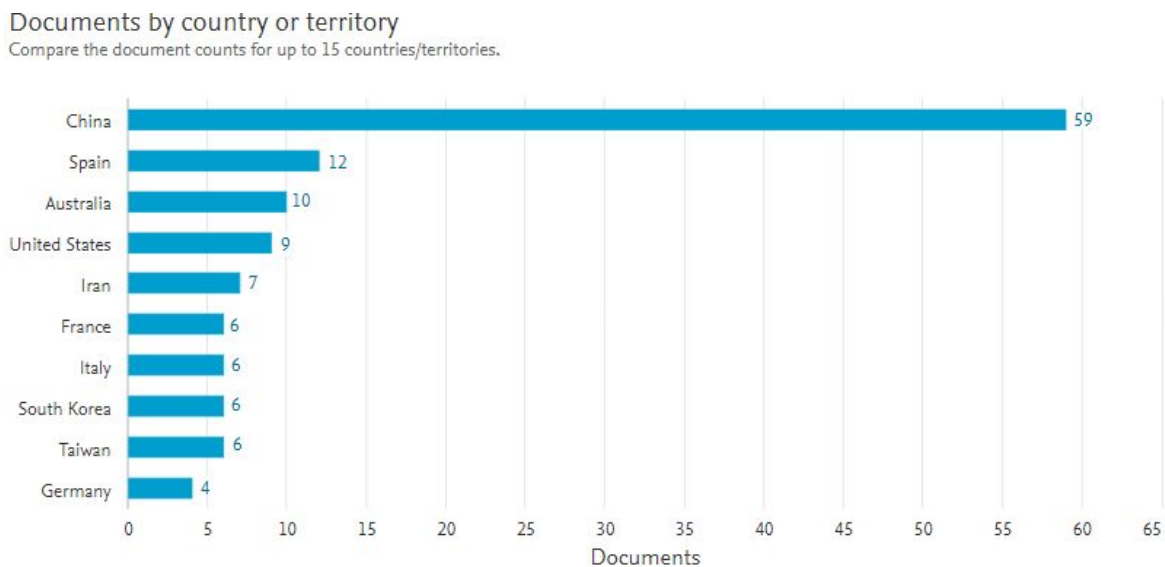
El análisis de las publicaciones literarias nos brinda una información de las tendencias actuales, en las que se ubica el presente proyecto, analizando un periodo de 6 años comprendido desde el 2013 hasta el 2018 según la figura No 2-1, se puede analizar un gran desinterés en la producción literaria entre los años 2014 al 2016 y reiteradamente un crecimiento a partir del año 2016 hasta el año 2018, lo que se supone que entre el

año 2014 y 2016 fue un periodo dedicado a procesos de investigación y redacción para sus posterior publicación.

2.1.3 Análisis Bibliométrico

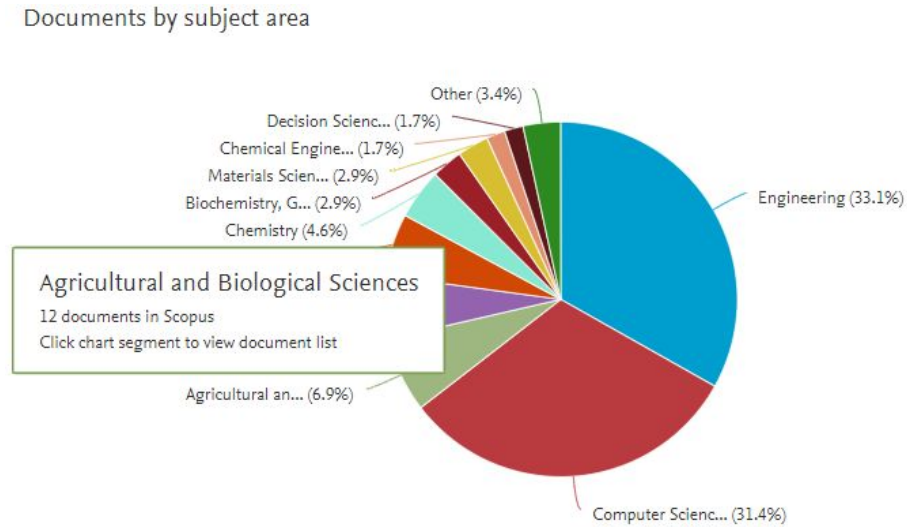
Los países líderes definidos de acuerdo con la mayor cantidad de publicaciones se encuentran aquellos que tienen a partir de 4 publicaciones como podemos observar en la figura No 2-2. Se cuentan con un total de 125 publicaciones para una cantidad en la que participan 10 países, donde China posee el 47.2% de publicaciones, siendo esta una cifra muy significativa para un solo país, encontrando un alta diferencia mayor al 37.6% con cada uno del resto de los países, lo que preocupa aún más es el poco interés por parte del continente sur americano en el desarrollo de esta literatura.

Figura No 2-2: Producción literaria por países, Diseñado por el Autor a través de la herramienta *Scopus*.



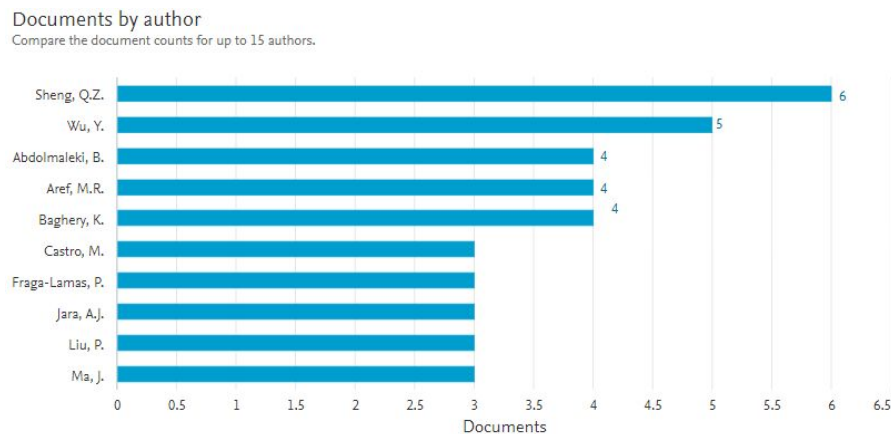
El tema de enfoque que se desarrolla en el presente proyecto apunta en el sector Agropecuario, donde según la ecuación de búsqueda se ve reflejado en las tendencias de literatura publicada entre los años del 2013 al 2018, se observa una participación de 6.9% cómo podemos analizar en la figura 2-3, siendo superada por ciencias de la computación e ingeniería con un poco más del 31.4 % y 33.1% respectivamente.

Figura 2-3: Producción literaria por sectores de producción, Diseñado por el Autor a través de la herramienta *Scopus*.



En cuanto al análisis de autores, los autores más destacados son Sheng, Q.Z y Wu, Y, que cuentan con 6 y 5 publicaciones respectivamente, asociadas a los temas de la raíz de la investigación que se desarrollan en Internet de la Cosas, Identificación Animal y trazabilidad. Es así como se evidencio que los autores presentes en la figura 2-3 han contribuido con importantes aportes en el campo referido. Considerar este resultado trascendental en el momento evaluar la solución propuesta del presente proyecto.

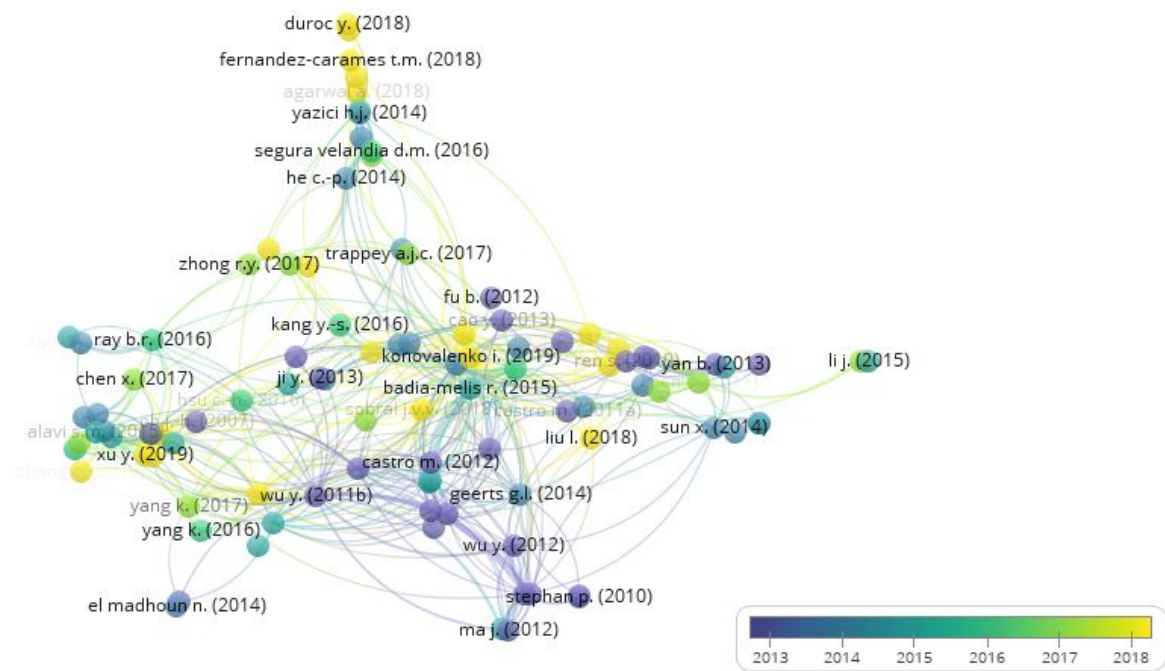
Figura 2-4: Producción literaria por autores, Diseñado por el Autor a través de la herramienta *Scopus*.



2.1.4 Clusters o Tendencias Literarias

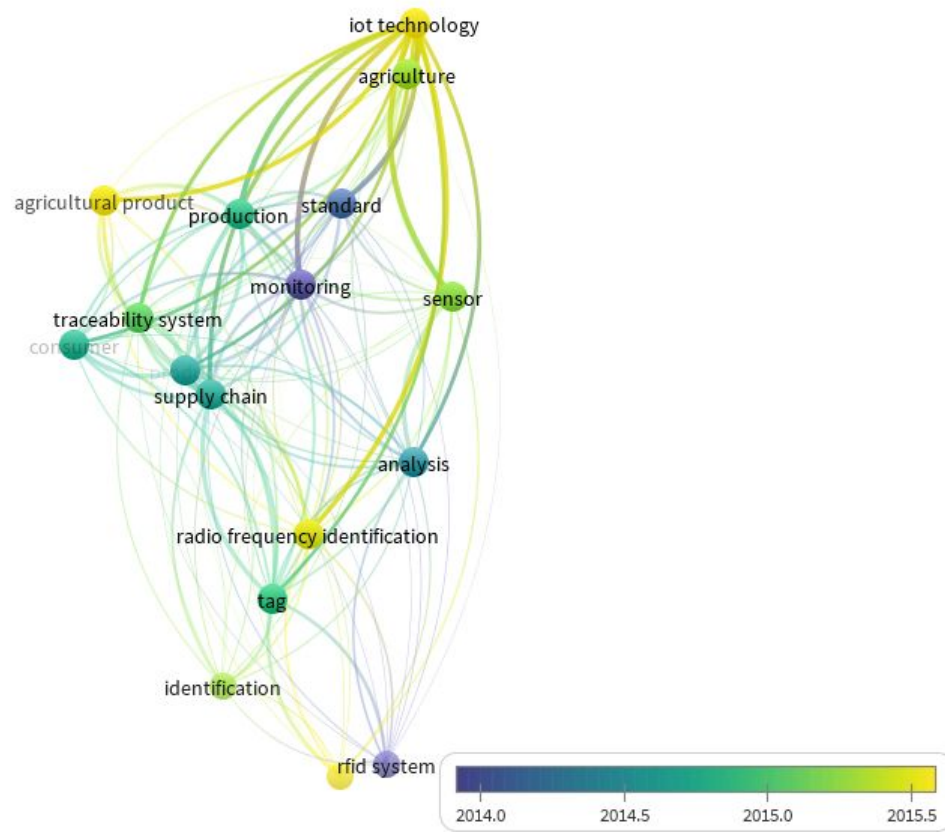
Realizando un análisis de coocurrencia con la herramienta *VosViewer Versión 1.6.7* un herramienta virtual que permite crear un mapa estableciendo de redes bibliométricas. Con el conjunto de palabras claves que implementan la raíz del presente proyecto brindando un enfoque de la literatura del corpus identificando y evidenciando las tendencias sobre el tema a través del material recolectado. Posteriormente de realizar el análisis de datos a través de la herramienta *VosViewer* como lo muestran la figura 2-5 y figura 2-6, es posible concluir que:

Figura 2-5: Autores Relevantes en el Tema IoT, Diseñado por el Autor a través de la herramienta Scopus.



Se observa fuerte interés según la figura 2-5, sobre los temas Internet de las cosas, trazabilidad, e identificación animal con mayor relevancia a partir del año 2013.

Figura 2-6: Relación de Clúster de Tendencias, Diseñado por el Autor a través de la herramienta *Scopus*.



Se percibe la fuerte vinculación que ha tenido la tecnología de internet de las cosas en las técnicas de procesos de agricultura en temas de producción y en los productos agrícolas (ver figura 2-6) obtenidos con el fin de brindar inocuidad alimentaria al consumidor direccionando al término conocido como agricultura de precisión.

Se puede apreciar una traspolación que ha adquirido el término RFID al nuevo término utilizado con mayor frecuencia hoy en día como lo es tecnología de *IoT*, donde se ve bastante marcado por el uso de identificación por radio frecuencia que se encuentra ampliamente relacionado con el Internet de las Cosas. [2,7,55,39]

El término de sistemas de trazabilidad posee fuerte relación con Internet de las Cosas, lo que permite concluir que la tecnología de internet de las cosas, ha brindado mayor accesibilidad para procesos de conexión y transmisión de datos a internet y así su

posterior análisis de la información por parte del usuario desde cualquier dispositivo con conexión a internet que le permita un enlace a la base de datos. [12,19,46,53]

Como se puede evidenciar el término *supply chain* o en español cadena de suministros, aparece de las palabras de ecuación de búsqueda orientada a una mejor gestión para procesos de manipulación de productos agropecuarios observando una tendencia a la vinculación con los sistemas de trazabilidad.

Aunque dentro de la ecuación de búsqueda no se insertó la palabra *agricultural product* o en español productos agrícolas, se concibe la importancia de los productos o alimentos derivados de la agricultura en esta misma ecuación.

Se evidencia el gran uso de manera exponencial del internet con el transcurso del tiempo, al ser este el canal que permite la comunicación para la transmisión de información entre los diversos elementos que se involucran en los sistemas de trazabilidad en el marco de *IoT*.

2.1.5 Internet de las Cosas

El *IoT* se compone de una estructura de terminales compuestos por dispositivos tecnológicos, objetos, animales y/o personas que poseen unos identificadores únicos e irrepetibles en dicho sistema, conformando una interrelación, con la característica de intercambiar datos de información de manera autónoma a través de una red o mejor aún a través de la red de redes. [41,56]

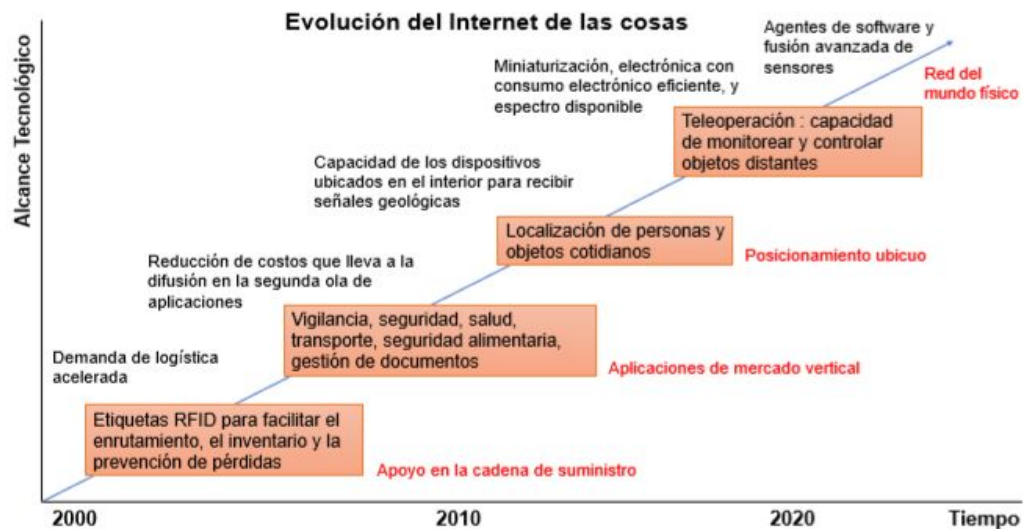
Otra característica de *IoT* es la utilidad que se aplica para monitoreo a través de sensores brindando una información que conlleva al control de una variable con aplicaciones prácticas en muchas industrias incluyendo sectores de la salud, agricultura de precisión, transporte, automotriz entre otros, generando inyección de tecnología para obtención o prevención de ciertos resultados creando el escenario ideal. [29,38,57,58]

IoT es el producto de la transformación y la convergencia de las tecnologías entre las que cabe destacar la computación previsiva, tecnologías de censado, sistemas embebidos y protocolos de internet entre otros; [23] la cual se asemeja mucho a la definición por Atzori[4] en la que describe el IoT como “una infraestructura para facilitar el

intercambio de información de los productos”, exponiendo grandes vínculos entre los términos de transmisión de datos y manipulación. [8,26,64]

Diversos investigadores concluyen que el concepto de *IoT* tomó mayor relevancia al final del pasado siglo XX, en las publicaciones emitidas por el Auto-ID Center del MIT, grupo de investigación enfocados a temas de identificación por radiofrecuencia en red. [36][55] Aunque, tal palabra *IoT* se le adjudicó su aparición a Kevin Ashton quien lo definía como: “agregar identificadores de RF a los objetos cotidianos”. Luego del desarrollo de la investigación de Ashton, *IoT* se describe como una red de entidades que se interconectan a través de un sensor, lo que permite a estas entidades ser identificadas, localizadas y controladas en el mismo escenario o de manera remota.[9,17,28]

Figura 2-7: Evolución de *IoT* [5]

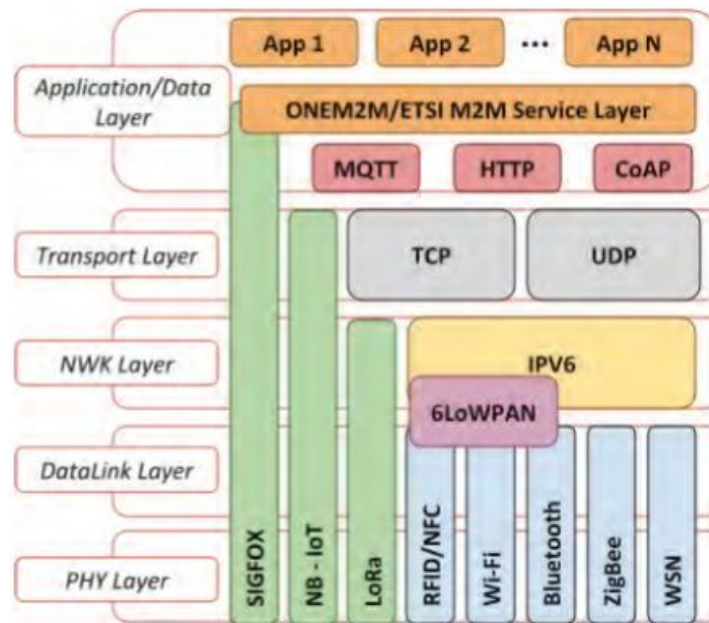


Mediante la figura 2-7, se esboza el desarrollo tecnológico y las aplicaciones en las que se ha visto involucrado la transformación de la tecnología *IoT*, con un rango de tiempo de 20 años, iniciando en el año 2000 y finalizando en el año 2020, donde se registra gran impacto los procesos de identificación a través de RFID controlando el inventario para la prevención de pérdidas lo que ha sido un gran implementación para las cadenas de suministro. Para el caso de las cadenas que llevan a cabo la manipulación de

alimentos, *IoT* tiene amplia funcionalidad que ha sido ubicado en uno de los eslabones para brindar sanidad e inocuidad de los productos al igual que su calidad. [26] Lo que brinda mayor interés y aplicación para el desarrollo del presente proyecto debido a las medidas de control fitosanitaria en la que se enfoca el ICA. [13,16,22,56,59]

La solución a necesidades basadas en el marco de *IoT*, abarca diversas tecnologías como se observa en la figura 2-8, que son implementadas de acuerdo a la aplicación y limitantes. A continuación, se describen los estándares y tecnologías con mayor uso actualmente en el desarrollo de soluciones *IoT*. Adicionalmente, el *framework IoT* establece un análisis de aplicación para la implementación al control de movilidad pecuaria en ZAV. En la figura 2-9, se describen las tecnologías y protocolos sobre los que se ha venido desarrollando en los proyectos enfocados a *IoT*. [22,32,43,52]

Figura 2-8: Resumen de protocolos utilizados en IoT. [43]



2.1.6 Capa Física y Capa de Enlace

La capa física y capa de enlace pertenece a las dos primeras capas del modelo OSI de la figura 2-9, involucran las tecnologías segmentadas dependiendo de las dimensiones del área de cobertura, clasificándose entre área extendida o área local, como cabe

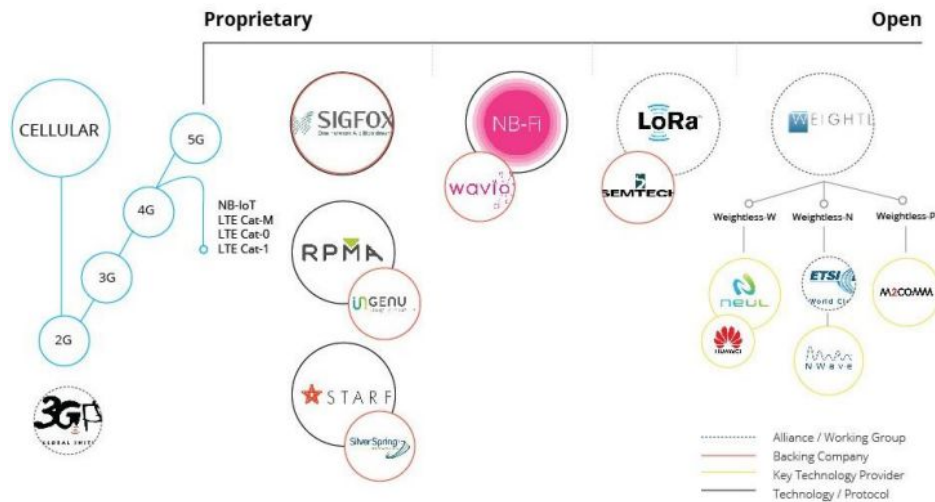
mencionar *WSN*, *ZigBee*, *Bluetooth*, Wi-Fi y RFID/NFC se encargan de encriptar en señales los dígitos binarios para representar las tramas y así poder generar la recepción y transmisión de señales a través de los medios físicos. [33,42,62]

Bluetooth pertenece al estándar IEEE 802.15.1 y Wi-Fi pertenece al estándar IEEE 802.11, se establecieron en un principio en la banda de 2.4 GHz. Siendo Wi-Fi diseñado como una opción para las redes LAN como tecnologías de alta velocidad de transmisión. Bluetooth, establecido para redes de área personal (PAN) utilizado en sistemas de bajo consumo eléctrico con la limitante de baja velocidad de transmisión. Adicionalmente, ZigBee y la mayoría sensores inalámbricos (WSN) se ubican bajo el estándar IEEE 802.15.4, desarrollando el funcionamiento en las dos primeras capas del modelo OSI. [5,25,47]

NFC pertenece a la tecnología RFID, que data desde los años 1920 y aún así permanece en continuo desarrollo, basada en etiquetas instaladas en objetos y/o animales, permitiendo una comunicación inalámbrica a través de ondas electromagnéticas, según el protocolo de la etiqueta, pueden pertenecer a pasivas o activas. Los tag pasivos, se caracterizan principalmente por que el lector en su momento de activación para detectar la información que contiene el *tag*, transmite energía a través de las ondas electromagnéticas, por lo que cada *tag* no utiliza baterías y estas son regularizadas bajo el estándar ISO 18000-6C,[4] caracterizando su funcionamiento de bajo costo, pero con limitantes de distancia muy reducidos. Mientras, que las etiquetas activas hacen uso de baterías lo que potencializa los sistemas de comunicación, alcanzando distancias alrededor de 50 metros, pero a su vez se elevan los precios. [4,9,50]

2.1.7 Tecnologías de Área Extendida

Figura 2-9: Tecnologías LPWAN [61]



Las tecnologías de área extendida, han surgido como comunicación para el Internet de las Cosas, basados en brindar cobertura frente las dificultades que se manifiestan con las tecnologías Wi-Fi, 2G, 3G o 4G al utilizarse para aplicaciones *IoT*, por tal motivo, surgen las redes de bajo consumo y largo alcance *LPWAN*, estableciendo optimas condiciones para poder establecer una arquitectura *IoT*, caracterizados por: consumo eléctrico por debajo de los 50 μ Watts, lo que favorece para la conexión de dispositivos durante amplios periodos de tiempo con bajo consumo de energía, fácil acceso por costo a la tecnología y amplias coberturas con distancias de hasta 60 km. [25,39,40]

Dichas tecnologías que pertenecen a *LPWAN* constan de características completas para diversas aplicaciones en la construcción de un ecosistema *IoT*. [14,17,20] Sobre todo, para aquellos sectores que se caracteriza por la transmisión limitada de datos de información, pero con la virtud de un desarrollo autónomo en el instante de medir ciertas variables, como es el caso de una independencia en la conexión a la red eléctrica y una tranquilidad frente la recarga de los dispositivos, adicionalmente aportan un largo alcance para la transmisión de información de los sensores *IoT*. [45,34,54,60]

Luego de la definición de este modelo de transmisión y recepción de datos se han establecido una gran diversidad de tecnologías que se unen, dando lugar a un amplio<<

mercado de negocio. [10,34] En donde en la variedad se encuentran desde tecnologías privadas realizadas y aplicadas por compañías, pasando por asociaciones que regulan propia tecnología hasta llegar a estándares oficiales, donde las más utilizadas y reconocidas son: *Sigfox*, *RPMA*, *Weightless*, *LoRa*, *NB-IoT*, *DASH7* entre otros. Su utilización varía dependiendo del sector sobre el que centran la actividad de desarrollo en el marco *IoT*. [6,45]

LTN establece una transmisión bidireccional con largo alcance aproximadamente de 40 km con línea de vista, funciona con reducido consumo eléctrico logrando ampliar la vida útil de las baterías y haciendo uso de sistemas de procesamiento de señal de radio para disminuir interferencias. Utiliza canal de subida en la banda ISM libre, con un ancho de banda de 100 Hz. [37,61]

Sigfox es otra tecnología que facilita la comunicación de la red de sensores en un sistema *IoT*, la cual funciona en el estándar ETSI LTN detallado anteriormente. *Sigfox* hace uso de un canal de subida con modulación diferencial DBPSK y un canal de descarga con una modulación en GFSK. [27] Tanto el canal de subida como el de bajada funciona sobre las bandas de frecuencias de sub-GHz libres con una tecnología de comunicación UNB transmitiendo. Existe limitante en la información transmitida, lo que incluye un máximo de 12 bytes fijos de preámbulo, distribuidos en un identificador del dispositivo y otros metadatos. [28]

LoRa desarrolla la comunicación por medio de dispositivos que interconectan redes entre los que cabe mencionar los *gateways* y sirven como conexión hacia la plataforma *IoT*, haciendo uso del espectro radioeléctrico para la transmisión de datos con diversas frecuencias y velocidades. Lo que incluye frecuencia entre el rango de 109 MHz, 433 MHz, 866 MHz y 915 MHz, garantizando menor interferencia que las bandas superiores. [14] Con la característica particular que bajo el funcionamiento de transmisión en estas frecuencias, las señales fácilmente atraviesan obstáculos y alcanzan largas distancias sin mayor distorsión de la señal emitida. Adicionalmente *LoRa* ofrece una funcionalidad de consumo reducido de energía y transmisión bidireccional efectiva, con una velocidad

de transferencia que oscila entre 300 y 5000 bits en un tiempo no mayor a un segundo. [16,23]

RPMA proyectada para las comunicaciones inalámbricas en el marco de M2M e *IoT*, funcionando en la banda de 2,4 GHz, lo que la hace más vulnerable a interferencias y por ende a pérdidas por causa de los materiales que se encuentren en el entorno, como resultado de la utilización de esta banda de frecuencia, la distancia entre el transmisor y receptor es menor y lo que demuestra una cobertura no muy amplia en comparación con otras tecnologías de bajas frecuencias[25] lo que significa una cantidad de dispositivos menor por cada estación base. RPMA soporta una transmisión de datos bidireccional de manera efectiva, con unas velocidades que abarcan los cientos de miles de bits en un tiempo no mayor a un segundo, a costa de un mayor consumo de energía que otras tecnologías, soportando tamaños de paquetes desde los 6 bytes hasta los 10 Kbyte. [39]

Weightless perteneciente a la tecnología LPWAN con altos índices de utilización en el marco de *IoT*, por sus características que ofrece como lo son: gran cobertura, bajo consumo energético y un precio reducido para que los usuarios adquieran sus dispositivos. [33] Dentro de la misma tecnología se ofrecen tres variables las cuales son: *Weightless-N*, *Weightless-P* y *Weightless-W*, en orden de menor a mayor complejidad, obteniendo las características que podemos observar en la siguiente tabla 2-1. [12]

Tabla 2-1: Características de Tecnología *Weightless* [53]

Función	Weightless - N	Weightless - P	Weightless - W
Direccionalidad	1 Camino	2 Camino	2 Camino
Conjunto de Características	Simple	Completa	Extensa
Rango	5 Km+	2 Km+	5 Km+
Duración de Batería	10 años	3 - 8 años	3 - 5 años
Costo de Dispositivo	Muy Bajo	Bajo	Medio Bajo
Costo de la Red	Muy Bajo	Medio	Medio

NB-Fi es una tecnología parecida a *Sigfox* la cual funciona en las bandas libres ISM abajo de los gigahercio con modulación DBPSK y una velocidad de transmisión entre 10 bps y 100 bps con canales con un ancho de banda de 100 Hz, comparable en similitud al UNB de *Sigfox*. [14,23,54] La cobertura de la presente tecnología tiene un alcance alrededor de los 16 km para entornos urbanos con un consumo de 166 dBm pero en ambientes rurales pueden alcanzar hasta los 50 km. [12,18] lo que la hace superior a la de las otras tecnologías LPWAN que utilizan la misma modulación y bandas de frecuencias similares para la comunicación.

El grupo 3GPP se ha establecido como un acuerdo que contribuya con la evolución y el desarrollo en las especificaciones del estándar WCDMA. [39,47] Con el presente grupo se han estandarizado diversas tecnologías de comunicación, en las que cabe mencionar 3G. [3] Dentro de la arquitectura de *IoT*, 3GPP ha creado diversos modelos de comunicación como lo son: LTE Cat 1, LTE Cat 0, LTE Cat M1 (eMTC) y LTE Cat NB1 (NB-*IoT*) [55].

2.1.8 Tecnología en Sistemas de Trazabilidad

La oleada de desarrollos tecnológicos como lo son la computación en la nube, dispositivos inteligentes, *IoT* entre muchos más, están transformando la sociedad y su forma de pensar. Para los procedimientos que conlleva la trazabilidad se han obtenido mayor desarrollo gracias a Internet, puesto que desde un teléfono móvil se puede acceder a información de productos alimenticios convirtiendo a la industria alimentaria más orientada hacia el consumidor. [15,56] Con otro apoyo adicional como lo son las redes sociales, donde se puede exhibir la satisfacción de los clientes, impactando de manera positiva o negativa la imagen de una empresa o producto alimenticio. [53,65] Por medio de medidas regulatorias establecidas por los gobiernos han establecido normas para las empresas de alimentos para que muestren no solo las tablas de composición sobre los productos alimenticios, si no adicionalmente los procesos de evolución de un producto en cada una de sus etapas, caso particular del presente proyecto desde el nacimiento de cada vacuno hasta su muerte registrando fechas y lugares de información

relevante como vacunas, enfermedades, predios de cría y ceba, cambios de propietario entre otros.[59]

Para llevar a cabo las normatividades, las compañías de alimentos con buenas prácticas han llevado a cabo procesos de identificación basados en diferentes tecnologías como lo son: Sistemas de códigos de barras impresos los cuales son utilizados en gran parte en la cadena de suministro por su bajo costo referente a la materia prima utilizada y los procesos de instalación. [62,59], NFC y RFID se caracterizan por la velocidad y distancia de transmisión y recepción creando nuevos sistemas de aplicaciones. [63,64] Otras técnicas más científicas para procesos de trazabilidad con ánimo de inocuidad alimentaria son: Análisis por medio de Isótopos, lo que significa un código de barras ADN, o también conocidos como espectroscopia infrarroja se desarrolla bajo el análisis de los componentes de las propiedades químicas de los alimentos construyendo sistemas de bancos genéticos que buscan además de recolectar, poner a disposición de los especialistas dispersos por el mundo vía internet, la información que contiene en el ADN por medio de los taxones conocidos. [17, 37,39]

3. Capítulo 3

3.1 CONOPS (Concepto De Operación)

A continuación, se realiza una descripción e identificación de los procesos de control de identificación y movilidad pecuaria en Colombia y los entes que participan en el sector pecuario, enfocándose en la transición del uso de identificación a través de las marcas de hierro candente, a la utilización para identificación por medio de los *tag* 11784/11785 referentes bajos las normas internacionales de identificación animal y los beneficios para el control en las zonas de alta vigilancia, obteniendo las características y los principales actores del sistema actual mediante el ConOps. [33] Definiendo el ConOps como un instrumento que describe el funcionamiento de un nuevo sistema o existente del cual se le quiere realizar modificaciones, tomando en cuenta la opinión de los usuarios, que proporciona información relevante para las modificaciones y / o desarrollo de tal sistema. [24]

Para mejor comprensión del lector el presente capítulo se estructura de la siguiente manera: en la sección 3.1.1 se presentan la descripción de los actores estratégicos del sistema. [26] En la sección 3.1.2 se listan las normatividades internacionales para la identificación pecuaria utilizados como base para la especificación del sistema. En la sección 3.1.3 se presenta la descripción general del sistema actual de control de identificación y movilidad pecuaria en Colombia, con el funcionamiento del entorno de operación, teniendo en cuenta las políticas y las normativas vigentes. [18] En la sección 3.1.5 se presentan las necesidades operacionales del sistema, identificando un conjunto de condiciones a tener en cuenta para la operación del mismo. [33] En la sección 3.1.6 se realiza la descripción general del sistema propuesto con ubicación en el diagrama de alto nivel con las relaciones con los actores estratégicos y los procesos del sistema, introduciendo la arquitectura del sistema propuesto. [26]

3.1.1 Descripción de los Actores Estratégicos

MinAgricultura. El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, establece parte de su actividad en el planteamiento y coordinación de programas y políticas enfocadas para el desarrollo e inocuidad en el sector Agropecuario.

MinTransporte. El Ministerio de Transporte, define y regula políticas de transporte a través de la articulación de entidades que componen el sector.

MinSalud. El Ministerio de Salud y Protección Social, es el entidad encargada de determinar y regular las normas en lo que compete a temas de salud pública.

ICA. El Instituto Colombiano Agropecuario, es el encargado de establecer y ejecutar estrategias que mitiguen riesgos biológicos, sanitarios y químicos para las especies tanto vegetales como animales, que amenacen con la producción forestal, agropecuaria, acuícola y pesquera de Colombia.

SINIGAN. El Sistema Nacional de Información e Identificación del Ganado Bovino, contribuye con la construcción de la trazabilidad en la cadena de producción pecuaria, velando por la inocuidad y salubridad de los productos lácteos y cárnicos en todo el territorio Colombiano.

INVIMA. El Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos, es una entidad que busca proteger la salud de la población Colombiana, de los riesgo asociados al uso y/o consumo de medicamentos, alimentos y dispositivos médicos.

PLANTAS DE BENEFICIO. Lugar autorizado bajo medidas de inspección sanitaria y manejo adecuado para el sacrificio, desposte y/o desprese de los bovinos y bufalinos en el territorio colombiano.

PLANTAS DE ORDEÑO Y/O ACOPIO. Lugar diseñado para las labores de manejo del ganadero en el proceso de extracción de la leche de las vacas y su proceso de almacenamiento bajo medidas sanitarias.

PONAL. La Policía Nacional, especializado en transporte, tiene como objetivo contribuir con la seguridad en la movilidad aplicando las normas de tránsito y prevención de la accidentalidad de los actores viales.

PSG. Los Puntos de Servicio al Ganadero, son la entidad encargada de registrar, orientar y realizar trámites a los ganaderos, en actividades de movilización y cambio de propietarios.

SECRETARIA DE SALUD. La Secretaría de Salud, establece su actividad en la prevención de enfermedades por medio de políticas de estado para que los colombianos ejerzan el derecho de protección a la salud.

HACCP. El Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control, es un proceso de regulación que busca garantizar la inocuidad alimentaria, brindando una certificación internacional para los procesos de exportación de alimentos.

FEDEGAN. La Federación Colombiana de Ganaderos es una organización gremial, que busca el fortalecimiento del sector, ejerciendo y promoviendo cumplimiento en las regulaciones que rigen a los ganaderos, administrando los métodos para trazabilidad de ganado bovino.

Productores Pecuarios: Son los que se encargan de crear productos cárnicos y lácteos, denominados más popularmente como ganaderos.

Expendios de Carne: Lugares adecuados e inspeccionados bajo políticas sanitarias para el almacenamiento y comercialización de productos cárnicos comestibles.

Distribuidores de Lácteos: Son los representantes de comercializar la leche de vaca o sus derivados.

Exportadores: Para el presente documento el exportador hace referencia a la comercialización internacional de productos lácteos y/o sus derivados o bovinos en pie o carne en canal o despoje (viseras).

Transportistas: Para el presente documento, un transportista es la persona encargada de transportar los semovientes en pie o la carne en canal o lácteos y sus derivados, bajo las condiciones sanitarias establecidas.

Consumidor Final: Para el presente documento, se define como la persona que consume los productos cárnicos y/o lácteos o hace uso de los productos marroquinos provenientes del sector pecuario.

3.1.2 Normativa – Entidad Regulador

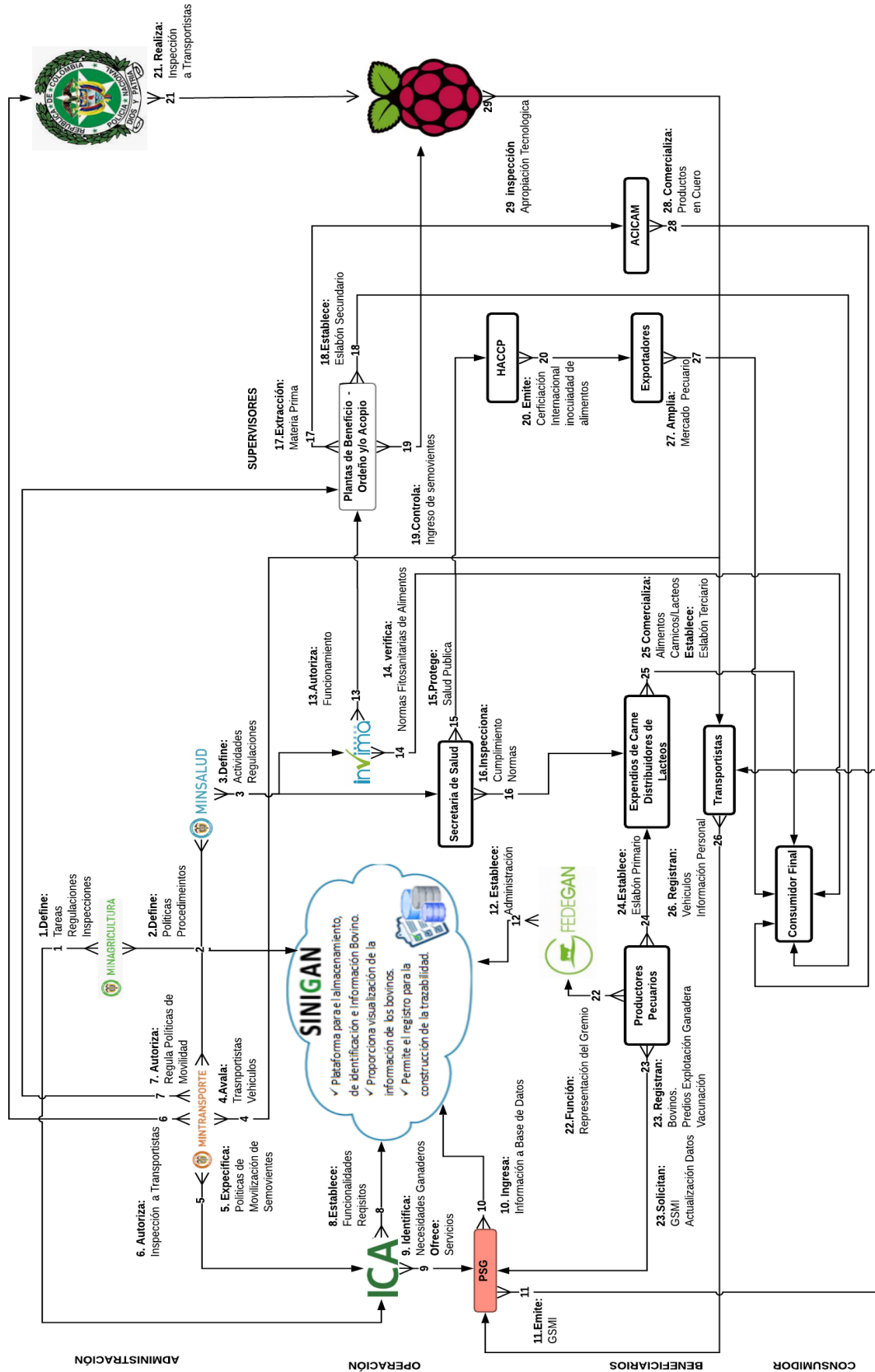
El ICAR por sus siglas en castellano que significa Comité Internacional de Registro Animal, es una entidad que se encarga de la normatividad para la identificación, registro y evaluación de genética animal, de esta manera enfoca sus actividades para estimular los trabajos de los ganaderos a nivel internacional, los cuales reciben asistencia para proporcionar mejores servicios que entablen procesos de inocuidad de alimentos cárnicos y lácteos, por tal razón el ICAR elabora directrices y normas técnicas de acuerdo a las innovaciones tecnológicas respecto a la ganadería. [2,5,54,61] Convirtiéndose el ICAR en la autoridad máxima para la creación de normas ISO concerniente al uso debido de dispositivos de identificación por radiofrecuencia (RFID). [57,61,65]

El ICAR es la autoridad de registro, el cual contribuyó con la estandarización ISO 11784/5 para los tags RFID de baja frecuencia. Por tal razón, el ICAR diseñó procesos a través de los cuales se puede analizar dispositivos RFID que cumplen con las normas establecidas, las cuales están supeditadas por los resultados y avances de las constantes investigaciones en el desarrollo tecnológico de este modo de identificación. [54,45,58,61].

3.1.3 Identificación del Sistema de Control de Movilidad Pecuario Actual

El presente diagrama representa, el funcionamiento actual, de acuerdo a la normatividad vigente, que establece el MinAgricultura, MinSalud y MinTransporte para definir las políticas de operación de control de movilidad pecuaria a través de las entidades encargadas de adoptar las políticas definidas y realizar la supervisión de estas mismas entre los que cabe destacar las entidades como el ICA e INVIMA donde la primera entidad vela por control de movilidad pecuaria de ganado en pie y la segunda vela por la inocuidad de los alimentos, en el presente proyecto después del sacrificio de los semovientes, donde la Policía Nacional es la delegada de la supervisión en las vías del territorio Nacional, representa y contribuyen con el control de las entidades del ICA e INVIMA. [15,64] Por otro lado, usuarios y/o entidades principales que hacen parte directa o indirectamente de la infraestructura del sistema actual de control de movilidad pecuaria. En la Figura 3-1 se presenta el esquema de funcionamiento actual de control de movilidad pecuaria, representando gráficamente las relaciones entre los actores estratégicos involucrados. [16][31]

Figura 3-4: Diagrama propuesto para la ubicación del dispositivo *IoT*, en el esquema existente entre relaciones de Actores



Como complemento a la figura 3-1, se incluyen las siguientes tablas, en la cual se presentan las relaciones existentes entre un determinado actor A respecto a un actor B del esquema de funcionamiento actual para el control de movilidad pecuaria, tomando como guía de conexión los números que interconectan cada actor y así poder ubicar al lector con mayor facilidad en la figura 3-1.

Tabla 3.1: Conexión entre actores administrativos

Conexión de Actores Administrativos con El Sistema de Control de Movilidad Pecuaria			
#	ACTOR A	ACTOR B	CONEXIÓN
1.	MinAgricultura	ICA	1. Autoriza el control de la producción agropecuaria. 2. Designa la inspección de productos agropecuarios en los pasos fronterizos, aeropuertos y puertos. 3. Crea como responsable de las negociaciones de acuerdos sanitarios y fitosanitarios bilaterales o multilaterales que permiten la comercialización de los productos agropecuarios en el exterior. 4. Le brinda la potestad de garantizar la calidad de los insumos agrícolas y el uso de organismos vivos modificados por ingeniería genética para el sector agropecuario.
2	MinAgricultura MinTransporte MinSalud	SINIGAN	Establece la base normativa para reglamentar las normas que definen los procesos y procedimientos que regulan
3	MinSalud	INVIMA	Elige esta entidad para que proteja y promueva la salud de la población, mediante la gestión del riesgo asociada al consumo de alimentos cárnicos y lácteos.
		Secretaria de Salud	Acciona control continuo de la Vigilancia en Salud Pública
4	MinTransporte	Transportistas	1. Establece los horarios de los Transportistas para la actividad de movilización de ganado bovino y bufalino para lo cual tendrá en cuenta como criterio orientador, para el ejercicio de esta función, las circunstancias de seguridad y orden público que se presenten en las diferentes zonas del territorio nacional. 2. Regula el transporte en vehículos adecuados, de acuerdo si la movilidad se presenta a ganado en pie, carne en canal y/o a sus derivados especialmente lo que compete a los lácteos en conformidad a las medidas sanitarias. 3. Establece normas pertinentes que velan por que la movilización de ganado bovino y bufalino no cause maltrato ni lesión alguna contra la integridad física de estos animales. Acarreando sanciones por la transgresión de las normas establecidas.
5	MinTransporte	ICA	Determina las condiciones para el registro y control de todas aquellas personas jurídicas y/o naturales que presten el servicio de embarque y movilización, entendiéndose como transporte terrestre (a pie y/o vehículo), aéreo, fluvial o marítimo de ganado bovino y bufalino vivo o en canal junto con sus derivados en el territorio nacional.
6	MinTransporte	PONAL	Permite los retenes de control en las carreteras nacionales, para los procesos de inspección a través del Registro de Control de ganado bovino y bufalino en caso de transporte en pie o su concerniente registro para el transporte de carne en canal junto con sus derivados.
7	MinTransporte	Plantas de Beneficio	Sólo permitirá el transporte de carne en canal, proveniente de plantas de beneficio autorizadas.

Tabla 3.2: Conexión entre actores operativos

Conexión de Actores Operativos con El Sistema Control de Movilidad Pecuaria			
#	ACTOR A	ACTOR B	CONEXIÓN
8.	ICA	SINIGAN	1. La establece como una herramienta para apoyar el control de inventarios bovinos con identificación única, oficial e irreplicable para la construcción de la trazabilidad pecuaria en Colombia 2. Estipula los stakeholders relevantes, para los procesos de trazabilidad pecuaria, entre los destacó los transportistas y ganaderos como base principal para la construcción de la herramienta y su vez como usuarios del sistema.
9.	ICA	PSG	Los crea para que los ganaderos del país accedan fácilmente a los servicios que presta la entidad en temas pecuarios.
10.	PSG	SINIGAN	Realizar trámites que alimentan la base de datos SINIGAN como: 1. Inscripción de fincas ganaderas, Vinculación y actualización de ganaderos. 2. Actualización de los ciclos de vacunación. 3. Trámites, requisitos y registro de cambio de propietario de semovientes.
11.	PSG	Transportistas	Entrega Guía sanitaria de movilización interna de animales con el Registro de Control que reside en la base de datos de la cual contendrá al menos la siguiente información: 1. Número, edad, clase, sexo, cantidad, Fecha de última vacunación y hierro o tag del ganado transportado. 2. Procedencia y destino final de semovientes transportados. 3. Placa del vehículo y nombre de la empresa a que está afiliado. 4. Nombre y cedula del conductor y propietario de los semovientes. 5. Fecha de última vacunación.
12.	FEDEGAN	SINIGAN	Estimulan estrategias de mejoramiento en la productividad ganadera y bienestar del animal, contribuyendo con la administración de SINIGAN

Tabla 3.3: Conexión entre actores supervisores.

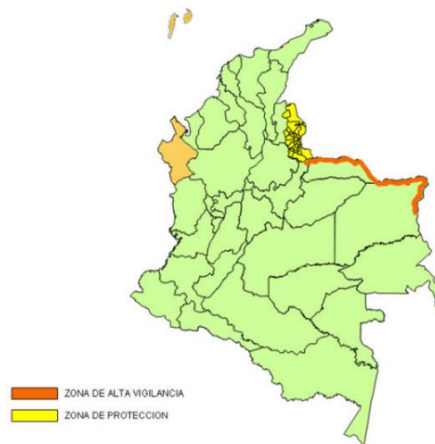
Conexión de Actores de Supervision con El Sistema Control de Movilidad Pecuaria			
#	ACTOR A	ACTOR B	CONEXIÓN
13.	INVIMA	Plantas de Beneficio – Ordeño y/o Acopio	Autoriza el funcionamiento o cierre de los establecimientos bajo el cumplimiento de normatividad sanitaria para el proceso de acopio de leche y sus derivados y desposte y desprese de alimentos cárnicos.
14.	INVIMA	HACCP	Establece como entidad de control externo para la certificación de la calidad internacional de los alimentos cárnicos.
15.	Secretaria de Salud	Consumidor Final	Promueve la vigilancia en salud pública y control sanitario con análisis periódicos mediante exámenes de laboratorio de interés en salud pública.
16	Secretaria de Salud	Expendidos de Carne y Distribuidores de Lácteos	Regulan todas las actividades que puedan generar factores de riesgo, mediante la manipulación de alimentos cárnicos y lácteos realizando control sanitario para el consumo de alimentos.
17.	Plantas de beneficio	ACICAM	Entidad autorizada para la extracción de la materia prima de la industria de marroquinería
18.	Plantas de Beneficio Ordeño y Acopio	Consumidor Final	Se establece como industria para el procesamiento y adecuación de los alimentos cárnicos y lácteos para su posterior consumo.
19.	Plantas de Beneficio Ordeño y Acopio	Transportistas	Funcionan como unidad de control de movilidad y procedencia para el ingreso de semovientes y/o lácteos en las plantas de operación
20.	HACCP	EXPORTADORES	Avala como entidad internacional la inocuidad de los alimentos para la comercialización de productos cárnicos, lácteos y sus derivados a escala internacional
21.	PONAL	Transportistas	Realiza procesos de inspección a través del Registro de Control de ganado bovino y bufalino en caso de transporte en pie, carne en canal junto, lácteos o sus derivados.

Tabla 3.4: Conexión entre actores beneficiados.

Conexión de Actores Beneficiados con El Sistema Control de Movilidad Pecuaria			
#	ACTOR A	ACTOR B	CONEXIÓN
22.	Productores Pecuarios	FEDEGAN	Presta servicios asesoramiento y distribución de insumos a la comunidad ganadera comprometiéndose en la satisfacción de los productores de ganado frente a las necesidades y expectativas
23.	Productores Pecuarios	PSG	Realizan trámites de solicitud la Guía Sanitaria de Movilización Interna de Animales, GSMI, guías de transporte, bono de venta, registro de hierros, inscripción de fincas ganaderas, programa Identifica,
24.	Productores Pecuarios	Expendios de Carne Distribuidores de	Generan la producción como primer eslabón de la cadena para que los comerciantes puedan realizar su posterior distribución
25.	Expendios de Carne Distribuidores de Lácteos	Consumidor Final	Distribuyen los alimentos cárnicos y lácteos a los consumidores final
26.	Transportistas	PSG	Deben registrarse, adjuntando documentos como cedula de ciudadanía, licencia de conducción y de igual manera los documentos del vehículo, como tarjeta de propiedad, SOAT, Revisión Tecno-mecánica para vehículos mayores después de 6 años de la fecha de matrícula.
27.	Exportadores	Consumidor Final	Brindar diferentes clases de proteína roja y los derivados de los lácteos garantizando mayor calidad y variedad para el consumo
28	ACICAM	CONSUMIDOR FINAL	Trabajos de marroquinería para uso del consumidor final.

3.1.4 Problema

Figura 3-2: Situación fiebre aftosa, Colombia 2018. [29]



De acuerdo con la misión del ICA, una entidad pública de orden nacional que dentro de sus actividades enfocadas al sector ganadero busca contribuir con su modernización, generar procesos de trazabilidad, disminución de las oleadas de abigeato y contrabando que afectan la actividad ganadera en Colombia, con la instalación y uso de los *tags* que corresponden al estándar 11784/11785.[25,65] Sin embargo en los puestos de control y vigilancia que se han situado estratégicamente, en los diferentes departamentos ganaderos principalmente en aquellos fronterizos, los cuales se denominan zonas de alta vigilancia en los departamentos Cubará – Boyacá, Arauca y Vichada (ver figura 3-2), algunos cuentan con los lectores del estándar 11784/11785, pero no existe actualmente una herramienta que transmita los datos capturados por los lectores RFID y se confirme la aprobación de movilidad por medio de la recepción de un dato que informe el consentimiento emitida por la base de datos del ICA, lo que lo convierte en un procedimiento ambiguo.[12] En respuesta a tal inconveniente, el presente estudio propone un dispositivo *IoT*, que brinde mayor aprovechamiento de los *tag* 11784/11785 contribuyendo al control de movilidad como un instrumento para la autoridades de inspección en los puestos de control pecuario disminuyendo de tal manera los índices de abigeato, contrabando y a la vez alimentando la base de datos de trazabilidad en lo

concerniente a la movilidad bovina, el dispositivo *IoT* validará en tiempo real y simulará por medio de la construcción de una base de datos de los semovientes de la Universidad Nacional de Colombia y en sus mismas instalaciones, donde se analizarán los siguientes parámetros: [16]

✓ **Distancia de lectura.**

Se define como el espacio que existe, entre el lector RFID y el TAG con lectura exitosa.

✓ **Velocidad de lectura.**

Se define como el tiempo que tarda el lector RFID en recibir la señal del TAG, dependiendo de la distancia de lectura.

✓ **Confiabilidad de Lectura**

Detección exitosa de cada *tag* referente al número de oportunidades para que se produzca la detección.

✓ **Tags RFID**

Se representa sus funcionalidades dependiendo sus características como lo son Pasivos, Activos, Frecuencia, Tamaño de TAG y normas de uso.

✓ **Autonomía Dispositivo**

Facultad del sistema que puede operar con independencia de asistencia humana, a través de la identificación automática.

Teniendo en cuenta los parámetros anteriormente descritos y las políticas que le rigen al programa identifica perteneciente a la entidad gubernamental ICA, [16,34] se pretende establecer los lineamientos a tener en cuenta para el desarrollo del modelo ideal de manera exitosa y funcional para la tecnología que actualmente se utiliza bajo los estándares de identificación pecuaria 11784/11785. [44]

3.1.5 Necesidades Operacionales

En entrevistas para levantamiento de información, en el marco de la construcción del ConOps del sistema de control de movilidad pecuaria, se realizaron entrevistas para









determinar las necesidades y las problemáticas por las que se involucran los actores. Se realizaron un total de treinta y cinco (35) reuniones entre visitas y entrevistas, a partir de las cuales se fundamentan las secciones presentadas a continuación mediante la tabla 3-5.

Tabla 3.5: Entidades Entrevistadas

ENTIDAD	NÚMERO DE REUNIONES
INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIOS (ICA)	6
PUNTOS DE SERVICIO GANADERO (PSG)	8
GANADEROS CON BUENAS PRACTICAS	12
COMPLEJOS, SUBASTAS Y FERIAS GANADERAS	7
ALLFLEX	2
TOTAL	35

Como resultado de las entrevistas realizadas a los actores estratégicos, se identificó una serie de necesidades, las cuales permitirán mejorar el funcionamiento de la operación del sistema en los procesos de identificación y control de movilidad pecuaria. En la tabla 3.5 se presenta una lista de necesidades marcando con un hexágono la categoría o categorías de la que pertenece la necesidad.

Tabla 3-6: Relaciones existentes entre un Actor A y un Actor B

#	Necesidad	CATEGORÍA		
		PLATAFORMA WEB	HARDWARE	JURIDICO
1	Limitación para la selección de estándar de Identificación Animal.			
2	Corto rango de lectura entre el dispositivo instalado en los semovientes y el lector, basados en el estándar 11784/11785.			
3	Carencia de uso de la plataforma SINIGAN, sobre todo por parte del actor principal como los son los ganaderos.			
4	Limitación para validación en tiempo real de permisos de movilidad de los semovientes transportados			
5	Desactualización por déficit de registro en tiempo real en la base de datos de los semovientes inspeccionados en los puntos de inspección.			
6	Baja autonomía en los procesos de validación de permisos de movilidad y registro en tiempo real.			
7	Débil cobertura de conexión a internet en puesto de control, en zonas de alta vigilancia.			
8	Baja cantidad de animales bovinos identificados, con tan solo el 25% de animales identificados en el territorio nacional.			
9	Contrabando de ganado bovino desde Venezuela país sin reconocimiento oficial de la OIE para la fiebre aftosa, hacia Colombia.			
10	La vulnerabilidad del sistema actual, facilita a los saqueadores la actividad de abigeato y carneo.			
11	Restricción de participación en mercados cárnicos y lácteos, de la Unión Europea y Estados Unidos, puesto que Colombia no posee el estatus libre de aftosa sin vacunación, desaprovechando un gran nicho económico.			
12	Falta de actualización de la basa de datos del SINIGAN, lo que limita una información verídica sobre las razas bovinas y las condiciones de salud de las mismas.			

Bajo las necesidades recopiladas por los actores descritos anteriormente se obtuvo la tabla 3-6, donde se reitera la necesidad y factibilidad del presente proyecto como lo representan los recuadros de color rosado.

A continuación, se describe en qué consiste cada una de las condiciones necesarias que fueron identificadas.

1. La limitación para la selección de estándar de identificación animal, se basa bajo el modelo de estándar 11784/11785, aplicado como normas internacionales que regulan la identificación animal por radiofrecuencia, que según el caso se realiza mediante la implantación o colocación de un transpondedor que contiene un microchip que no posee batería, lo cual se denomina transpondedor pasivo que se activa con las ondas electromagnéticas emitidas por el transceptor en el momento que se realiza la lectura. [24,33,51]
2. Corto rango de lectura entre el dispositivo instalado en los semovientes (transpondedor) y el lector (transceptor), basados en el estándar 11784/11785, debido a sus características técnicas a la cual pertenece el estándar anteriormente mencionado se encuentran en baja frecuencia caracterizándose por baja interferencia bajo circunstancias de humedad, nula radiación electromagnética del transpondedor pasivo cuando no se activa el transceptor, corta distancia de lectura entre el transpondedor y transceptor debido a la longitud de onda de las ondas electromagnéticas a la cual pertenece el estándar 11784/11785. [21,31,43]
3. Carencia de uso de la plataforma SINIGAN, sobre todo por parte del actor principal como los son los ganaderos. Debido a la falta incentivación del ICA para el uso de la herramienta SINIGAN y la desactualización de la base de datos la muestra como herramienta no necesaria para los ganaderos. [44]
4. Limitación para validación en tiempo real de permisos de movilidad de los semovientes transportados, siendo estos dos puntos tanto el 4 como el 5 donde se implementará un diseño de un dispositivo *IoT* como elaboración del presente proyecto en la categoría hardware, que para el presente ítem permitirá una consulta en la base de datos del ICA, que analice en tiempo real, los permisos de movilidad de los animales que se están transportando y que son inspeccionados. [32,35,64]

5. Desactualización por déficit de registro en tiempo real en la base de datos de los semovientes inspeccionados en los puntos de inspección, como se mencionó en el ítem anterior, este ítem también se enfoca para la elaboración del presente proyecto en la categoría del hardware, donde se busca alimentar la base de datos contribuyendo con la trazabilidad pecuaria en los procesos de movilidad. Se pretende hacer registro en tiempo real de los semovientes inspeccionados, reportando la hora y el número de identificación del animal en el momento la inspección. [16]
6. Baja autonomía en los procesos de validación de permisos de movilidad y registro en tiempo real, lo que hace necesario la participación de un inspector autorizado del ICA o de la Policía Nacional para el control e inspección de la movilidad pecuaria causando en ocasiones fallas humanas. [53]
7. Débil cobertura de conexión a internet en puesto de control, en zonas de alta vigilancia, teniendo en cuenta que el ganado inspeccionado transita por la vías del territorio nacional se presenta dificultad de conexión a internet a través de conexiones por medios como el cable Coaxial, Fibra Óptica; lo que exige pensar en conectarse a través redes inalámbricas o telefonía móvil, lo que causa en ocasiones pérdidas de datos y latencias en los procesos de transmisión. [14]
8. Baja cantidad de animales bovinos identificados, con tan solo menos del 25% de animales identificados en el territorio nacional,[18] debido a que la inversión de la compra de los transpondedores e implantación o instalación de los mismos se lleva a cabo por parte del Gobierno Nacional de Colombia, se restringe el presupuesto económico para la implementación total de identificación del 100% en el territorio nacional, por lo que se ha llevado a cabo tal identificación al 100% solo en zonas de alta vigilancia o lo que es lo mismo zonas de frontera para el control de contrabando sobre todo en zonas de frontera con Venezuela. [44]
9. Contrabando de ganado bovino desde Venezuela, país sin reconocimiento oficial de la OIE para la fiebre aftosa, hacia Colombia, donde Colombia pierde de nuevo el

estatus sanitario por reaparición de la fiebre aftosa cuya causa había sido la entrada de ganado de contrabando a Colombia proveniente de Venezuela. Donde en el año 2017 se sacrificaron más de 3.300 reses por los mismos casos. [55] Afectando en el año 2018 las exportaciones según el DANE en un 6% de la economía. [41]

10. La vulnerabilidad del sistema de trazabilidad actual, facilita a los saqueadores la actividad de abigeato y carneo, [23] donde la falta de control en la comercialización sobre todo en los expendios de carne de barrio, se presta para crear una industria ilegal de hurto de ganado y/o sacrificio en los mismos predios (fincas), [44] extrayendo la carne para su posterior comercialización en dichos expendios de carne sin medidas de control sanitario. [54]
11. Restricción de participación en mercados cárnicos y lácteos, de la Unión Europea y Estados Unidos, puesto que Colombia no posee el estatus libre de aftosa sin vacunación, [44,55,61] desaprovechando un gran nicho económico, donde se exige como requisito mínimo la identificación individual animal a través de las normas bajo el estándar internacional 11784/11785 para la construcción de la trazabilidad pecuaria desde el nacimiento hasta su sacrificio de los semovientes a exportar, construyendo de esta manera una base de datos sobre la salud de cada semoviente.
12. Falta de actualización de la base de datos del SINIGAN, lo que limita una información verídica sobre las razas bovinas y las condiciones de salud de las mismas. Restringiendo así mayor provecho de la explotación ganadera en Colombia por el inadecuado uso de las razas bovinas para aumentar la producción, donde a través de una base de datos confiable permitiría el intercambio de razas entre los departamentos de producción lechera o cárnica en Colombia o si fuera el caso de la necesidad de importación de ganado según la actividad de producción de cada sector ganadero. [4]

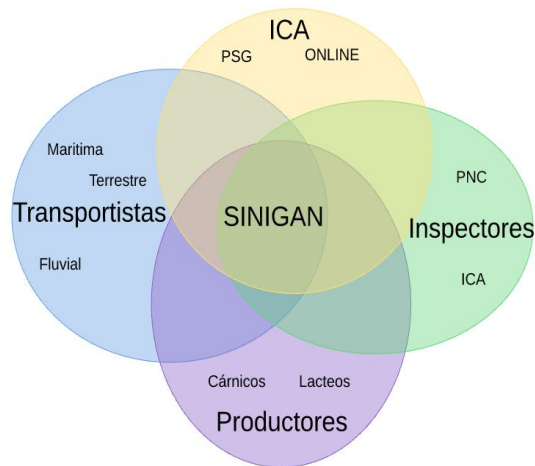
3.1.6 Descripción General del Sistema Propuesto

Esta sección describe el funcionamiento del sistema propuesto para un mayor aprovechamiento de las chapetas instaladas en la oreja derecha de cada bovino y su posterior identificación a través de este chip pasivo de baja frecuencia, lo que permitirá cumplir con los objetivos tres y cuatro planteados en el presente proyecto de investigación, de esta manera, se seguirán manteniendo los procesos administrativos y operativos existentes, haciendo uso de los procesos y actores estratégicos para el funcionamiento del sistema actual con mayor beneficio en la utilización del identificador.

Para el funcionamiento del sistema de control de movilidad pecuaria se hace fundamental, asegurar el intercambio de la información relevante entre los inspectores en la vía, como lo son el personal autorizado del ICA y/o la Policía Nacional y la base de datos del ICA, donde se autoriza la movilidad pecuaria bajo condiciones óptimas de traslado y salud de los semovientes en pie, donde se establece el origen y destino habiendo sido autorizado anteriormente como predios para la explotación, comercialización o sacrificio ganadero, estableciendo de tal manera una ruta permitida a los semovientes autorizados a través de la identificación individual bovina.

Para lograr este objetivo, se recomienda la implementación de un dispositivo IoT, que permita la identificación individual corroborando en una base de datos creada que simule la base de datos del ICA, donde no solo se consulte los permisos de movilidad en la ruta solicitada, si no adicionalmente registre hora, fecha, e identificación de cada semoviente inspeccionado en el camión transportador, alimentando así la trazabilidad bovina en el contenido de movilización y ubicación de los semovientes.

Figura 3-3: Diagrama de Relaciones de Actores Involucrados, Diseñado por el autor inspirado en la literatura.



La función del SINIGAN es la de actuar como un sistema de recolección y administración de información construyendo la trazabilidad individual de cada bovino donde se revela el estado de salud, medicamentos suministrados y las ubicaciones en las que ha estado cada bovino identificado,[33,45,47] gestionando transacciones que conlleva al intercambio de información entre los principales *stakeholders*, como lo podemos observar en la figura 3-3, a través de del diagrama, donde se destacan los funcionarios de ICA, los transportistas, lo productores e inspectores. [13,16]

Los criterios principales que fundamentan el sistema propuesto son los siguientes:

Marco legal colombiano: El principal rector para la arquitectura y modelo de funcionamiento propuestos se ajusta al marco legal colombiano vigente que se basa con la aplicación de estándares internacionales de identificación animal 11784/11785. [22]

Confidencialidad de la información: El criterio seguido para garantizar la privacidad de la información del usuario (hábeas data), es el de separar la información personal del mismo, de la información del *tag* que se instala individualmente en los bovinos lo que significa que el *tag* solo posee un número de identificación. [22]

Compatibilidad con la tecnología en uso: Con base en la revisión de la tecnología del estándar de identificación animal RFID, con el uso de los *tag* y los lectores de las marcas autorizadas para la identificación bovina, se buscó maximizar la compatibilidad de los dispositivos existentes con los especificados en el nuevo modelo que se implementara con el dispositivo *IoT* para tal caso se utilizaran las marcas Allflex y Agrident como los bastones lectores. [22]

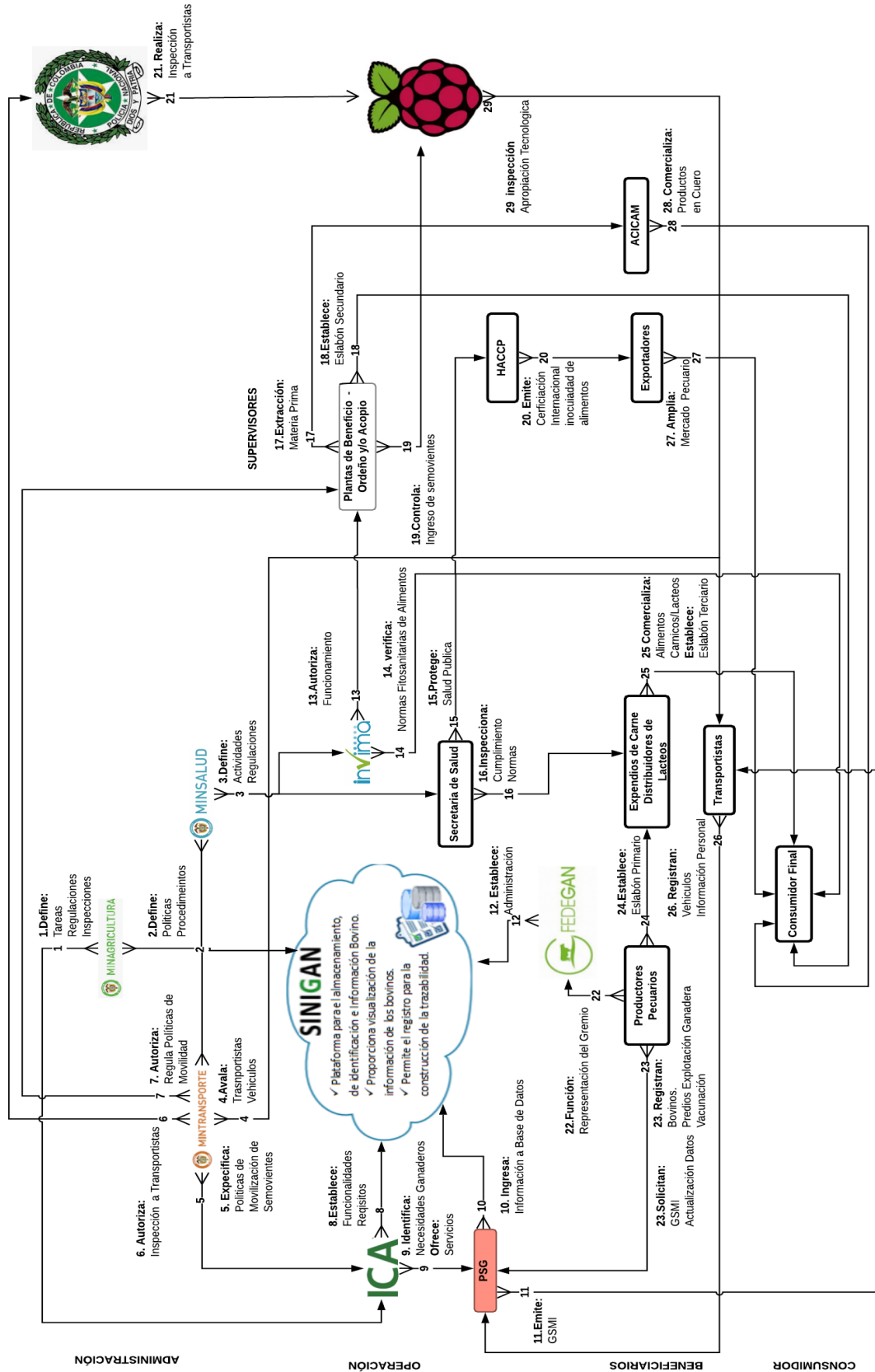
Escalabilidad: Con base en el crecimiento de los puestos de control de movilidad pecuaria previsto por el ICA, y la adopción proyectada del nuevo sistema a través del dispositivo *IoT*, el modelo de funcionamiento propuesto deberá considerar la escalabilidad del sistema de tal forma que garantice la calidad del servicio. [22]

3.1.7 Funcionamiento del Sistema Propuesto.

A continuación, se puede identificar la secuencia de las actividades para el funcionamiento del sistema de control de movilidad pecuario propuesto (ver figura 3-4), teniendo en cuenta que el modelo diseñado no pretende hacer uso de nuevos *stakeholders* y/o entidades de inspección para el uso del dispositivo *IoT* [12,21,44], en cambio sí se pretende que los *stakeholders* actuales como lo son la Policía Nacional de Colombia y personal autorizado por el ICA, que se encargan de la inspección y control de movilidad pecuaria hagan uso y apropiación del desarrollo tecnológico con el fin de llevar a cabo su actividad de manera ágil y confiable, para obtener mejores resultados y a la vez incentivar a otros *stakeholders* como lo son las subastas, ferias y complejos ganaderos para que hagan uso de dispositivo *IoT* para aumentar el rendimiento y confianza en el proceso de sus actividades de identificación y control de movilidad pecuaria.[21]

Se propone ubicar el prototipo en las Zonas de Alta Vigilancia, debido a alto porcentaje con un valor cercano del 100% de bovinos pecuarios identificados individualmente con el *tag* 11784/11785, obteniendo de tal manera mayor aprovechamiento del dispositivo *IoT*, dando más adaptación en el sistema. [2]

Figura 3-4: Diagrama propuesto para la ubicación del dispositivo *IoT*, en el esquema existente entre relaciones de Actores



Se deberán identificar los puestos de control de movilidad pecuaria que contengan mayor calidad de conexión a internet, que permite una transmisión de datos, tanto para la inspección de permisos movilidad pecuaria como para el reporte de animales transportados alimentando la base de datos del SINIGAN.

Figura 3-5: Sistema de Funcionamiento de Control de Movilidad Pecuaria y Alimentos Cárnicos, Diseñado por el autor inspirado en la lectura realizada. [13,14,35,39]



Como se puede observar en la figura 3-5, se muestra el ciclo entre cada entidad y engranaje entre el ICA e INVIMA, ambos actores velando por la inocuidad de los peligros asociados a los productos cárnicos y lácteos derivados del sector animal bovino pecuario, [26,44] destinados para el consumo humano centralizado en la prevención e inocuidad de alimentos para que no provoquen daños a la salud del consumidor, estableciendo los siguientes eslabones:

Registro de Animales: El ICA realiza dos ciclos de vacunación anual, donde se actualiza el registro de nacimientos y muertes de los semovientes en un periodo semestral en la base de datos del SINIGAN, donde se destaca la siguiente información (ver figura 3-5):

- ✓ Código del Animal
- ✓ Sexo
- ✓ Raza
- ✓ Fechas y Tipos de Vacunación
- ✓ Fecha de Nacimiento/Muerte

Solicitud de Permisos de Movilidad en los PSG: Con el fin de prestar un servicio óptimo a los ganaderos en el país se han instalado 218 puntos de servicio al ganadero hasta el año 2018, para llevar a cabo temas de atención al usuario, trámites, programas de enfermedades de control oficial, movilización de animales, programación de ciclos de vacunación y registro de predios, nacimiento y muerte de semovientes, entre otros servicios que alimenten y mantenga actualizada el sistema oficial de información SINIGAN, encaminados a dinamizar y controlar la ganadería nacional. [24]

Movilidad Pecuaria: Se establecen unos requisitos y recomendaciones para la movilización de ganado tanto aérea, fluvial, marítima o terrestre en el territorio nacional como lo son la aprobación de movilización expedida por los PSG solicitada por los propietarios del ganado o sus autorizado, teniendo en cuenta que los transportistas debieron haber sido registrados en la base de datos del SINIGAN cumpliendo con los requisitos que exige MinTransporte y bajo la condiciones apropiadas del transporte en cuanto a higiene y bienestar para los semovientes. [24]

Inspección de Movilidad Pecuaria: El presente proyecto se dirige en este eslabón, donde se continúa dependiendo del personal que realiza la inspección como se desarrolla actualmente, tal cual se puede observar en la figura 3-5 por medio de los inspectores de la Policía Nacional y personal autorizado por el ICA, pero ya realizando

apropiación tecnológica a través de los bastones que realizan inicialmente la lectura de los TAG 11784/11785 y posteriormente registrar el número de identificación individual que posee cada bovino pecuario adicionalmente fecha y hora y por último se realiza la consulta de permiso de movilidad anteriormente solicitado en los PSG por parte de los propietarios del ganado bovino o sus autorizados como se puede observar en la figura 3-5, realizando todo este proceso con solo oprimir el botón de lectura del lector RFID.[24]

Como se puede observar en la figura 3-5 el INVIMA toma el poder, para velar por los procesos de inocuidad después de que los semovientes ingresen a las plantas de beneficio para su proceso de sacrificio y la continuidad de comercialización de los productos cárnicos en los expendios de carne, almacenes y restaurantes con ayuda de la secretaría de salud vigila y controla la manipulación, refrigeración y condiciones óptimas de higiene que garantice fiabilidad sanitaria al consumidor final. [24]

El dispositivo debe ser funcional para las marcas de los bastones *Agrident* y *Allflex* que realizan la lectura RFID de los identificadores 11784 /11785 utilizados por el ICA.

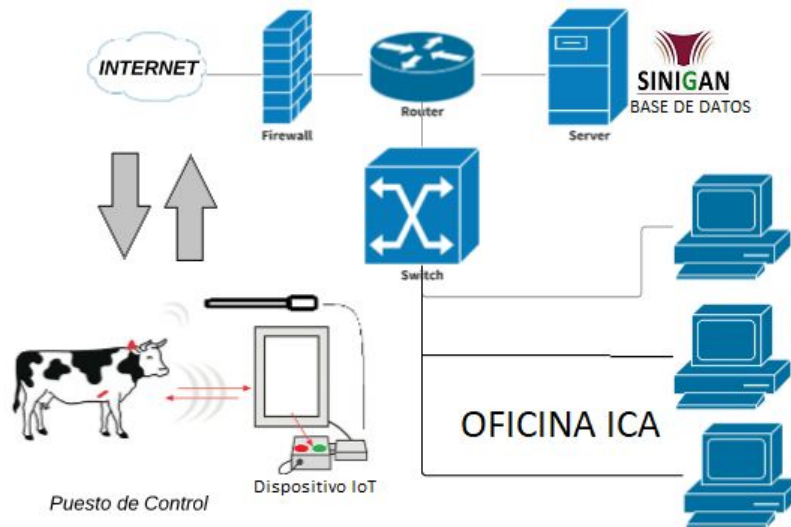
La actualización de la base de datos en cuanto al reporte de la fecha, hora y el código de animal inspeccionado, se realizará automáticamente cuando el inspector autorizado realice la lectura exitosa del *tag* 11784/11785 a través del lector, más, sin embargo la información que conlleva a medicamentos aplicados, permisos de movilidad, cambios de propietario y demás información que contribuye a la trazabilidad pecuaria construida en SINIGAN conlleva otros procedimientos que no se involucran en el desarrollo del presente proyecto. [33]

Los *tags* 11784/11785 se continuarán instalando bajo los procedimientos y recomendaciones que tiene el ICA y según las proyecciones tanto de la tecnología utilizada actualmente como de los lugares donde se instala o implantan los *tag* a los semovientes estarán acorde para el funcionamiento de este proyecto. [13,14,35,39]

De acuerdo a la Ley 1581 del 2012, ley de Habeas Data que cubija la protección de datos personales de la información almacenada en registros o banco de datos de todo tipo, tanto en el desarrollo del presente proyecto se creará un información de dicha base de datos que proporcione la verificación del funcionamiento del dispositivo *IoT* y su vez tal dispositivo *IoT*, no divulgará información personal en el momento de la inspección real de cada bovino pecuario. [13,35,39,47]

Actualmente el ICA solicita un recaudo económico por el documento Guías Sanitarias de Movilización Interna de Animales (GSMI), por lo que el dispositivo *IoT* busca ser un apoyo de verificación para tal documento, pero no busca reemplazarlo por el momento, adicionalmente las políticas de recaudo no se involucran en el dispositivo *IoT*. [13,35,39]

El dispositivo *IoT* no está diseñado para la detección de una presunta falsificación o clonación del *tag*. Este tipo de conducta se manifiesta cuando un ganadero realiza modificaciones, alteraciones, elaboraciones, o suplantación tanto de los códigos de identificación, información o del mismo *tag*, y para prevención de tales vulnerabilidades se encargan entidades como el ICAR, pero si se llegaron a presentar lo que sí se podría identificar a través del dispositivo *IoT* son discordancias en ciertas rutas al momento de la movilización, como ejemplo se podría detectar el número de identificación 987654321 en una ruta de Cubará – Boyacá, donde tal número en realidad es perteneciente a otro departamento a modo de continuación del ejemplo vamos a suponer Vichada, donde jamás se solicitaron permiso de movilidad para tal número de identificación y no se registran en la base de datos movilidad hacia Cubará – Boyacá. Lo que significa un posible caso de suplantación y de esta manera quedaría registrado como una alerta en la base de datos del SINIGAN o para el presente proyecto *Firebase* y así las autoridades pertinentes poder tomar acciones al caso.

Figura 3-6: Esquema general funcionamiento control de movilidad pecuaria

Como se puede observar en el figura 3-6, existe un dispositivo *IoT* que se encarga específicamente de la transmisión y recepción de información a la base de datos del SINIGAN a través de internet, enviando el código de identificación de cada semoviente el cual registra en la base de datos del SINIGAN o *Firebase* para el presente proyecto el puesto de control, la hora, y el código del animal identificado, adicionalmente el dispositivo *IoT* en respuesta de la base de datos obtiene una verificación del permiso que el ganadero debió haber solicitado anteriormente en las oficinas de atención al ganadero o a través de internet.

3.1.8 Jerarquización de los Actores

Para el posterior análisis de los interesados se utilizó la metodología establecida en la que se observa la perspectiva propuesta por Mitchell, Agle y Wood (1997), como una herramienta que adquiere cada vez mayor importancia para la gestión de las relaciones entre los *stakeholders*, por medio del cual se valora el grado del poder, la legitimidad y la urgencia con respecto a los interesados e involucrados frente a un proyecto en su proceso de desarrollo o sus transformaciones en un proyecto puesto en marcha.[53] En

la primera parte del presente capítulo se realizó la identificación de los grupos de interés y su descripción lo que permitirá encontrar una jerarquización de cada uno de los interesados para la temática de control de movilidad pecuaria en Colombia, donde se desarrollara bajo los siguientes lineamientos: [53]

1. Temática: Control de movilidad pecuaria en Colombia.
2. Se califica el grado de **poder**, de **legitimidad**, y de **urgencia** del actor frente a la solución de la problemática donde cada ítem maneja un grado de escala de 0 a 5 donde es 0 es nulo y 5 es altísimo

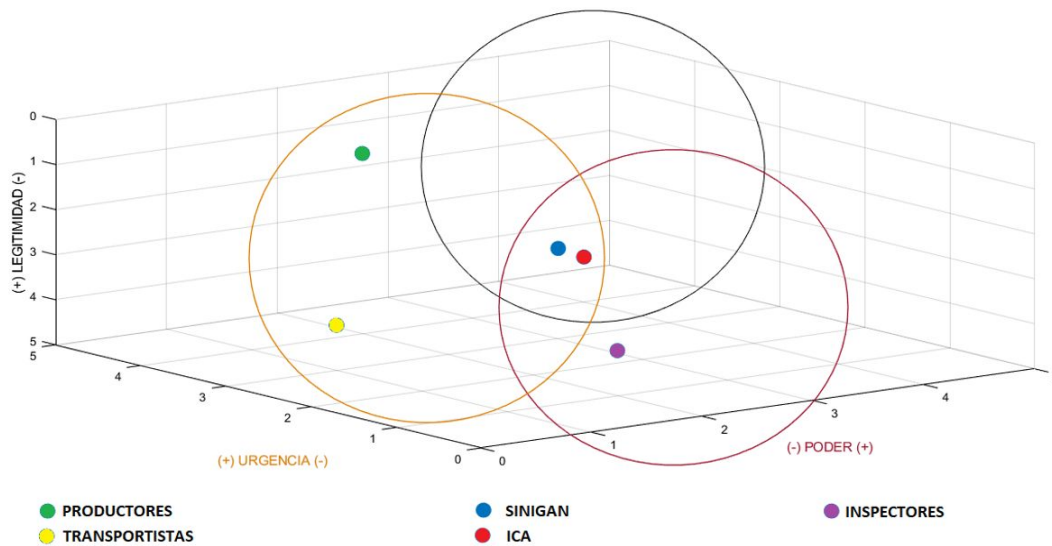
A través de la literatura, encuestas, investigaciones y experiencias vividas por parte del autor del presente documento se destacaron los principales *stakeholders*, como se puede observar mediante la tabla 3-7, se valoró el grado de poder de cada actor frente a los demás, el grado de legitimidad de cada actor frente a la problemática y el grado de urgencia del actor frente a la solución de la problemática, donde 0 representa el menor valor y 5 el valor más alto y posteriormente obtener la matriz de prominencia.[53]

Tabla No 3-7: Representa la valoración realizada, Diseñado por el autor

Actor	Grado de Poder	Grado de Legitimidad	Grado de Urgencia
ICA	4	4	4
SINIGAN	3	3	3
PRODUCTORES	2	1	4
INSPECTORES	2	4	1
TRANSPORTISTAS	1	4	3

Mediante la matriz de prominencia figura 3-6, se realiza la priorización de los *stakeholders* mediante unos criterios claros que permiten identificar la relevancia de cada grupo de interesados tiene en un momento determinado, por medio del cual se identifican los tipos de comportamientos dependiendo de la combinación de las tres características descritas anteriormente legitimidad, urgencia y poder.[53]

Figura 3-6: Jerarquización de Stakeholders a través del modelo Mitchell, Agle y Wood



Poder, en el presente círculo predominan los inspectores lo que demuestra que estos tienen la capacidad de vigilar las normas e influir para regular que el funcionamiento del sistema de control de movilidad pecuaria.[53]

Urgencia, en el presente círculo se ubican los transportistas y los productores de carne y leche o también conocidos como ganaderos, los cuales se establecen con una necesidad inmediata por establecerse como la base principal como representantes de los semovientes identificados para el desarrollo y evolución del sistema de control de movilidad pecuaria. [53]

Stakeholders Definitivos, en la presente intersección se ubican el ICA y el SINIGAN como una plataforma con una agrupación de *stakeholders* de alta prioridad puesto que poseen los tres atributos: poder, legitimidad y urgencia, lo que la convierte en una coalición dominante, donde se sesga al atributo de acuerdo al interés y a la necesidad de los procesos de control de movilidad pecuaria. [53]

Con respecto al grado de poder, se considera a los inspectores como el actor con amplio poder frente a los otros actores, porque tiene más influencia en los procesos de control de movilidad pecuaria, sin embargo no tiene el poder completo porque hay otras fuerzas

que intervienen en su autonomía como es el caso del ICA. El actor con menos poder frente a los demás actores es el transportista porque al no ser parte directa del sistema de control de movilidad pecuaria sino más bien un resultado que beneficia al sistema, lo caracteriza con menos poder sobre los demás, pero eso mismo es lo que le da más urgencia frente al sistema de control de movilidad porque su actividad diaria se basa principalmente en funciones que permiten la inspección estratégica para la movilidad pecuaria y es urgente para ellos que si se presentan problemáticas referentes a esta cuestión sean resueltas con prontitud.

Se considera que los productores son las que tiene amplia urgencia ante la presente temática, puesto a que hay unas políticas y una normatividad vigente referente al tema para el control de movilidad pecuaria orientado a que de esta manera se reduciría los índices de abigeato, se abrirán nuevos mercados internacionales, permitirá un control de trazabilidad individual de los semovientes, se tendrá un control de inventario con mayor facilidad y confiabilidad entre otras más funciones.

Adicionalmente, los inspectores se ubican con los *Stakeholders* que tienen menor urgencia para resolver problemáticas asociadas a los procesos de control de movilidad pecuaria, aunque estos actores tienen amplio poder para los procesos de control de movilidad pecuaria, no existe urgencia para la transformación del uso de control mediante el *tag* RFID.

4. Capítulo 4

4.1 Diseño de la Plataforma Tecnológica

Mediante los resultados obtenidos de los procesos de caracterización de operación para el control de movilidad pecuaria, en Colombia, a través de la entidad gubernamental encargada ICA, se plantea un primer enfoque para la construcción del modelo conceptual de arquitectura *IoT* para el desarrollo del dispositivo, teniendo en cuenta los hallazgos realizados en las etapas de:

- ✓ Identificación de tecnología a aplicar.
- ✓ Estructuración del modelo conceptual del dispositivo *IoT* a implementar.
- ✓ Investigación literaria sobre el estado del arte, en la que se puede identificar las tendencias en uso plataformas, protocolos, proyectos de identificación animal, lenguajes y *API* de desarrollo entre otros aspectos.

4.2 Consideraciones

Se establece aplicar el dispositivo *IoT* en puestos de inspección, llámese puesto de control en las vías nacionales de Colombia, plantas de beneficio, complejos, ferias y/o subastas ganaderas, que como requisito básico cuenten con conexión efectiva a internet bien sea el caso a través de ADSL, Cable (fibra óptica, cable coaxial), satélite, telefonía móvil (GSM, GPRS, 4G) o redes de transmisión (LMDS, WIMAX) [28,44,55].

Por falta de apropiación tecnológica en el uso de herramientas como *smartphone*, tablets, y/o computadores, por parte de los inspectores, se requiere la implementación del dispositivo *IoT* de fácil manipulación y con un ambiente amigable al usuario, con el objetivo que la falta de apropiación tecnológica no se convierta en una limitante para su adecuado uso.

Los lectores de códigos de los animales inspeccionados, deben ser de rápida transmisión, para que brinden una respuesta en cuanto a los permisos o negación de movilidad [28,44,55].

4.3 Análisis y Especificaciones de Requerimientos

El dispositivo propuesto se desarrolla bajo una arquitectura de simulación de la base de datos con herramientas que ofrezcan servicios en la nube como lo son AWS y *Firebase* lo que permitirá representar los datos capturados por el ICA, debido a la ley estatutaria 1581 del 2012, Habeas Data, debemos recrear información dentro de la que cabe resaltar a los usuarios y el número de identificación de los semovientes para establecer un escenario que muestre el funcionamiento del dispositivo *IoT*, haciendo uso de un modelo de arquitectura cliente servidor, sistemas embebidos y redes de datos inspirados en el diseño y desarrollo por parte del autor.

Realizando pruebas a través de hardware libre se hace uso placas de desarrollo de hardware como lo son las marcas Arduino, Raspberry y la línea estudiantil de Intel para la construcción del dispositivo de control de movilidad pecuaria realizando su respectiva programación como lo son Arduino Desktop IDE y Python 2.7.

4.4 Modelo conceptual de arquitectura IoT

Las características de *IoT* es que los objetos en el sistema deben tener interconexión. El funcionamiento de la arquitectura de *IoT* debe asegurar que los objetos interconectados

establezcan un puente de comunicación entre las cosas pertenecientes a la capa física y el mundo virtual de *IoT*, [12,45,58] lo que para el presente proyecto la capa física se envuelva a través del sistema de identificación pecuaria RFID bajo el estándar 11784/11785 creando así el vínculo entre los semovientes y los sistemas virtuales, lo que permitiría no solamente la captura de un número sino que adicionalmente permitiría instaurar y desarrollar estados y comportamientos según las funciones establecidas, lo anteriormente mencionado indica la importancia que debe tener el sistema de control de movilidad pecuaria al momento de interoperar bajo varias tecnologías con acceso al medio físico. [24,36,51]

Capa de Objetos. De acuerdo a los procesos de identificación pecuaria por medio del *tag* bajo el estándar 11784/11785, que ha venido llevando a cabo el ICA, nos da pie en la presente capa a integrar los semovientes con el *hardware* y el *software* disponibles en la red para que detecten la identificación de los animales. Permitiendo en cierta medida el intercambio de datos entre los semovientes y la base de datos *Firebase*, lo que favorece a la medida de crearse una identidad digital posibilitando cumplir con las expectativas de *IoT* de ser una red física interconectada. [45]

En la capa de objetos se permite la configuración, según las necesidades del contexto, existirán funcionalidades que permitirán la instalación de diversos lectores RFID en el estándar 11784/11785 hasta la posibilidad a través de la capa de red de enviar los datos de los lectores a las diversas aplicaciones *Cloud* entre las que cabe mencionar *Firebase* y *AWS*. [47]

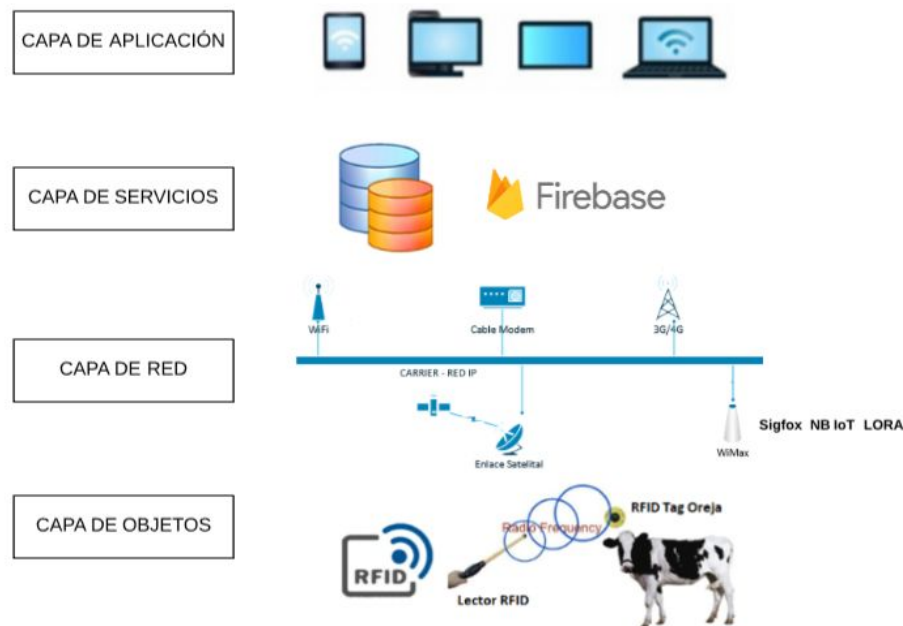
Capa de Red. La presente capa consiste en la infraestructura que utiliza las conexiones móviles, inalámbricas, cable y/o fibra óptica, entre los semovientes y la capa de servicios que contiene la base de datos, habilitando compartir datos entre los semovientes, posibilitando la gestión de eventos y el procesamiento inteligente de *IoT*. [45]

Capa de Servicio. Esta capa opera como interfaz entre la capa de objetos en el proceso de identificación individual de cada semoviente y la capa de aplicación, es responsable de funciones como filtrado de datos, análisis semántico, gestión de dispositivos, agregación de datos, gestión de información y descubrimiento de información, para el

presente proyecto la capa de servicios se conforma en el servicio de almacenamiento en los procesos de trazabilidad pecuaria. [41]

Capa de Aplicación. Es la capa encargada de entregar las diferentes plataformas a los usuarios de *IoT*. El desarrollo de aplicaciones en *IoT* para el presente proyecto es alimentar la base de datos de la trazabilidad pecuaria como a la vez consultar permisos de movilidad de cada semoviente confirmando a través de un indicador led de color verde, como permiso aceptado de movilidad y generando una alarma sonora y a su vez un led de color rojo como permiso de movilidad del semoviente denegado. [51]

Figura 4-1: Arquitectura IoT para el sistema de control de movilidad pecuaria, Diseñado por el autor a través de la literatura.



4.5 Máquina de Estados

Tomando en cuenta el ingreso de ciertas variables como entradas se establece un conjunto de estados que sirven de intermediarios en tal relación de entradas para obtener unas salidas las cuales dependen no solo de las señales de entradas actuales, sino también de cada estado anterior, como se puede observar en la figura 4-2 se realiza una actividad consecutiva la cual se inicia con la lectura del tag 11784/11785 y se procede a

realizar un registro en la base de datos y a su vez una consulta de permiso de movilidad viéndose confirmada en el dispositivo IoT a través de alarmas sonora y led indicadores.

Figura 4-2: Diagramas de Estado Finito de Funcionamiento del Sistema de Control de Movilidad

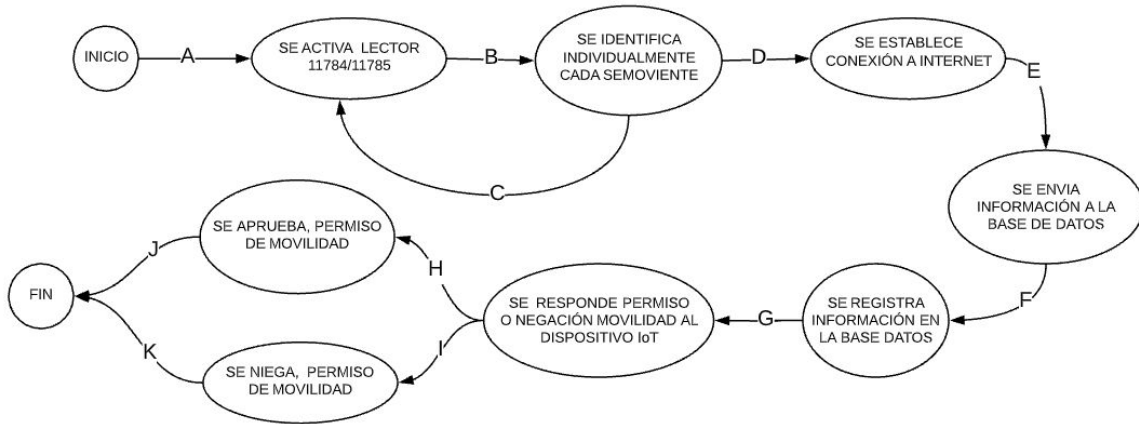


Tabla 4-3: Secuencia de eventos y acciones del Sistema de Control de Movilidad

CONECTOR	EVENTO	ACCIÓN
A	Se detecta un vehículo con ganado	Se procede a inspección individual de semovientes
B	Se escanea tag 11784/11785	Se captura ID del bovino.
C	No se detecta número de identificación	Se repite proceso de escaneo
D	Se recibe del Lector RFID 11784/11785 el ID del semoviente en el dispositivo IoT	Se activa la conexión a la nube
E	Se verifica conexión a base de datos	Se TX ubicación, hora & ID del semoviente a la base de datos.
F	Se alimenta base de datos movilidad pecuaria	se almacena datos relevantes actualizados en cuanto al proceso de movilidad
G	Base de datos envía información al dispositivo IoT	Dispositivo IoT despliega permiso o negación de movilidad.
H	Se confirma apto para continuar movilidad de semoviente	Se enciende led verde de estatus OK
I	Se detecta anomalía para continuar movilidad de semoviente	Se enciende led rojo de estatus INACEPTABLE
J	Termina Inspección	Finalizar proceso de Tx - Rx
K	Termina Inspección	Finalizar proceso de Tx - Rx

4.6 Infraestructura para cobertura y disponibilidad de red de datos.

Es prudente aclarar que para crear un sistema *IoT*, se es necesario una adecuada capacidad en cuanto a la comunicación a Internet bien sea mediante el uso de tecnologías 2G/3G, LTE y/o Fibra Óptica dentro del área de estudio señalada para la transmisión de datos, en tal caso para alimentar la base de datos y su vez consultar permisos de movilidad pecuaria y así cumplir con los objetivos técnicos prácticos del presente proyecto, a través de fuentes primarias con aplicaciones móviles como *OpenSignal* especializadas en cuantificar el potencial de la red móvil, lo que permite producir análisis de redes móviles permite visualizar mapas codificados por colores que ayudan a las decisiones de adquisición tecnologías de operadores al mostrar datos imparciales de diferentes operadores uno al lado del otro y mapas de cobertura de los operadores Celulares. [16,25,35]

Según los datos recopilados por el informe GSMA *Latin America* [24] identifica a cinco operadores licenciados en Colombia que son: Claro (subsidiaria de América Móvil), Movistar (Telefónica España), Tigo (Millicom), Avantel y ETB. A nivel regional, de los cuales solo tres de ellos tienen una participación mayor al 5% del mercado. En zona rural, Colombia ha tenido una importante desarrollo de su cobertura de redes de cuarta generación a través de programas como Vive Digital, pero desafortunadamente aún así el país aún se ubica en el tercio inferior de los países registrados como se puede observar en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4: Apropiación Porcentual de la Tecnología Clasificada Por Años. [24]

	Penetración de suscriptores		Adopción de teléfonos inteligentes		Adopción de 4G	
	2017	2025	2017	2025	2017	2025
Argentina	81%	83%	55%	77%	38%	72%
Bolivia	63%	69%	35%	65%	28%	70%
Brasil	68%	75%	75%	86%	46%	87%
Chile	83%	86%	52%	82%	38%	75%
Colombia	69%	76%	51%	76%	23%	64%
Costa Rica	77%	82%	52%	75%	7%	44%
Cuba	36%	65%	42%	70%	-	-
Rep. Dominicana	62%	69%	59%	74%	12%	36%
Ecuador	68%	75%	57%	73%	30%	72%
El Salvador	63%	68%	41%	68%	5%	22%
Guatemala	50%	61%	60%	71%	13%	24%
Haití	54%	64%	35%	67%	0%	10%
Honduras	51%	64%	55%	67%	5%	16%
México	63%	72%	62%	76%	20%	52%
Nicaragua	46%	56%	42%	69%	6%	20%
Panamá	83%	88%	63%	80%	6%	28%
Paraguay	65%	72%	49%	67%	15%	45%
Perú	71%	77%	49%	70%	23%	63%
Puerto Rico	82%	87%	60%	79%	11%	58%
Uruguay	83%	86%	55%	80%	44%	76%
Venezuela	76%	79%	66%	77%	11%	60%

Según el informe GSMA Latin America [24] del 2018, 5G llegará a mediados de 2020, lo que se puede evidenciar en la tabla 4.4 es el amplio incremento de los *smartphone* y la utilización en la banda 4G pese a las dificultades de adquisición. Se puede observar que finalizando el periodo del año 2017, la cantidad total de conexiones por medio de *smartphone* llegó a los 417 millones para el Caribe y América Latina, cifra que representa el 62% de las conexiones totales, y se puede observar en la tabla 4.4 el 78% para 2025.[24]

Se establecen rutas de tránsito de posibles puntos de ubicación de los puestos de control de movilidad pecuaria con el fin de realizar un muestreo de los parámetros de calidad de servicio cobertura de datos para la ejecución del dispositivo *IoT* para el eficiente control de movilidad pecuaria.

4.7 Mapas de Cobertura

Para el análisis de cobertura de potencia de señal se han establecido mapas de cobertura a nivel de redes de datos móviles para los dos operadores dominantes como lo son Claro y Movistar construyendo mapas de la zonas de alta vigilancia descritas anteriormente utilizando los recursos disponibles en las páginas web de Claro, Movistar y la app *OpenSignal*. [39]

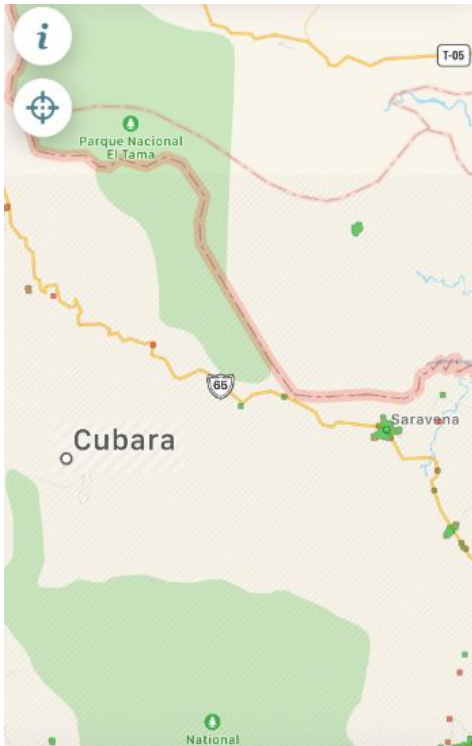
Se configuran los parámetros de tecnología y georreferenciación para establecer el contexto geográfico con el ánimo de visualizar un ráster con las capas vectoriales de vías y municipios donde se tiene alto flujo de concentración de movilidad y control de movilidad pecuaria en las vías nacionales de Colombia. Por medio de estos mapas de esta sección se pretende tener una aproximación de cobertura por los corredores viales de los municipios interesados para la instalación de los dispositivos *IoT* para la alimentación de la base de datos y corroboración de permisos de movilidad pecuaria. [49]

4.7.1 Análisis de Cobertura *OpenSignal*

OpenSignal es una herramienta que facilita el análisis de cobertura de red móvil, cuantificando a través de focos de colores donde se ilustra la potencia de la señal 3G y 4G para los operadores Claro y Movistar. [39]

4.7.1.1 Boyacá – Cubará

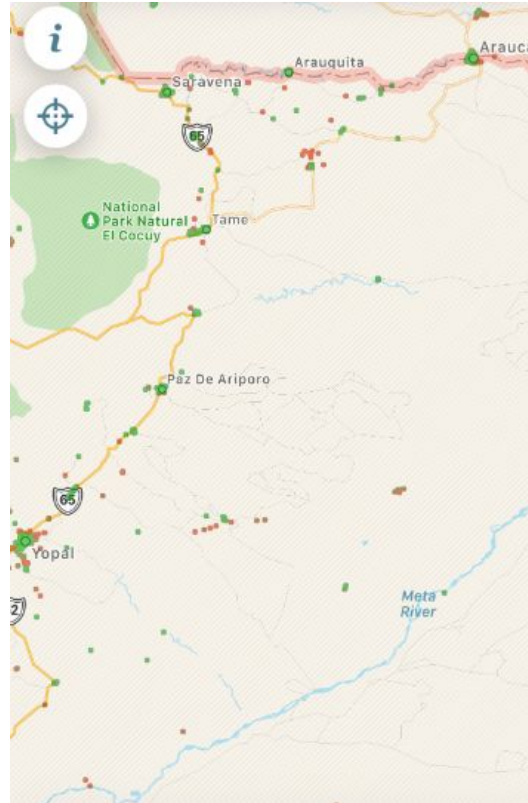
Figura 4-3: Mapa Cobertura Cubara – Boyacá. [39]



A través de la herramienta *OpenSignal*, se obtiene el mapa de cobertura de la figura 4-3, donde se puede evidenciar unos focos de nivel de cobertura en la tecnología 3G para los operadores Claro y Movistar, por medio de los focos de color verde y un bajo nivel de cobertura en 4G por los focos de cobertura de color rojo, en el municipio de Saravena perteneciente al departamento de Arauca colindante con el departamento de Boyacá, lo que significa gran relevancia para el control de movilidad pecuaria en el municipio de Cubará por su cercanía con Saravena y a la vez cabe rescatar los pequeños focos de cobertura que se observan en los corredores viales del departamento de Boyacá, para la posible ubicación del dispositivo *IoT* si fuera necesario para mayor estrategia de control de movilidad pecuaria.

4.7.1.2 Arauca

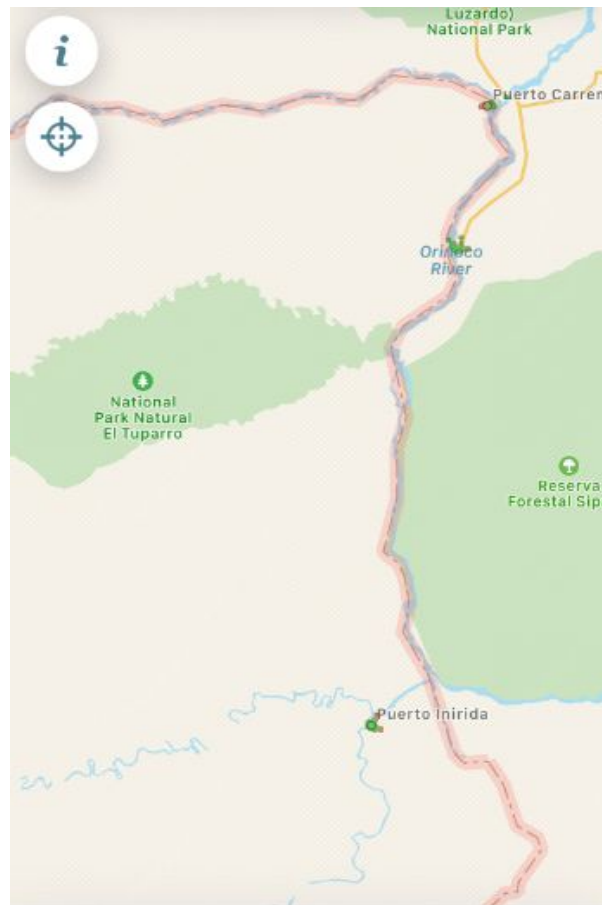
Figura 4-4: Mapa Cobertura Arauca. [39]



Por medio de la herramienta *OpenSignal*, se obtiene el mapa de cobertura para el departamento de Arauca como se puede observar en la figura 4-4, donde se puede evidenciar un amplio nivel de cobertura en la tecnología 3G para los operadores Claro y Movistar en los municipios de Tame, Saravena y Arauquita y diversos corredores viales de alta movilidad pecuaria en el departamento de Arauca, adicional se evidencia ciertos focos disperso en la tecnología 4G.

4.7.1.3 Vichada

Figura 4-5: Mapa Cobertura Vichada [39]



Con los resultados obtenidos de la aplicación *OpenSignal*, se obtiene el mapa de cobertura para el departamento de Vichada como se puede observar en la figura 4-5, donde se puede identificar bajos niveles de cobertura tanto en la tecnología 4G como en la tecnología 3G para los operadores Claro y Movistar, identificando dos pequeñas celdas de cobertura una en el corredor vial y otra en Puerto Carreño.

4.7.2 Análisis de Cobertura Operador Claro

A través de la aplicación de cobertura que proporciona la página de claro, [64] se obtienen los siguientes mapas de cobertura de la figuras 4-6, 4-7, 4-8, 4-9, 4-10, 4-11, 4-12, 4-13, 4-14, donde se evidencia la cobertura de las tecnología 2G, 3G y 4G para el operador Claro donde el color rojo y amarillo representa una cobertura óptima para el funcionamiento de la respectiva tecnología mientras que el color verde, azul y blanco se refieren a territorios sin cobertura en cada zona de alta vigilancia. [65]

Figura 4-6: Mapa Cobertura Cubará – Boyacá Tecnología 2G Claro. [65]

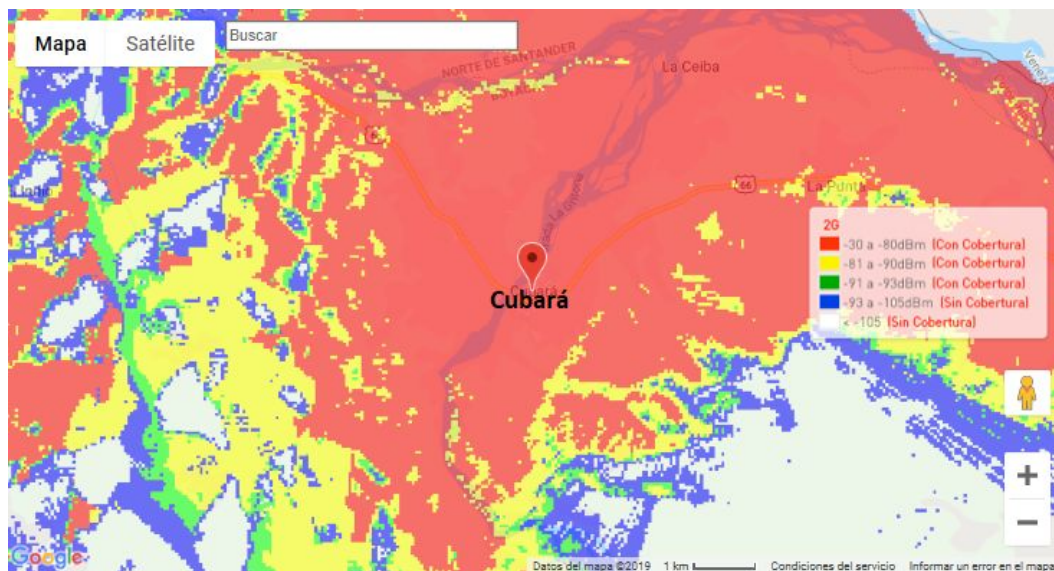


Figura 4-7: Mapa Cobertura Cubará – Boyacá Tecnología 3G Claro. [65]

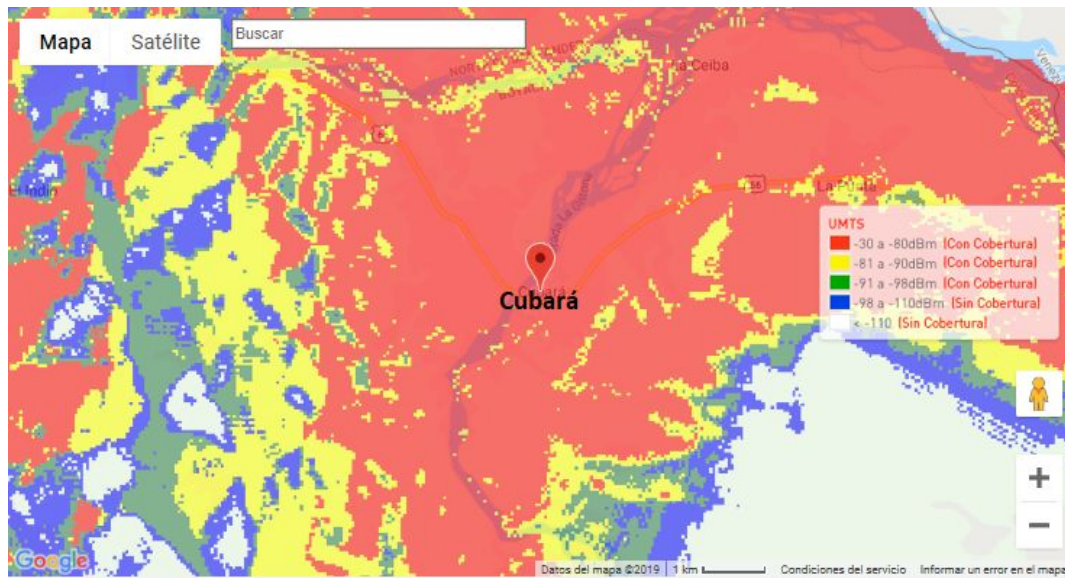


Figura 4-8: Mapa Cobertura Cubará – Boyacá Tecnología 4G Claro. [65]

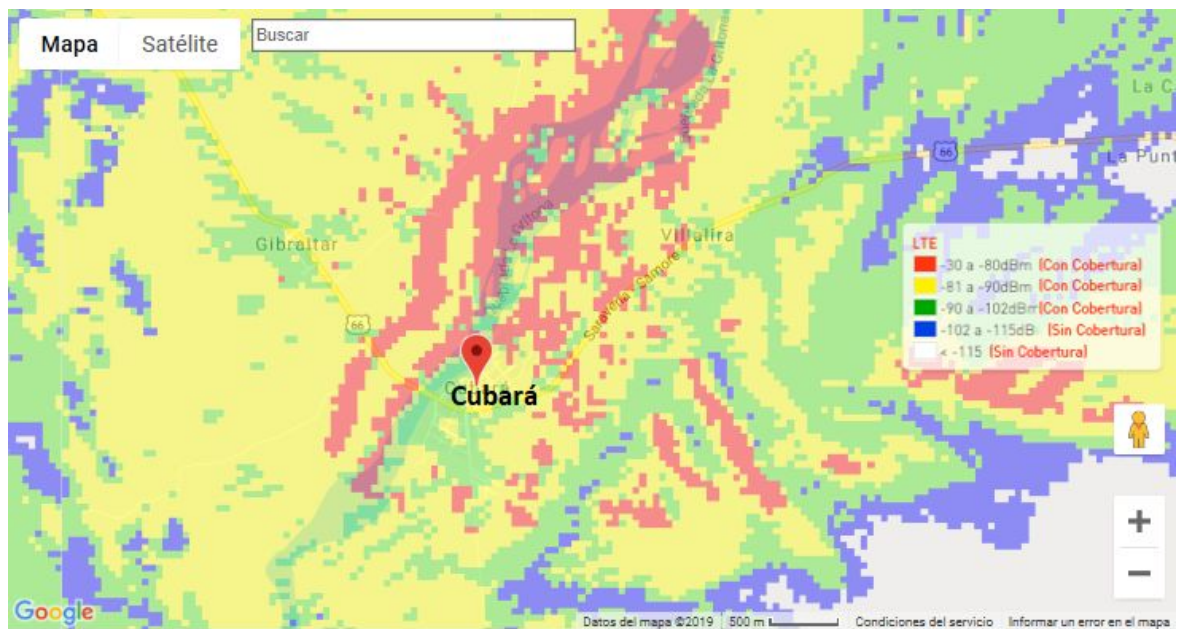


Figura 4-9: Mapa Cobertura Arauca Tecnología 2G Claro. [65]

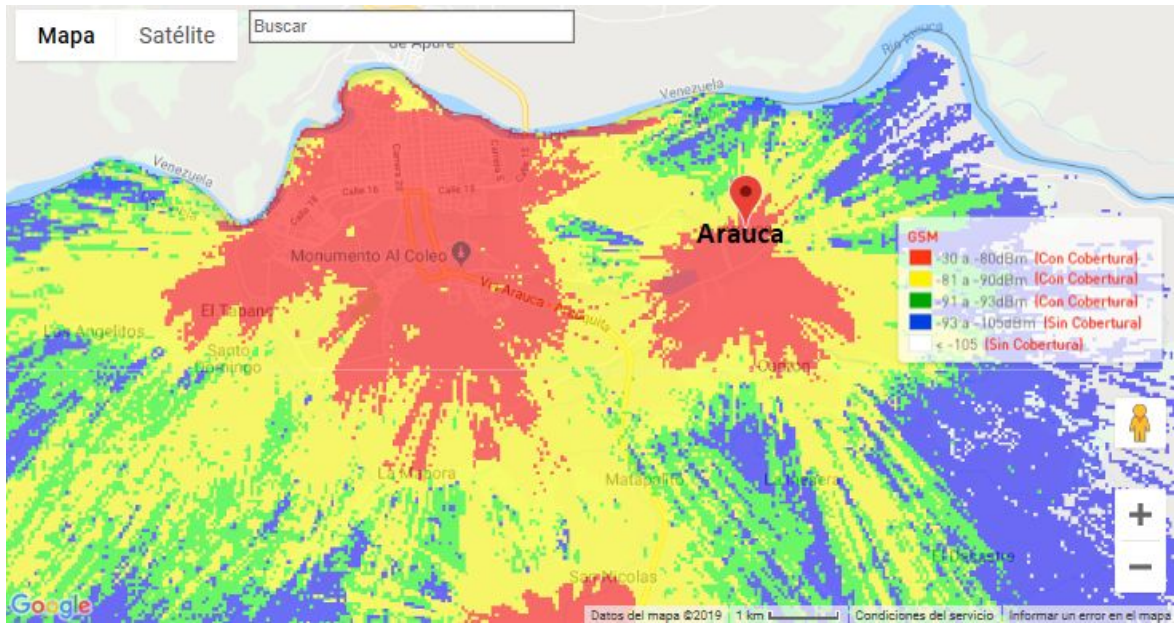


Figura 4-10: Mapa Cobertura Arauca Tecnología 3G Claro. [65]

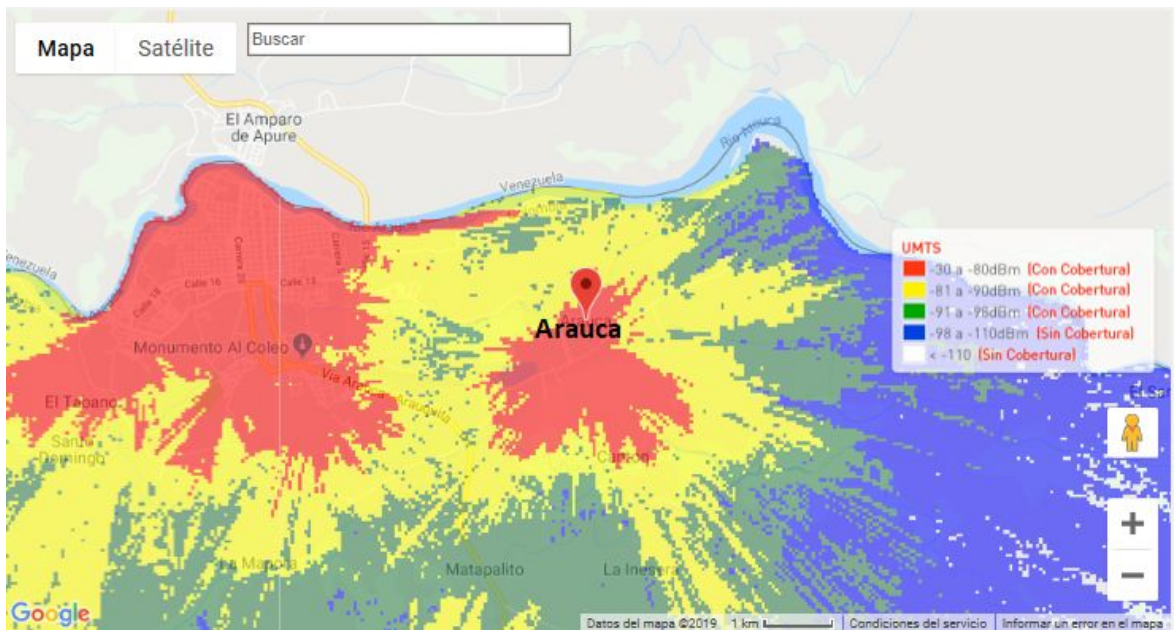


Figura 4-11: Mapa Cobertura Arauca Tecnología 4G Claro. [65]

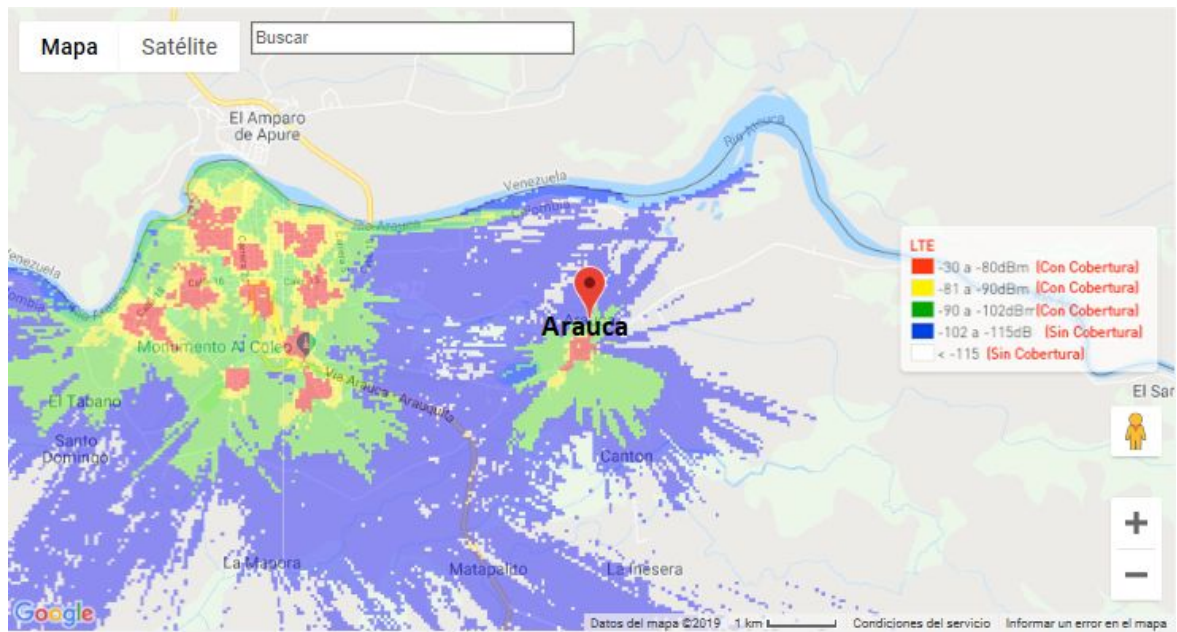


Figura 4-12: Mapa Cobertura Arauca Tecnología 2G Claro. [65]

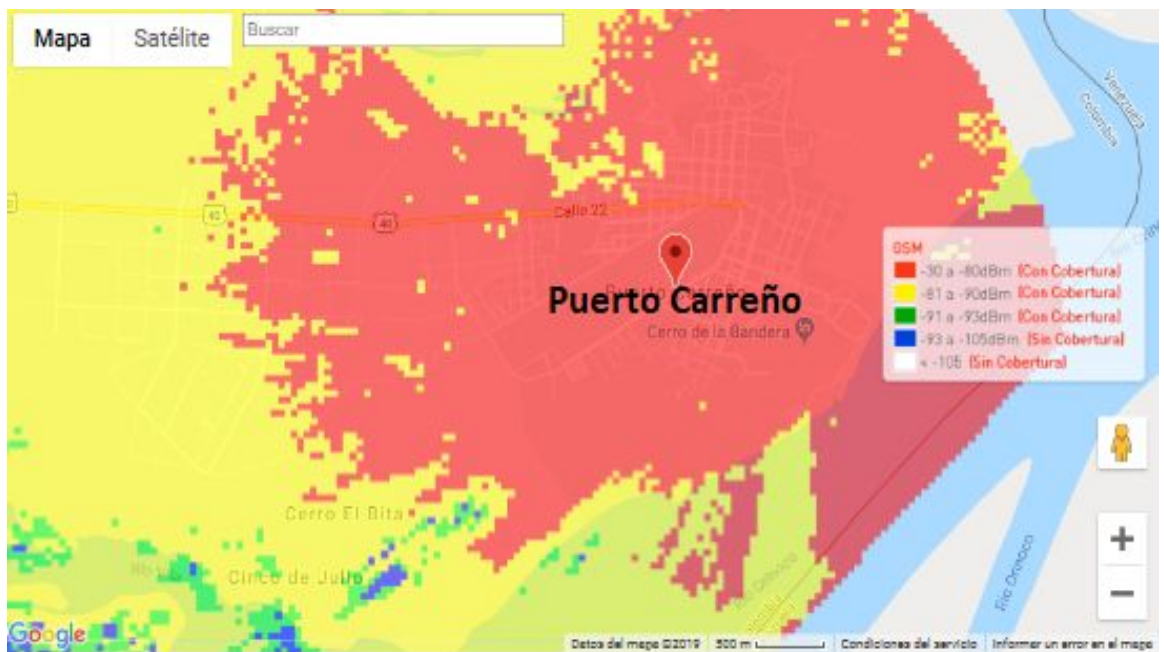


Figura 4-13: Mapa Cobertura Arauca Tecnología 3G Claro. [65]

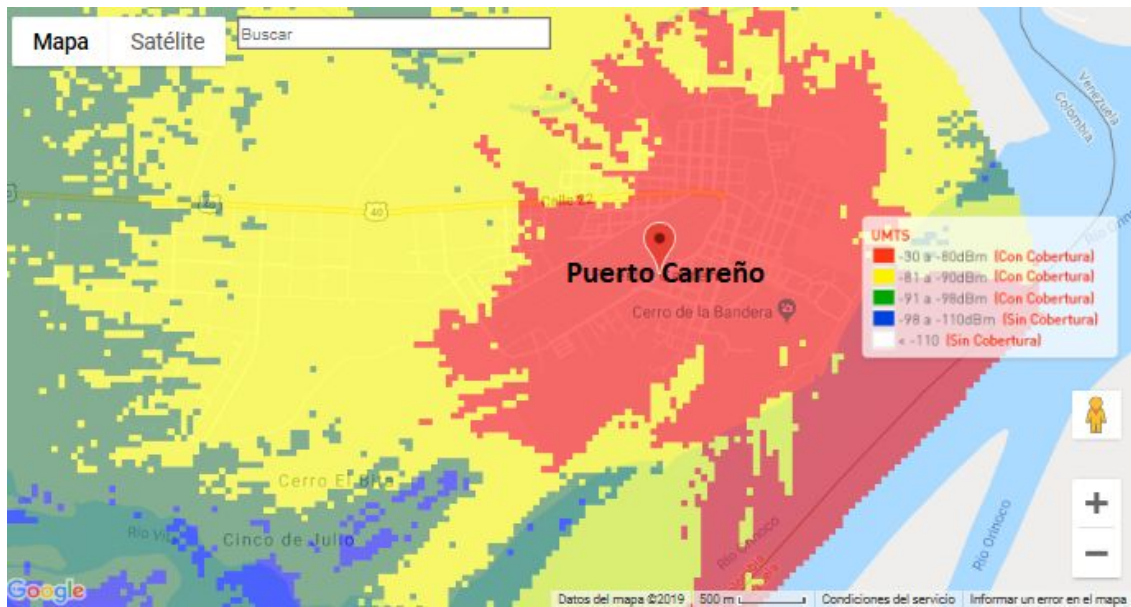


Figura 4-14: Mapa Cobertura Arauca Tecnología 4G Claro. [65]



4.7.3 Análisis de Cobertura Operador Movistar

A través de la aplicación de cobertura que proporciona la página de Movistar, [13] se obtienen los siguientes mapas de cobertura de la figuras 4-15, 4-16, 4-17, 4-18, 4-19, 4-20, 4-21, 4-22, 4-23, donde se evidencia la cobertura de las tecnología 2G, 3G y 4G para el operador Movistar donde el color verde y amarillo claro representan una cobertura óptima y el rojo y blanco una cobertura deficiente para el funcionamiento de la respectiva tecnología en cada zona de alta vigilancia. [13]

Figura 4-15: Mapa Cobertura Cubará - Boyacá Tecnología 2G Movistar. [13]



Figura 4-16: Mapa Cobertura Cubará - Boyacá Tecnología 3G Movistar. [13]

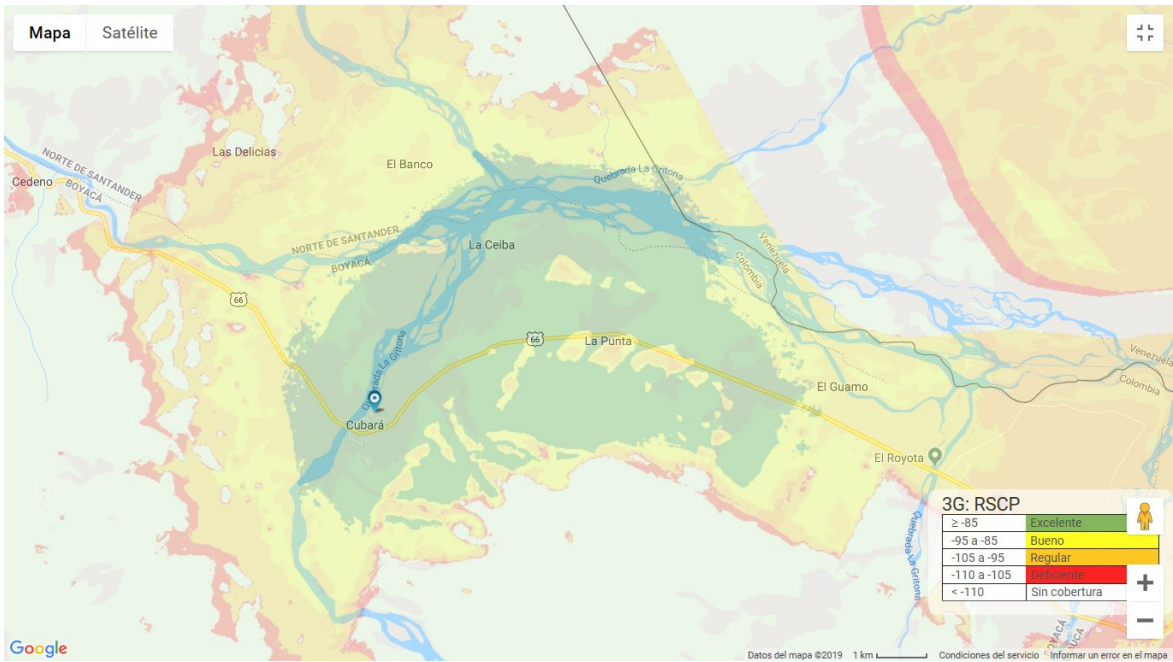


Figura 4-17: Mapa Cobertura Cubará - Boyacá Tecnología 4G Movistar. [13]



Figura 4-18: Mapa Cobertura Arauca Tecnología 2G Movistar. [13]

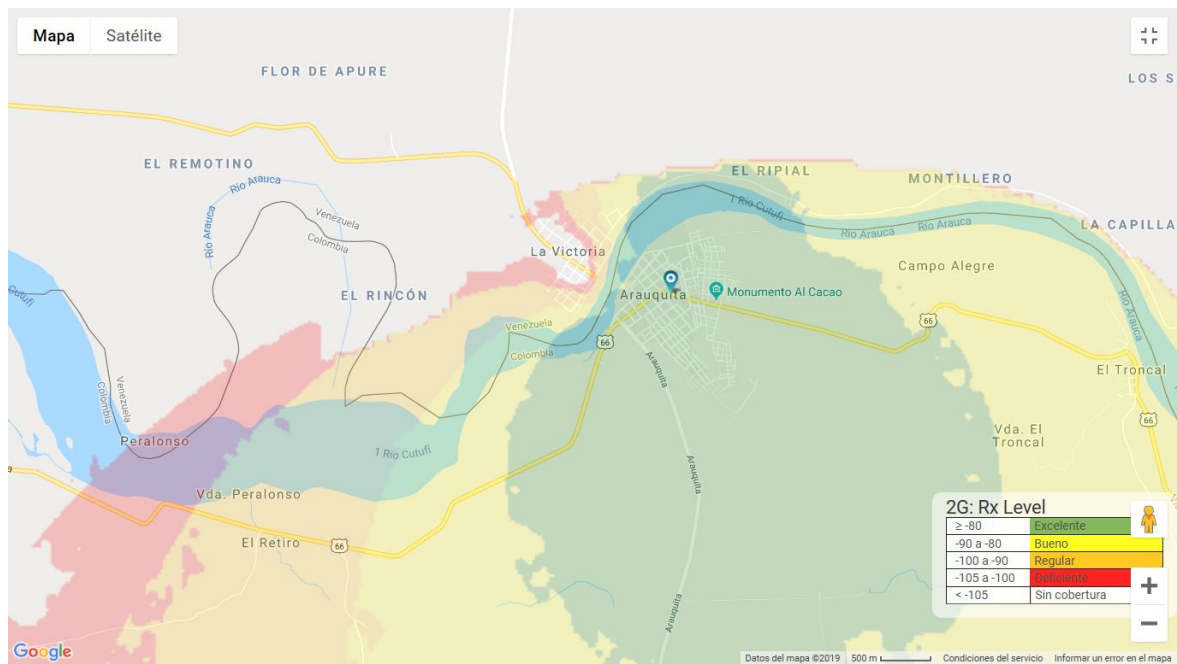


Figura 4-19: Mapa Cobertura Arauca Tecnología 3G Movistar. [13]

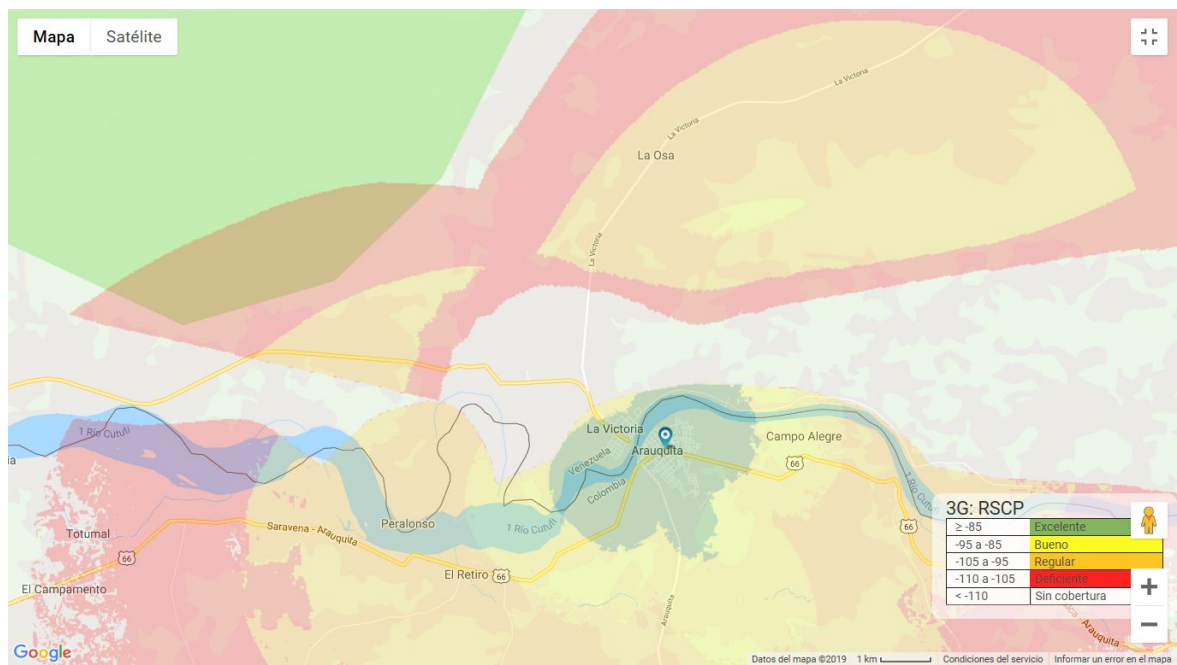


Figura 4-20: Mapa Cobertura Arauca Tecnología 4G Movistar. [13]

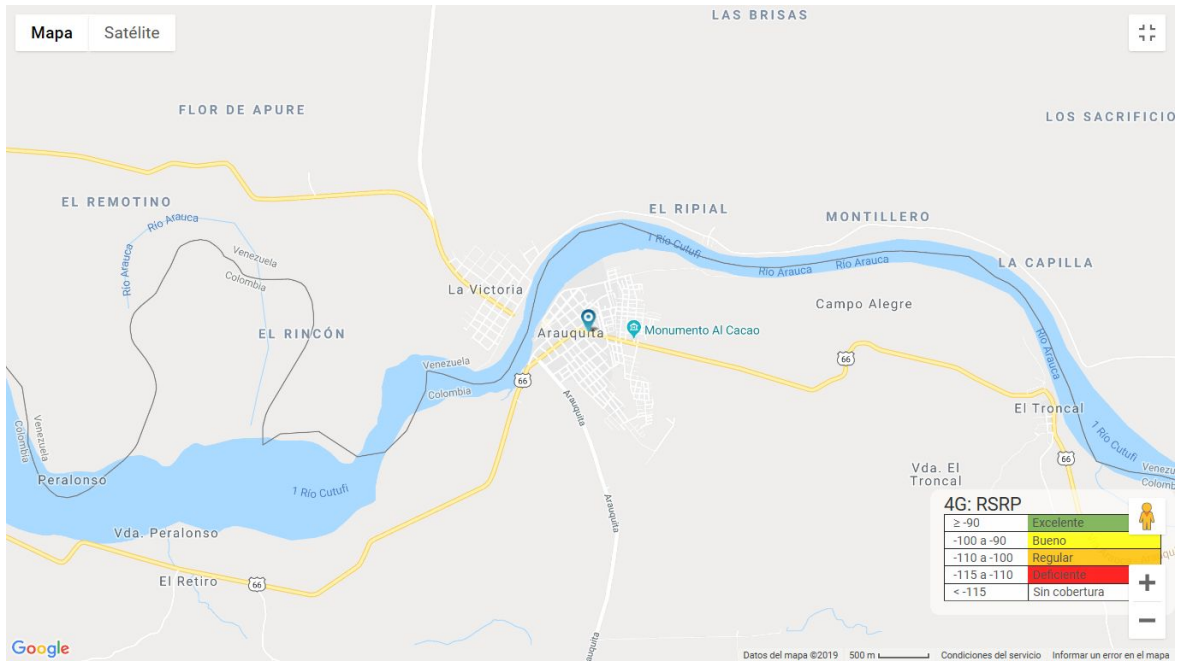


Figura 4-21: Mapa Cobertura Vichada Tecnología 2G Movistar. [13]

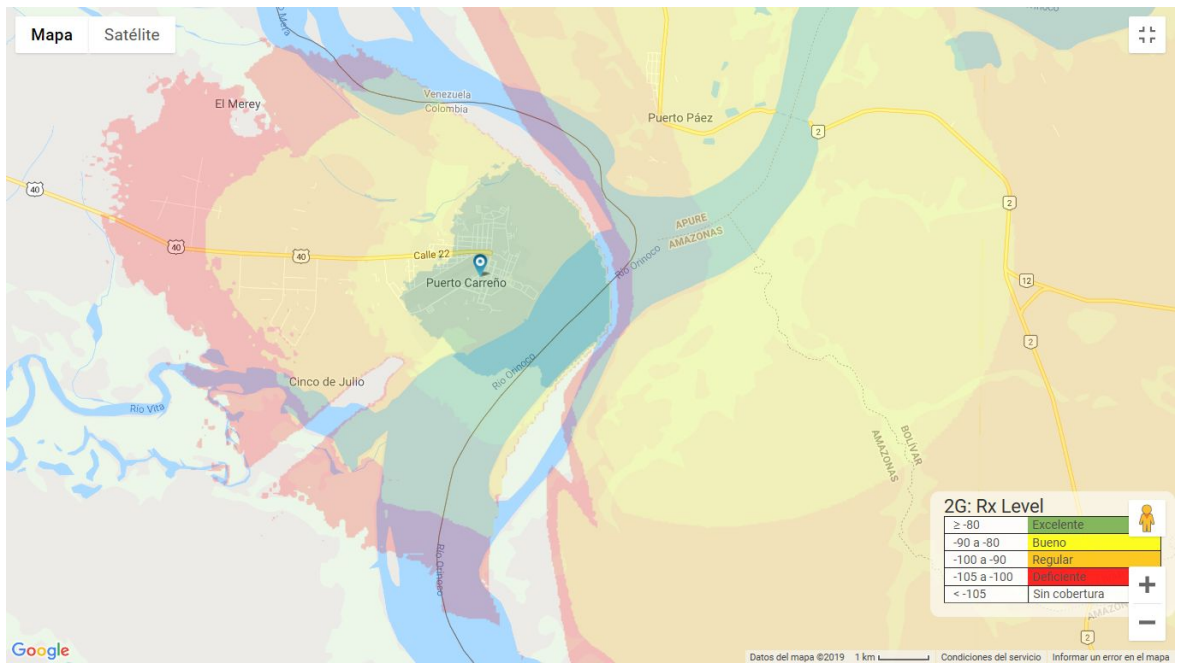


Figura 4-22: Mapa Cobertura Vichada Tecnología 3G Movistar. [13]

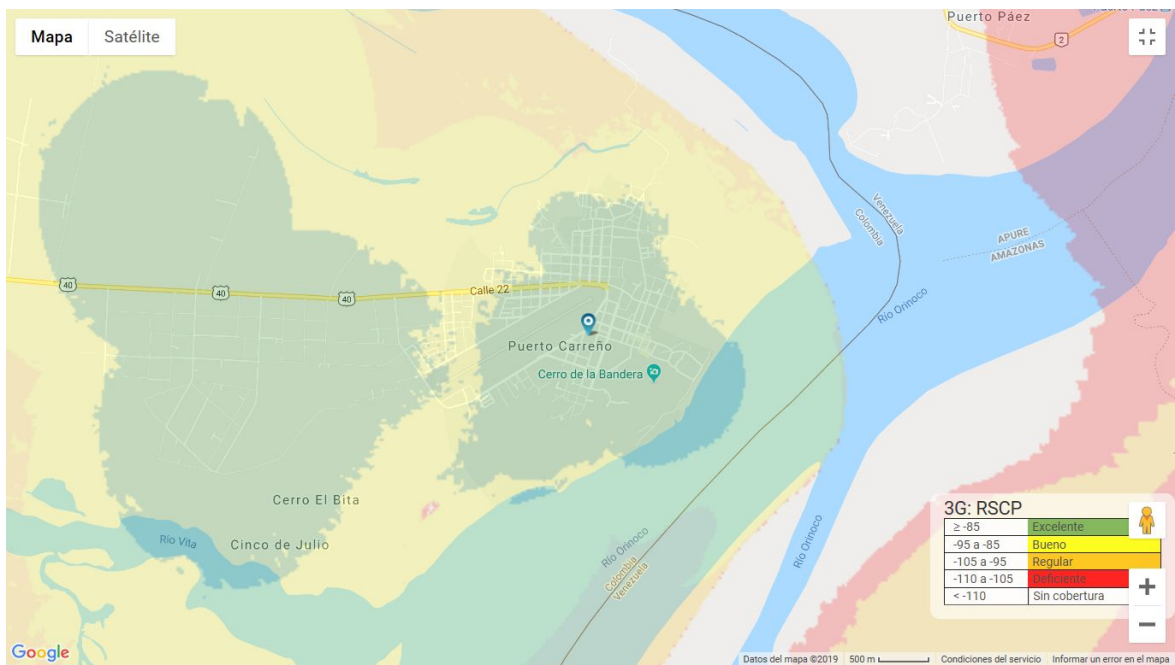
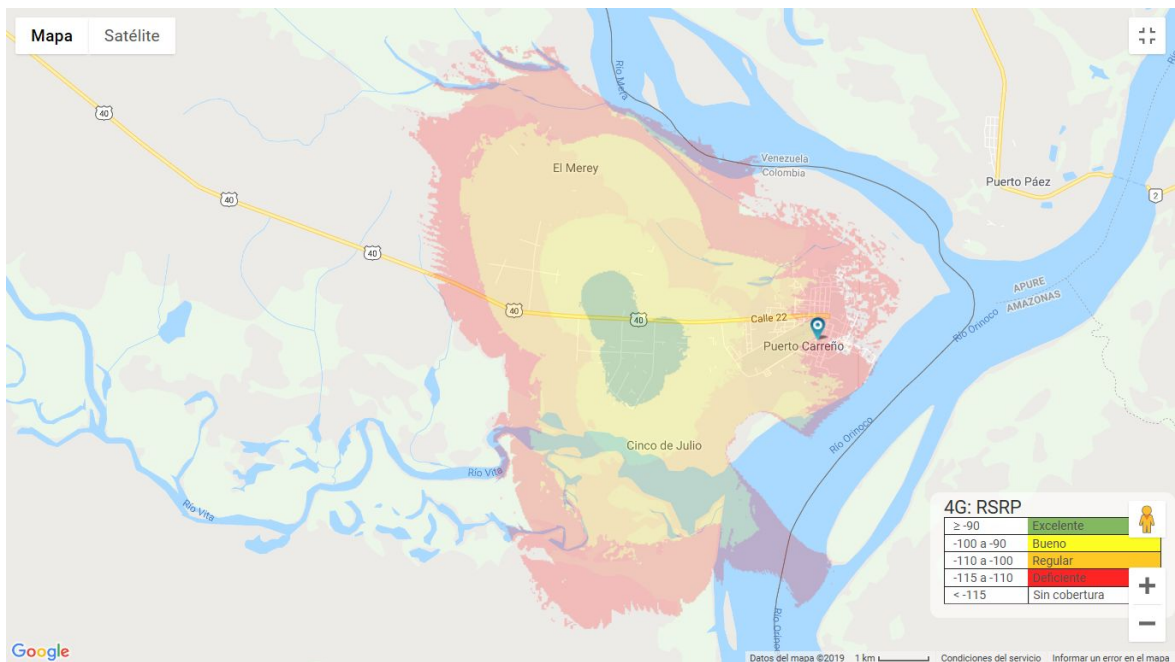


Figura 4-23: Mapa Cobertura Vichada Tecnología 4G Movistar. [13]



Como resultado de la interpolación de capas se puede identificar que el operador Claro más que ser el operador dominante posee una mayor cobertura de redes 2G, 3G y 4G

para los corredores nacionales de interés, a pesar que en diversos trayectos de las vías no existe cobertura para ninguna red 2G, 3G y 4G existen focos de alta potencia de señales 3G en que en casos de alta necesidad de puestos de control en lugares de nula potencia de señal se puede llegar a pensar en tecnologías de redes de área amplia y de baja potencia, que poseen protocolos de transporte inalámbrico de datos que hoy en día se entiende como uno de los protocolos básicos para la implementación de *IoT* y serían útiles para zonas que no poseen un amplio y regular cobertura de potencia para la transmisión de datos. [13]

Claro y Movistar tiene focos de cobertura para telefonía móvil de tercera generación para municipios de zonas de alta vigilancia, donde se transitan gran cantidad de semovientes previamente identificados y análisis visual de las capas de cobertura de los mapas capturados anteriormente, se observa que los municipios de interés cuentan con cobertura 3G y 4G, esta se limita a cabeceras municipales lo que representaría una opción adicional para establecer puestos de control de movilidad pecuaria en complejos y ferias ganaderas donde se llevan a cabo procesos de comercialización de ganado y así se podría ampliar las funcionalidades del *tag* bajo el estándar 11784/11785 a través del dispositivo *IoT* de control de movilidad pecuaria para que beneficien a tales entidades que se encargan de comercializar ganado. La otra opción es la posibilidad de instalar un radio enlace en las vías rurales donde sea extremadamente obligatorio la inspección en estas zonas de movilidad pecuaria siendo necesario la triangulación de la señal. [13]

Se precisa que el recorrido de desplazamiento que realizan los transportistas de ganado en pie para el control de movilidad pecuaria se realizará por un corredor vial nacional, donde se centra la atención en lugares estratégicos que ya han sido seleccionados por el ICA pero que a la vez deben contener un mínimo de requisitos técnicos de cobertura para la transmisión y recepción de datos a través de tecnologías 3G/4G, fibra óptica, cable y/o satelital. En general los puestos de control para la inspección de movilidad pecuaria se realizan sobre vías principales y el ICA establece zonas de alta vigilancia las cuales abarcan 3 departamentos como podemos observar en la figura 3-2, como lo son Cubará-Boyacá, Arauca y Vichada, para lo cual se presenta la opción de la transmisión

de información a través de los operadores Movistar y Claro con mayor cobertura en las zonas descritas anteriormente, logrando identificar a través de las gráficas anteriores la potencia de señal de cada operador según su ubicación, de igual forma se podrá optar por las tecnologías de fibra óptica, cable y/o satelital para obtener la mejor calidad de transmisión de datos.

Tabla 4-5: Tecnologías de Red con sus respectivas velocidades. [16]

Symbol	Standard	Nombre	Max. Vel. Descarga	Mín. Vel. Descarga
2G	GSM	Global System for Mobile Communications	14.4 Kbits/s	14.4 Kbits/s
G	GPRS	General Packet Radio Service	53.6 Kbits/s	26.8 Kbits/s
E	EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution	217.6 Kbits/s	108.8 Kbits/s
3G	UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	384 Kbits/s	128 Kbits/s
H	HSPA	High-Speed Packet Access	7.2 Mbits/s	3.6 Mbits/s
H+	HSDPA	Evolved High-Speed Packet Access - Release 6	14.4 Mbits/s	5.76 Mbits/s
H+	HSPAP	Evolved High-Speed Packet Access - Release 7	21.1 Mbits/s	11.5 Mbits/s
4G	LTE	Long Term Evolution	100 Mbits/s	50 Mbits/s

Según los mapas de cobertura se garantiza un mayor despliegue de la tecnología 2G, lo que permitiría en el peor de los casos según la tabla 4-5, obtenida de los datos tomados de Ramzan y Shaheen [2017] una velocidad de descarga de 14.4Kbits/s, como la información transmitida tiene un peso aproximado 7 Kbits se garantiza para las zonas de control de alta vigilancia el correcto funcionamiento del dispositivo *IoT* para el control de movilidad pecuaria, concluyendo que los anchos de banda son aptos para el actividad de inspección por parte de las entidades encargadas en los puestos de control estudiados.

5. Capítulo 5

5.1 Validación del Prototipo *IoT*

La aplicación y fusión de tecnologías como lo es *Cloud Computing*, *smartphones* e *IoT*, están acelerando y diversificando los procesos de trazabilidad para ofrecer mayor seguridad alimenticia. El acceso a Internet por medio de los teléfonos inteligentes transformó la industria alimentaria con mayor orientación hacia el consumidor, permitiendo un acceso fácil y confiable a la información de los productos. Además, debido a las regulaciones y políticas de comercialización establecidas por los gobiernos han forzado a las compañías públicas y privadas a proveer información sobre productos alimenticios enseñando sus orígenes y el manejo de sus productos alimenticios. [59]

Para llevar a cabo las normatividades, las compañías de alimentos con buenas prácticas han llevado a cabo procesos de identificación basados en diferentes tecnologías como lo son: Sistemas de códigos de barras impresos los cuales son utilizados en gran parte en la cadena de suministro por su bajo costo referente a la materia prima utilizada y los procesos de instalación. [62,59], NFC y RFID se caracterizan por la velocidad y distancia de transmisión y recepción creando nuevos sistemas de aplicaciones.[59] A pesar, del gran esfuerzo que ha realizado el ICA para los procesos de implementación de estas tecnologías y el sistema de información SINIGAN a través del programa *identifica*, aún falta de implementación efectiva para esos sistemas de identificación y control pecuario, forjándose alguna barreras para la apropiación tecnológica y mayor aprovechamiento del tag RFID 11784/11785, por lo tanto este proyecto se lleva a cabo para la validación del sistema propuesto mediante un escenario de control de movilidad pecuario simulado, el

Se utilizaron tres elementos para evidenciar la captura registro y consulta de permisos de movilidad pecuaria como lo son dos *led's* y un *buzzer* los cuales serán activados de acuerdo a la situación que se presente en cada lectura individual de cada *tag* bajo el estándar 11784/11785, activando *led* rojo y *buzzer* en caso tal de permiso negado para la movilidad del semoviente que posee el *tag* o inconsistencias como lo son ausencia del número de identificación en la base de datos construida en *Firebase* y en caso de normalidad y permiso aprobado del número de identificación del *tag* del semoviente consultado se encenderá un *led* de color verde, adicionalmente se utilizó la *Raspberry Pi 3* con configuración de los pines 3,5, y 7 como se puede observar la figura 5-1 la asignación de los puertos GPIO a través de línea de código con el programa Python 2.7, se realizan la pruebas con los dos lectores más utilizados en el ICA que son *Allflex* y *Agrident* para la captura del número de identificación que posee que cada *tag* en el momento de la inspección a cada semoviente identificado y por último un conversor *trendnet* de RS232 a USB puesto que la conexión que se realizó del lector RFID a la *Raspberry PI 3* se hizo a través del puerto USB.

5.3 Características Agrident AWR100

Figura 5-2: Lector AWR100 RFID 11784/5



El lector RFID AWR100 figura 5-4 marca *Agrident*, diseñado para aplicaciones móviles tiene características de lectura en la frecuencia 134.2 kHz es totalmente compatible con las normas ISO 11784/5 y funciona en condiciones extremas como lo son el polvo y humedad por su característica de hermeticidad. [31]

Posee un *LED* de confirmación de lectura efectiva tanto en el botón activador como en el extremo superior transmitiendo en una comunicación omnidireccional a través del puerto RS232, posee una pantalla horizontal de 2 líneas que permite una visualización del número de identificación durante el proceso de escaneo. Tiene una memoria no volátil la cual permite el almacenamiento de 5000 lecturas de diferentes *tags*. La identificación en la memoria se puede distribuir grupos. Adicionalmente también posee un modo de lectura permanente el cual es muy útil en situaciones donde se requiere una lectura constante que exige alta rapidez, como es el caso de carga o descargue de los animales pecuarios del camión. Para una conveniente administración de energía, se dispone de un cargador para las baterías, adaptador para automóvil y un adaptador para la conexión directa del bastón lector 11784/5 a la toma corriente en la tabla 5-1 se describen las principales características técnicas del bastón AWR100. [31]

Tabla 5-3: Características de Lector Agriident AWR100 RFID 11784/11785

Frecuencia	134.2 kHz
Tipos de transpondedor	HDX compatible (ISO 11784/5) FDX-B compatible (ISO 11784/5)
Rango de Lectura	Aproximadamente 40 cms en transmision HDX, para transpondedores de 30 mm. Aproximadamente 32 cms en transmision FDX-B, para transpondedores 30 mm.
Interface	RS-232
Memoria No Volatil	50000 ID tags
Suministro de Energia	Batería de 9,6 V / 750 mAh Conexion RS-232-Conector de Vehiculo Adaptador 9 v DC 1A
Recarga de la batería	Estación de carga - 3 horas Adaptador de Vehiculo de 12 V disponible Adaptador 9 v DC 1A
Temperatura de Operación	-20 °C to 50 °C
Temperatura de almacenamiento	-20 °C to 80 °C
Nivel de Protección	IP67
Dimensiones	Largo x Ancho x Alto: 650 x 85 x 42 mm
Peso	Aproximadamente: 720g
Certificaciones	CE, FCC part 15 class A, Canada Industry Standard, JRC, CCIA

5.4 Características Allflex RS320

Figura 5-3: Lector Allflex RS320 RFID 11784/5

Como se puede observar en la figura 5-5, el dispositivo consta de una antena encapsulada en un tubo de fibra de vidrio la cual es la encargada de emitir señales al momento de oprimir el *Read Button*, activando así un rango de lectura efectiva de baja frecuencia alrededor de los 30 y 39 cms, dependiendo a su vez del tamaño del diámetro del *tag* bajo el estándar 11784/11785 utilizado entre 11.8 y 15.3 pulgadas, mediante el led de color rojo se puede evidenciar la transmisión de la antena esperando la detección del transpondedor y al momento de la lectura del transpondedor se activa el led de color verde y genera un sonido de confirmación de lectura efectiva, posee una pantalla vertical de 2 líneas que permite una visualización del número de identificación durante el proceso de escaneo, adicionalmente posee una conexión serial, la cual también permite alimentación de energía a través de un adaptador de 9v a 1 amperio, conectándolo al cable que se puede ver en la figura 5-5 y de esta manera alimentar la batería 9.6 voltios o mediante el cargador base, en la tabla 5-2 se describen las principales características técnicas del bastón Allflex RS320. [57]

Tabla 5-2: Características de Lector Allflex RS320 RFID 11784/11785

Frecuencia	134.2 kHz
Tipos de transpondedor	HDX compatible (ISO 11784/5) FDX-B compatible (ISO 11784/5)
Rango de Lectura	Allflex HDX HP Ø 30mm: 39cm Allflex FDX-B HP Ø 31mm: 34cm Allflex HDX LW Ø 26.4mm: 30cm Allflex FDX-B LW Ø 26.4mm: 32cm
Interface	RS-232
Memoria No Volatil	3200 ID tags
Suministro de Energia	Batería de 9,6 V / 750 mAh Conexion RS-232-Conector de Vehiculo Adaptador 9 v DC 1A
Recarga de la batería	Estación de carga - 3 horas Adaptador de Vehículo de 12 V disponible Adaptador 9 v DC 1A
Temperatura de Operación	-10°C - +55°C
Dimensiones	Largo x Ancho: 450 x 32 mm
Peso	Aproximadamente: 570g
Certificaciones	  Ref: SE-49151 Part 15.209, Subpart C (FCC ID: NQY - 930041)

5.5 Programación del Dispositivo

Para la programación del dispositivo embebido, se utiliza el lenguaje de programación multiparadigma en Python 2.7, por medio del cual se configura a través de disparadores que establecen conexión con la base de datos seleccionada para el presente proyecto como lo es *Firebase*, la cual funciona como una plataforma ubicada en la nube que posee la característica de integrarse se con *Google Cloud Platform*, generando de tal manera procesos de alimentación de trazabilidad en el momento de las inspecciones, donde se registra el número de identificación y la hora en el momento que se consultan los *tags* de los semovientes inspeccionados. A través del código creado, se realizan llamadas de funciones externas y se configuró una comunicación USB/RS232 para la captura de los números de identificación y así generar el procesamiento de alimentación de la trazabilidad pecuaria y consulta de permisos de movilidad pecuaria en la base de datos *Firebase*.

5.6 Escenarios de Pruebas

5.6.1 Escenario 1

Figura 5-4: Presentaciones Para Pruebas de Laboratorio [12][19][33]



Se realiza un primer modelo de pruebas de laboratorio, para la captura de números de identificación a través tarjetas y *tags* RFID 11784/11785 como la podemos ver en la figura 5-6 y su posterior procesamiento para la alimentación de la trazabilidad y consulta

de movilidad pecuaria, facilitando así la implementación en un laboratorio de redes para su posterior análisis en la transmisión de los datos.

5.6.2 Escenario 2

Para realizar un modelo bajo condiciones reales, se ha permitido hacer pruebas en un puesto de control de zonas de alta vigilancia ubicado en el municipio de Cubará en el departamento de Boyacá, uno de los lugares donde su requisito mínimo para la movilización del ganado pecuario es estar identificado por medio de los tags 117847/5 y registrado en el SINIGAN, logrando así realizar pruebas con mayor certeza de la efectividad en los procesos de identificación y control de movilización a través de los dispositivos IoT, logrando así realizar análisis de tiempos de respuesta en registro y consulta de la base de datos para tal caso del proyecto *Firebase* representado a la base de datos del *SINIGAN*, corroborando de tal manera la eficiencia del dispositivo *IoT* en un entorno real.

5.7 Tiempos de respuesta

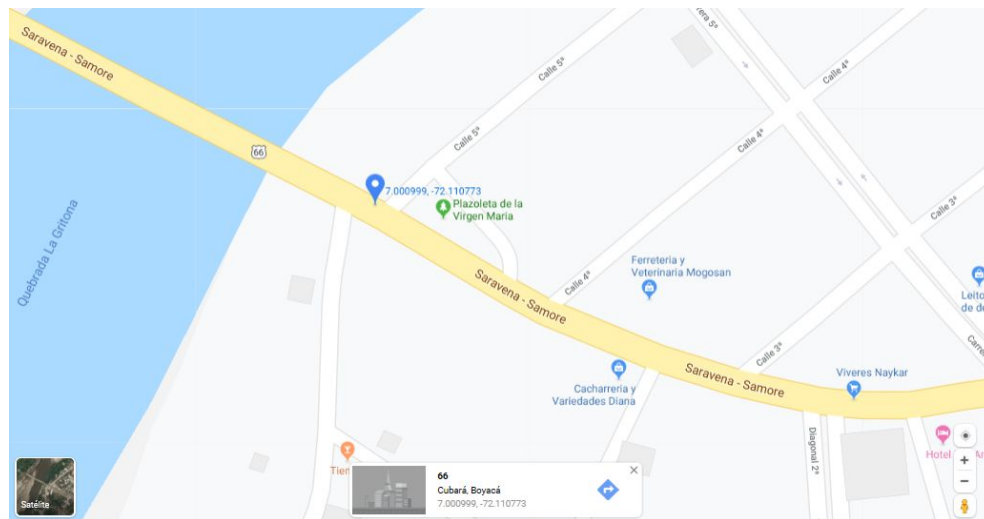
Análisis de pruebas en entornos de ubicaciones reales, en un puesto de control existente por parte de los inspectores del ICA bajo las siguientes características:

Cubará – Boyacá

Latitud: 7.00099

Longitud: -72.110773

Temperatura Promedio: 28°C

Figura 5-5: Coordenadas de ubicación del Dispositivo IoT [13][60]

Se captura un total de 300 muestras de tiempos de respuesta en el municipio de Cubará en el departamento de Boyacá, como se puede observar en la figura 5-7, lugar donde se encuentra ubicado estratégicamente un puesto de control de movilidad pecuaria en una zona de alta vigilancia, para la creación de un análisis estadístico de la cantidad de segundos que toma el envío de un registro y consulta desde el dispositivo *IoT* de control de movilidad pecuaria hasta la aplicación en *Cloud Firebase*. Obteniendo las dos siguientes tablas de resultados donde se analizaron tecnologías 3G y 4G con los operadores de mayor cobertura en estas zonas Claro y Movistar. [13,60]

Tabla 5-3: Tiempo de Respuesta Tecnologías 3G

DIA 1 / 13-10-2019 Tecnología 3G Claro			DIA 1 / 14-10-2019 Tecnología 3G Movistar		
Prueba	Hora	Tiempo de Respuesta en Segundos	Prueba	Hora	Tiempo de Respuesta en Segundos
1	7:35 a. m.	3,49	101	7:45 a.m.	3,8
2	7:35 a. m.	4,05	102	7:45 a.m.	4,4
3	7:35 a. m.	5	103	7:45 a.m.	4,4

4	7:35 a. m.	3,68	104	7:45 a.m.	4,12
5	7:36 a.m	4,76	105	7:45 a.m.	4,07
6	7:36 a.m	3,06	106	7:45 a.m.	3,59
7	7:36 a.m	3,32	107	7:45 a.m.	4,53
8	7:36 a.m	Repetir Lectura	108	7:45 a.m.	4,79
9	7:36 a.m	4,47	109	7:46 a. m.	4,75
10	7:36 a.m	4,08	110	7:46 a.m.	4,31
11	7:36 a.m	4,66	111	7:46 a.m.	3,49
12	7:36 a.m	3,55	112	7:46 a.m.	3,09
13	7:36 a.m	3,2	113	7:46 a.m.	3,29
14	7:36 a.m	3,56	114	7:46 a.m.	4,12
15	8:23 a.m	4,11	115	8:02 a.m.	3,53
16	8:23 a.m	4,48	116	8:02 a.m.	4,77
17	8:23 a.m	3,63	117	8:02 a.m.	3,83
18	8:23 a.m	4,33	118	8:02 a.m.	4,35
19	8:23 a.m	3,93	119	8:03 a.m.	4,87
20	8:23 a.m	3,43	120	8:03 a.m.	3,17
21	8:23 a.m	3,54	121	8:03 a.m.	4,84
22	8:23 a.m	3,69	122	8:03 a.m.	3,15
23	9:46 a.m	4,37	123	8:03 a.m.	3,46
24	9:47 a.m	4,82	124	8:03 a.m.	3,65
25	9:47 a.m	3,67	125	8:03 a.m.	3,64

DIA 1 / 13-10-2019 Tecnología 3G Claro			DIA 1 / 14-10-2019 Tecnología 3G Movistar		
Prueba	Hora	Tiempo de Respuesta en Segundos	Prueba	Hora	Tiempo de Respuesta en Segundos
26	9:47 a.m	4,03	126	8:03 a.m.	4,53
27	9:47 a.m	4,08	127	8:03 a.m.	4,52
28	9:47 a.m	4,88	128	9:50 a.m	3,54
29	9:47 a.m	3,78	129	9:50 a.m	4,11
30	9:47 a.m	3,44	130	9:50 a.m	3,93
31	9:47 a.m	4,91	131	9:50 a.m	4,89
32	9:47 a.m	3,33	132	9:50 a.m	3,05
33	9:47 a.m	3,23	133	9:50 a.m	3,42
34	11:15 a.m	4,5	134	9:51 a.m	3,3
35	11:15 a.m	3,63	135	9:51 a.m	4,03
36	11:15 a.m	4,42	136	11:25 a.m	4,17
37	11:15 a.m	4,65	137	11:25 a.m	4,5
38	11:15 a.m	3,67	138	11:25 a.m	4,51
39	11:16 a.m	4,66	139	11:25 a.m	4,73
40	11:16 a.m	3,98	140	11:25 a.m	Repetir Lectura
41	11:16 a.m	4,49	141	11:25 a.m	3,83
42	11:16 a.m	4,61	142	11:25 a.m	3,8
43	11:16a.m	Repetir Lectura	143	11:38 a.m	3,39
44	11:33 a.m	3,85	144	11:38 a.m	3,38
45	11:33 a.m	4,54	145	11:38 a.m	3,19
46	11:33 a.m	4,08	146	11:38 a.m	4,3

47	11:33 a.m	4,24	147	11:38 a.m	4,62
48	11:33 a.m	3,85	148	11:38 a.m	4,86
49	11:33 a.m	4,72	149	11:38 a.m	4,8
50	11:33 a.m	4,14	150	11:38 a.m	4,61

DIA 1 / 13-10-2019
Tecnología 3G Claro

DIA 1 / 14-10-2019
Tecnología 3G Movistar

Prueba	Hora	Tiempo de Respuesta en Segundos	Prueba	Hora	Tiempo de Respuesta en Segundos
51	11:33 a.m	4,01	151	11:39 a.m	4,28
52	11:33 a.m	3,89	152	11:39 a.m	4,43
53	11:33 a.m	4,2	153	11:39 a.m	4,75
54	11:33 a.m	4,92	154	11:39 a.m	3,09
55	1:25 p.m	4,86	155	1:10 p.m	4,93
56	1:25 p.m	4,89	156	1:10 p.m	4,52
57	1:25 p.m	4,91	157	1:10 p.m	4,67
58	1:25 p.m	3,84	158	1:10 p.m	4,7
59	1:26 p.m	4,53	159	1:10 p.m	4,93
60	1:26 p.m	4,69	160	1:10 p.m	3,76
61	1:26 p.m	4,66	161	1:10 p.m	3,68
62	1:26 p.m	3,39	162	1:11 p.m	4,67
63	1:26 p.m	3,92	163	1:11 p.m	3,98
64	2:10 p.m	4,56	164	2:07 p.m	3,09
65	2:10 p.m	3,85	165	2:07 p.m	3,86
66	2:10 p.m	3,74	166	2:07 p.m	3,81
67	2:10 p.m	3,53	167	2:07 p.m	4,24

68	2:10 p.m	4,22	168	2:07 p.m	3,1
69	2:10 p.m	3,54	169	2:27 p.m	3,69
70	2:10 p.m	Repetir Lectura	170	2:27 p.m	3,27
71	2:10 p.m	3,78	171	2:27 p.m	3,13
72	2:10 p.m	4,83	172	2:27 p.m	4,05
73	2:23 p.m	3,91	173	2:27 p.m	3,66
74	2:23 p.m	4,18	174	2:27 p.m	3,95
75	2:23 p.m	3,17	175	2:28 p.m	4,76

DIA 1 / 13-10-2019
Tecnología 3G Claro

DIA 1 / 14-10-2019
Tecnología 3G Movistar

Prueba	Hora	Tiempo de Respuesta en Segundos	Prueba	Hora	Tiempo de Respuesta en Segundos
76	2:23 p.m	4,3	176	2:28 p.m	4,09
77	2:23 p.m	3,41	177	2:28 p.m	4,18
78	2:23 p.m	4,51	178	2:28 p.m	4,26
79	3:02 p.m	4,77	179	3:07 p.m	3,55
80	3:02 p.m	3,15	180	3:07 p.m	4,26
81	3:02 p.m	4,05	181	3:07 p.m	4,71
82	3:02 p.m	Repetir Lectura	182	3:07 p.m	4,69
83	3:02 p.m	3,87	183	3:07 p.m	3,06
84	3:02 p.m.	3,03	184	3:07 p.m	4,64
85	3:03 p.m	4,18	185	3:07 p.m	4,28
86	3:03 p.m	3,95	186	3:07 p.m	4,12
87	3:03 p.m	3,71	187	3:08 p.m	4,27
88	3:03 p.m	3,86	188	3:08 p.m	4,86

89	3:03 p.m	4,23	189	3:08 p.m	Repetir Lectura
90	3:03 p.m	3,28	190	3:08 p.m	3,26
91	4:07 p.m	3,79	191	3:31 p.m.	4,95
92	4:07 p.m	3,52	192	3:31 p.m.	4,16
93	4:07 p.m	4,22	193	3:31 p.m.	3,07
94	4:07 p.m	4,29	194	3:31 p.m.	3,77
95	4:07 p.m	4,87	195	3:31 p.m.	4,27
96	4:07 p.m	3,18	196	3:32 p.m.	3,43
97	4:07 p.m	3,84	197	3:32 p.m.	3,74
98	4:07 p.m	Repetir Lectura	198	3:32 p.m.	4,97
99	4:08 p.m	4,32	199	3:32 p.m.	4,52
100	4:08 p.m	3,97	200	3:32 p.m.	3,53

Tabla 5-4: Tiempo de Respuesta Tecnologías 4G

DIA 2 / 15-10-2019 Tecnología 4G Claro			DIA 2 / 15-10-2019 Tecnología 4G Claro		
Prueba	Hora	Tiempo de Respuesta en Segundos	Prueba	Hora	Tiempo de Respuesta en Segundos
201	7:01 a. m.	3,95	226	9:38 a.m	3,87
202	7:01 a.m.	3,85	227	9:38 a.m	3,37
203	7:01 a.m.	3,32	228	9:38 a.m	3,59
204	7:01 a.m.	3,06	229	11:23 a.m.	3,53
205	7:02 a.m	3,89	230	11:23 a.m.	3,11
206	7:02 a.m	3,27	231	11:23 a.m.	3,37
207	7:02 a.m	3,1	232	11:23 a.m.	3,52

208	7:02 a.m	3,29	233	11:23 a.m.	3,2
209	8:45 a.m	3,93	234	11:23 a.m.	3,89
210	8:45 a.m	3,05	235	11:24 a.m	3,44
211	8:45 a.m	3,62	236	11:24 a.m	3,38
212	8:45 a.m	3,16	237	11:24 a.m	3,74
213	8:45 a.m	3,02	238	11:24 a.m	3,83
214	8:46 a.m	3,71	239	11:53 a.m	3,97
215	8:46 a.m	3,87	240	11:53 a.m	3,97
216	8:46 a.m	3,52	241	11:53 a.m	3,54
217	8:46 a.m	3,41	242	11:53 a.m	3,33
218	8:46 a.m	3,64	243	11:53 a.m	3,93
219	9:38 a.m	3,46	244	1:03 p.m	3,02
220	9:38 a.m	3,14	245	1:03 p.m	3,3
221	9:38 a.m	3,98	246	1:03 p.m	3,12
222	9:38 a.m	3,42	247	1:03 p.m	3,22
223	9:38 a.m	3,15	248	1:03 p.m	3,4
224	9:38 a.m	3,1	249	1:04 p.m	3,02
225	9:38 a.m	3,84	250	1:04 p.m	3,82

DIA 2 / 15-10-2019
Tecnología 4G Claro

DIA 2 / 15-10-2019
Tecnología 4G Claro

Prueba	Hora	Tiempo de Respuesta en Segundos	Prueba	Hora	Tiempo de Respuesta en Segundos
251	1:04 p.m	3,49	276	2:57 p.m	3,77

252	1:04 p.m	Repetir Lectura	277	2:57 p.m	3,85
253	1:04 p.m	3,89	278	2:57 p.m	3,08
254	1:04 p.m	3,16	279	3:45 p. m.	3,37
255	1:04 p.m	3,53	280	3:45 p. m.	3,59
256	1:45 p.m	3,53	281	3:45 p. m.	3,14
257	1:45 p.m	3,88	282	3:45 p. m.	3,43
258	1:45 p.m	3,63	283	3:45 p. m.	3,01
259	1:45 p.m	3,56	284	3:45 p. m.	3,23
260	1:45 p.m	3,34	285	3:45 p. m.	3,04
261	1:45 p.m	3,29	286	3:45 p. m.	3,21
262	1:45 p.m	3,72	287	3:45 p. m.	3,73
263	1:45 p.m	3,11	288	3:46 p.m.	3,46
264	1:45 p.m	3,09	289	3:46 p.m.	3,48
265	1:46 p.m	3,41	290	3:46 p.m.	3,14
266	1:46 p.m	4	291	3:46 p.m.	3,38
267	1:46 p.m	3,61	292	4:53 p.m	3,18
268	1:46 p.m	3,6	293	4:53 p.m	3,53
269	2:56 p.m	3,02	294	4:53 p.m	3,86
270	2:56 p.m	3,1	295	4:53 p.m	3,94
271	2:56 p.m	3,19	296	4:53 p.m	3,89
272	2:56 p.m	3,73	297	4:54 p.m	Repetir Lectura
273	2:56 p.m	3,12	298	4:54 p.m	3,6
274	2:57 p.m	3,47	299	4:54 p.m	3,95
275	2:57 p.m	3,23	300	4:54 p.m	3,81

Por medio de los 300 datos recopilados entre los días 13, 14 y 15 de octubre del año 2019, en las coordenadas registradas en la figura 5-7, se identifica el funcionamiento de la transmisión de datos en las tecnologías 3G y 4G para los operadores claro y movistar obteniendo los siguientes resultados:

El día 13 de octubre del 2019 entre las 07:30 a.m. y 04:30 p.m. en la tecnología 3G del operador Claro, se realizaron 100 capturas de *tags* bajo el estándar 11784, generando un reporte de número de identificación, fecha, hora y a la vez una consulta en la misma base de datos de prueba *Firebase*, verificando los permisos de movilidad, donde se hizo necesario una nueva consulta en 5 ocasiones como se puede observar en la tabla 5-3 y tabla 5-4 en las pruebas 8, 43, 70,82 y 98, obteniendo el siguiente promedio en tiempo de respuesta de confirmación de movilidad:

$$\text{Promedio} = \frac{\text{tiempos de respuesta (Pruebas 1-100)}}{\text{Lecturas Efectivas}} = \frac{378}{95} = 3.98737 \text{ Segundos}$$

De las 100 pruebas realizadas se obtienen 5 lecturas no efectivas, de las cuales fueron necesarias volverlas a realizar, lo que arroja un porcentaje de error del 5%

El día 14 de octubre del 2019 entre las 07:30 a.m. y 04:00 p.m. en la tecnología 3G del operador Movistar, se realizaron 100 capturas de *tags* bajo el estándar 11784, generando un reporte de número de identificación, fecha, hora y a la vez una consulta en la misma base de datos de prueba *Firebase*, verificando los permisos de movilidad, donde se hizo necesario una nueva consulta en 2 ocasiones como se puede observar en la tabla 5-3 y tabla 5-4 en las pruebas 140 y 189, obteniendo el siguiente promedio en tiempo de respuesta de confirmación de movilidad:

$$\text{Promedio} = \frac{\text{tiempos de respuesta (Pruebas 100-200)}}{\text{Lecturas Efectivas}} = \frac{391.79}{98} = 3.99786 \text{ Segundos}$$

De las 100 pruebas realizadas se obtienen 2 lecturas no efectivas, de las cuales fueron necesarias volverlas a realizar, lo que arroja un porcentaje de error del 2%

El día 15 de octubre del 2019 entre las 07:00 a.m. y 05:00 p.m. en la tecnología 3G del operador Claro, se realizaron 100 capturas de *tags* bajo el estándar 11784, generando un reporte de número de identificación, fecha y hora y a la vez una consulta en la misma base de datos de prueba *Firebase* verificando los permisos de movilidad, donde se hizo necesario una nueva consulta en 2 ocasiones como se puede observar en la tabla 5-3 y tabla 5-4 en las pruebas 252 y 297, obteniendo el siguiente promedio en tiempo de respuesta de confirmación de movilidad:

$$\text{Promedio} = \frac{\text{tiempos de respuesta (Pruebas 200-300)}}{\text{Lecturas Efectivas}} = \frac{343,11}{98} = 3.50112 \text{ Segundos}$$

De las 100 pruebas realizadas se obtienen 2 lecturas no efectivas, de las cuales fueron necesarias volverlas a realizar, lo que arroja un porcentaje de error del 2%

6. Capítulo 6

6.1 Conclusiones

A través del presente documento se obtuvo una evaluación general del estado tecnológico para el desarrollo e implementación de un dispositivo *IoT*, el cual permitirá el control de movilidad pecuaria, focalizándose en aspectos de conectividad y disponibilidad de plataformas tecnológicas que aumenten el aprovechamiento del *tag* identificador 11784/11785, ajustándose a las necesidades y requerimientos para los procesos de identificación establecidos, por tal motivo se realiza el estudio de conectividad a internet a través de las redes de datos móviles como medio de transmisión y recepción de datos entre el dispositivo *IoT* de control de movilidad y la aplicación en la nube *Firebase*. Caracterizando y evaluando de tal modo a nivel y calidad de servicio de los proveedores de redes para la transmisión de datos, tomando a los operadores Claro Colombia y Movistar Colombia con un porcentaje de cobertura de 29% para Claro Colombia y 19% para Movistar Colombia en la tecnología 3G respectivamente y 16% para Claro Colombia en la tecnología 4G según los resultados obtenidos con la aplicación de los mapas de cobertura actualizado hasta la fecha 22 de octubre del año 2019 de los dos proveedores de telefonía móvil dominantes en cobertura para las zonas rurales de interés. [13,14]

El análisis de tiempos de respuesta para el escenario real, en zonas de alta vigilancia se selecciona el municipio de Cubará ubicado en el extremo nororiental del departamento Boyacá frontera con Venezuela, como punto de mayor interés por el alto flujo de semovientes identificados a través del programa identifica que lleva a cabo el instituto ICA por medio de los *tags* bajo el estándar 11784/11785, para realizar el análisis de control de movilidad pecuaria se obtuvieron 2 tablas, la tabla 5-3 y la tabla 5-4, de las

cuales se comprobó el funcionamiento con las tecnologías 3G y 4G con los operadores de mayor cobertura en la zona como lo son Claro y Movistar, obteniendo como resultado un error de lectura del 5% en la tecnología 3G del operador claro, con un promedio de tiempo de respuesta de 3,98737 segundos y un 2% de error de lectura, en la tecnología 3G de Movistar con un promedio de tiempo de respuesta de 3,99786 segundos mientras que en la tecnología 4G del operador Claro se obtiene un promedio de tiempo de respuesta de 3,50112 segundos con un error de lectura de 2%, teniendo una coincidencia sobre los mapas de cobertura de 4G que no registran focos de potencia de señal en la tecnología de Movistar no se puede obtener tabla de tiempo de resultados debido a la nula potencia de señal 4G en las coordenadas analizadas.

El ICAR que rige las políticas de identificación pecuaria para su posterior proceso de trazabilidad, son aplicadas en más de 15 países [19,45] del continente europeo y 6 en el continente Americano entre los que se destaca Brasil, Uruguay, Paraguay y Argentina [12,18,33] en los países de continente suramericano por los amplios flujos que manejan de comercio representado en millones de toneladas exportadas reportadas por la USDA en el año 2018 (ver figura 1-5), donde la ICAR estableció un 97% de confiabilidad frente a las vulnerabilidades que presenta el *tag* identificador pecuario bajo el estándar 11784/11785, realizando pruebas de laboratorio de inalterabilidad y suplantación de acuerdo a los materiales que aseguran el *tag*, brindando a la vez una confiabilidad del 98% en el proceso de identificación individual que consta de 15 dígitos asignados de la siguiente forma: 2 dígitos para representar el código del país, 2 dígitos para el código de la especie (Ovinos, Bovinos, Porcinos, etc), 10 dígitos para el número de identificación y 1 dígito para la verificación (ver figura 1-3).[58]

A través del análisis propuesta Mitchell, Agle y Wood (1997) y el CONOPS, de los actores involucrados en la producción cárnica y láctea pecuaria, se identifica los eslabones de la cadena (ver figura 3-5), determinando el origen de los productos como materia prima hasta su posicionamiento en el mercado, obteniendo como resultado que la operación del SINIGAN a través del ICA como el ente regulador, dando un inicio a la transformación cultural en los hábitos de los consumidores, incentivando los procesos de

implementación de trazabilidad con sistemas de información universal y oficial, permitiéndose así la apertura de comercios internacionales por cumplimiento de los requisitos propuestos por Norteamérica y países de la Unión Europea de comercializar productos cárnicos y lácteos o sus derivados a los consumidores con la información asociada a la trazabilidad brindando mayor confiabilidad en el momento de ingerir los alimentos, donde el presente proyecto se enfoca en alimentar el sistema de información que construye la trazabilidad en lo pertinente a la movilidad pecuaria (ver figura 3-5 eslabón control de movilidad pecuaria), estableciendo un control de confirmación de permisos previamente solicitados en los PSG. [14,25,29,35]

Recomendaciones

El presente sistema de control de movilidad pecuaria se ha desarrollado como una herramienta para los inspectores de los corredores viales principales en zonas de alta vigilancia (Vichada, Arauca, Cubará – Boyacá) llamasen Policía Nacional de Tránsito y Transporte y/o ICA como se pudo constatar a través del desarrollo del CONOPS, la cual se compone de una parte hardware y otro software, para los procesos de identificación y verificación de permisos de movilidad de cada semoviente identificado. Por lo tanto, a continuación, se presenta una serie de aspectos que permitan mejorar y brindar mayor funcionalidad del componente principal del dispositivo *IoT*.

Diseñar un prototipo de mayor alcance como antena para la recepción de los números de identificación que posee cada *tag* instalado individualmente en los semovientes, con ánimo de brindarle mayor autonomía y confiabilidad al sistema de control de movilidad pecuaria.

Vincular mayor número de actores entre los que cabe destacar inicialmente las entidades intermediarias encargadas de la comercialización, como lo son las subastas, complejos y ferias ganaderas lo que permitirá mayor universalidad de la herramienta de trazabilidad SINIGAN, generando mayor alimentación a la base de datos por parte de las entidades mencionadas y a la vez facilitando y agilizando los procesos de identificación de manera confiable a través de las mismas entidades.

Analizar los mapas de cobertura obtenidos de *OpenSignal* y las páginas de Claro y Movistar con ánimo de obtener una aproximación para la ubicación en las zonas de alta vigilancia. Para el correcto funcionamiento del dispositivo *IoT*, lo que también beneficiaría la llegada de la tecnología 5G por temas de velocidad de transmisión de datos y cobertura, más sin embargo actualmente se puede hacer uso de las tecnologías como

WIMAX y LPWAN para puntos críticos de baja cobertura y con alta necesidad de instalación del dispositivo *IoT*.

Referencias

- [1] Ahumada, O., y Villalobos, J. R. (2011). A tactical model for planning the production and distribution of fresh produce. *Ann Oper Res*, 190, 339–358. Descargado de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs10479-009-0614-4.pdf> doi: 10.1007/s10479-009-0614
- [2] Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., y Ayyash, M. (2015, 24). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/document/7123563/> doi: 10.1109/COMST.2015.2444095.
- [3] Ariff, M. H., & Ismail, I. (2013). Livestock information system using Android Smartphone. In *Proceedings - 2013 IEEE Conference on Systems, Process and Control, ICSPC 2013*. Descargado de <https://doi.org/10.1109/SPC.2013.6735123>
- [4] Atzori, L., Iera, A., y Morabito, G. (2017). Understanding the Internet of Things: definition, potentials, and societal role of a fast evolving paradigm. *Ad Hoc Networks*, 56, 122– 140. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.adhoc.2016.12.004>.
- [5] Aung, M. M., y Chang, Y. S. (2014, 5). Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives. *Food Control*, 39, 172–184. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956713513005811> doi: 10.1016/j.foodcont.2013.11.00.
- [6] Azuara, G., Luis Tornos, J., & Luis Salazar, J. (2012). Improving RFID traceability systems with verifiable quality. *Industrial Management & Data Systems*. Descargado de <https://doi.org/10.1108/02635571211210022>
- [7] Balogh, Z., Bízik, R., Turcáni, M., & Koprda, Š. (2016). Proposal for spatial monitoring activities using the raspberry pi and If rfid technology. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. Descargado de https://doi.org/10.1007/978-81-322-2580-5_58.
- [8] Bertino, E., Choo, K.-K. R., Georgakopolous, D., & Nepal, S. (2016). Internet of Things (IoT). *ACM Transactions on Internet Technology*. Descargado de <https://doi.org/10.1145/3013520>
- [9] Boulos, M. N. K., Yassine, A., Shirmohammadi, S., Namahoot, C. S., & Brückner, M. (2015). Towards an “internet of food”: Food ontologies for the internet of things. *Future Internet*. Descargado de <https://doi.org/10.3390/fi7040372>
- [10] C. Bormann, “The Constrained Application Protocol (CoAP).” [Online]. Descargado de: <http://coap.technology/>
- [11] Chelloug, S. A. (2015). Energy-Efficient Content-Based Routing in Internet of Things. *Journal of Computer and Communications*. Descargado de <https://doi.org/10.4236/jcc.2015.312002>

- [12] Chougule, A., Jha, V. K., & Mukhopadhyay, D. (2016). Using IoT for integrated pest management. In 2016 International Conference on Internet of Things and Applications, IOTA 2016. Descargado de <https://doi.org/10.1109/IOTA.2016.7562688>
- [13] Cobertura Movistar Colombia. (2015). Mapas de Cobertura. Descargado de <http://www.movistar.co/atencion-cliente/cobertura-tecnologia>
- [14] Colella, R., Catarinucci, L., & Tarricone, L. (2016b). Improved RFID tag characterization system: Use case in the IoT arena. In 2016 IEEE International Conference on RFID Technology and Applications, RFID-TA 2016. Descargado de <https://doi.org/10.1109/RFID-TA.2016.7750760>
- [15] Dabbene, F., Gay, P., & Tortia, C. (2016). Radio-Frequency Identification Usage in Food Traceability. In Advances in Food Traceability Techniques and Technologies: Improving Quality Throughout the Food Chain. Descargado de <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100310-7.00005-3>
- [16] Diet, A., Biancheri-Astier, M., Le Bihan, Y., Conessa, C., Gbafa, K., Alves, F., ... Pozzebon, A. (2017). A switched reader complementary-loops structure for detecting LF RFID tagged pebbles. In 2017 IEEE International Conference on RFID Technology and Application, RFID-TA 2017. Descargado de <https://doi.org/10.1109/RFID-TA.2017.8304521>.
- [17] Diet, A., Grześkowiak, M., Le Bihan, Y., & Conessa, C. (2014). Improving LF reader antenna volume of detection for RFID token tag thanks to Identical Coaxial Loops (ICLs) and in/out of phase multiple-loops structures. In 2014 IEEE RFID Technology and Applications Conference, RFID-TA 2014. Descargado de <https://doi.org/10.1109/RFID-TA.2014.6934229>
- [18] Dlodlo, N., & Kalezhi, J. (2015). The internet of things in agriculture for sustainable rural development. In 2015 International Conference on Emerging Trends in Networks and Computer Communications (ETNCC). Descargado de <https://doi.org/10.1109/ETNCC.2015.7184801>
- [19] Elshayeb, S. A., Hasnan, K. Bin, & Yen, C. Y. (2009b). RFID technology and zigbee networking in improving supply chain traceability. In International Conference on Instrumentation, Communication, Information Technology, and Biomedical Engineering 2009, ICICI-BME 2009. Descargado de <https://doi.org/10.1109/ICICI-BME.2009.5417245>
- [20] Fawzi, N. A., Sadeq, A., & Jalal, A. (2017). Design and Implementation of Smart Irrigation System Using Wireless Sensor Network Based on Internet of Things. Descargado de <https://doi.org/10.1109/GLOCOMW.2017.8269115>
- [21] Fenu, G., & Garau, P. (2009). RFID- based supply chain traceability system. In IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference). Descargado de <https://doi.org/10.1109/IECON.2009.5415251>

- [22] Fu, B. (2012). Research on the agriculture intelligent system based on IOT. In Proceedings of 2012 International Conference on Image Analysis and Signal Processing, IASP 2012. Descargado de <https://doi.org/10.1109/IASP.2012.6425066>
- [23] Gharat, V., Colin, E., Baudoin, G., & Richard, D. (2017a). Impact of ferromagnetic obstacles on LF-RFID based indoor positioning systems. In 2017 IEEE International Conference on RFID Technology and Application, RFID-TA 2017. Descargado de <https://doi.org/10.1109/RFID-TA.2017.8098876>
- [24] GSMA Latin America. (2018). Country overview: Colombia La colaboración público-privada para promover la innovación y la creación de nuevas empresas (Inf. Téc.). GSMA. Descargado de <https://www.gsmainelligence.com/research/?file=96dd21c24a04e35db09df5d8db700817&download>
- [25] I. E. T. F. (IETF), "The Constrained Application Protocol (CoAP)." Descargado de: <https://tools.ietf.org/html/rfc7252>
- [26] Jedermann, R., Ruiz-Garcia, L., y Lang, W. (2009, 3). Spatial temperature profiling by semi-passive RFID loggers for perishable food transportation. Computers and Electronics in Agriculture, 65(2), 145–154. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169908001993> doi: 10.1016/j.compag.2008.08.006
- [27] John, V., y Liu, X. (2017). A Survey of Distributed Message Broker Queues. Descargado de <https://arxiv.org/pdf/1704.00411.pdf>
- [28] Jover, R. P., y Murynets, I. (2015, 6). Connection-less communication of IoT devices over LTE mobile networks. En 2015 12th annual ieee international conference on sensing, communication, and networking (secon) (pp. 247–255). IEEE. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/document/7338323/> doi: 10.1109/SAHCN.2015.7338323
- [29] Karagiannis, V., Chatzimisios, P., Vazquez-Gallego, F., y Alonso-Zarate, J. (2015). A Survey on Application Layer Protocols for the Internet of Things. Transaction on IoT and Cloud Computing. Descargado de <https://jesualonsozarate.files.wordpress.com/2015/01/2015-transaction-on-iot-and-cloud-computing.pdf>
- [30] Kim, T., Shao, C., & Lee, W. (2015b). Promptly pinpointing mobile RFID tags for large-scale internet-of-things. In 2015 International Conference on Big Data and Smart Computing, BIGCOMP 2015. Descargado de <https://doi.org/10.1109/35021BIGCOMP.2015.7072820>
- [31] Lauridsen, M., Nguyen, H., Vejlgard, B., Kovacs, I. Z., Mogensen, P., & Sorensen, M. (2017). Coverage Comparison of GPRS, NB-IoT, LoRa, and SigFox in a 7800 km Area. In IEEE Vehicular Technology Conference. Descargado de <https://doi.org/10.1109/VTCSpring.2017.8108182>
- [32] Li, J., Guo, M., & Gao, L. (2015). Application and innovation strategy of agricultural Internet of Things. Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of

[33] Li, L., Xiaoguang, H., Ke, C., & Ketai, H. (2011). The applications of WiFi-based Wireless Sensor Network in Internet of Things and Smart Grid. In 2011 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications. Descargado de <https://doi.org/10.1109/ICIEA.2011.5975693>

[34] Liang, W., Cao, J., Fan, Y., Zhu, K., & Dai, Q. (2015). Modeling and implementation of cattle/beef supply chain traceability using a distributed RFID-based framework in China. PLoS ONE. Descargado de <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139558>

[35] Mai, N., Gretar Bogason, S., Arason, S., Víkingur Árnason, S., & Geir Matthíasson, T. (2010). Benefits of traceability in fish supply chains – case studies. British Food Journal. Descargado de <https://doi.org/10.1108/00070701011074354>

[36] Maia, R. F., Netto, I., & Tran, A. L. H. (2017). Precision agriculture using remote monitoring systems in Brazil. In 2017 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC). Descargado de <https://doi.org/10.1109/GHTC.2017.8239290>

[37] Miaji, Y., Mohamed, M. A. A., & Bin Daud, N. (2013). RFID based improving supply chain traceability. In 2013 IEEE International Conference on RFID-Technologies and Applications, RFID-TA 2013. Descargado de <https://doi.org/10.1109/RFIDTA.2013.6694543>

[38] Michel, S., Vargo, S. L., y Lusch, R. F. (2008). Reconfiguration of the conceptual landscape: A tribute to the service logic of Richard Normann. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 36(1), 152–155. Descargado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.630.2346&rep=rep1&type=pdf> doi: 10.1007/s11747-007-0067-8

[39] Mobile Networks Update: Colombia - OpenSignal. (2018). Descargado de <https://opensignal.com/reports/2018/01/colombia/mobile-networks-update>

[40] Namiot, D., Ventspils, M. S. S., & Daradkeh, Y. I. (2017). On internet of things education. In Conference of Open Innovation Association, FRUCT. Descargado de <https://doi.org/10.23919/FRUCT.2017.8071327>

[41] Narsimhalu, U., Potdar, V., y Kaur, A. (2015, 5). A Case Study to Explore Influence of Traceability Factors on Australian Food Supply Chain Performance. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 189, 17–32. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877042815019813> doi: 10.1016/j.sbspro.2015.03.188

[42] Nechifor, S., T`arnauc`a, B., Sasu, L., y Puiu, D. (2014). Autonomic monitoring approach based on cep and ml for logistic of sensitive goods. (INES), 2014 18th Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6909343/>

[43] OASIS, “MQTT Versión 3.1.1,” p. 81, 2014. Descargado de: <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.html>

[44] Oceansoft, "Wireless solutions for temperature & humidity monitoring, and beyond." Descargado de <http://www.oceansoft.com/>

[45] Olubusayo Richard Adeyemo Supervised by Paul Lin, B. I. (2016). INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY AN INSIGHT FOR BUSINESS INTEGRATION Executive Summary cont. Descargado de <http://www.etc5.ipfw.edu/~lin/CPET581-InternetOfThings/>

[46] Patrick Rempel, Patrick Mader, and Tobias Kuschke. An Empirical Study on Project-Specific Traceability Strategies (2016). Descargado de <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.unal.edu.co/stamp/stamp.jsp?tp=>

[47] Palazzi, V., Alimenti, F., Virili, M., Mariotti, C., Orecchini, G., Mezzanotte, P., & Roselli, L. (2016). A novel compact harmonic RFID sensor in paper substrate based on a variable attenuator and nested antennas. In IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest. Descargado de <https://doi.org/10.1109/MWSYM.2016.7540409>

[48] Papapostolou, A., & Chaouchi, H. (2011). RFID-assisted indoor localization and the impact of interference on its performance. Journal of Network and Computer Applications. Descargado de <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2010.04.009>

[49] R. Hajovsky and M. Pies, "Use of IQRF technology for large monitoring systems," IFAC-PapersOnLine, 2015. Descargado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.07.082>

[50] Ramzan, M., y Shaheen, J. A. (2017). Comparison: 3G Wireless Networks with 4G Wireless Networks Technology Wise. International Journal of Advanced Science and Technology Descargado de: <http://dx.doi.org/10.14257/ijast.2017.108.01> doi:10.14257/ijast.2017.108.01

[51] Sheng, Q.Z "A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT," ICT Express, vol. 3, no. 1, pp. 14–21, 2017. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.ict.2017.03.004>

[52] RF Micron, "Hermes Smart Edge IoT Platform for Smart Passive Sensing." Descargado de <http://rfmicron.com/wp-content/uploads/2016/06/>

[53] Ronald K. Mitchell, Bradley R. Agle and Donna J. Wood, "Toward a Theory of Stakeholder Identification and Salience: Defining the Principle of Who and What Really Counts" Descargado de <http://www.jstor.org/stable/259247>

[54] Theodoras, D. T. (2006, 12). Customer service differentiation in the Greek food market: the case of chilled and ambient products. International Journal of Logistics Research and Applications, 9(4), 383–393. Descargado de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13675560600727762> doi: 10.1080/13675560600727762

- [55] van der Vorst, J. G., y Beulens, A. J. (2002, 8). Identifying sources of uncertainty to generate supply chain redesign strategies. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32(6), 409–430. Descargado de <http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/09600030210437951> doi: 10.1108/09600030210437951
- [56] Vargheese, R., y Dahir, H. (2014). An IoT/IoE enabled architecture framework for precision on shelf availability: Enhancing proactive shopper experience. En *Proceedings - 2014 IEEE International Conference on Big Data, IEEE Big Data 2014*. doi: 10.1109/BigData.2014.7004418
- [57] Vermesan, O., y Friess, P. (2014). *Internet of Things – From Research and Innovation to Market Deployment* River Publishers Series in Communication. Descargado de [http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IERC Cluster Book 2014 Ch.3 SRIA WEB.pdf](http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IERC_Cluster_Book_2014_Ch.3_SRIA_WEB.pdf)
- [58] Wakenshaw, S. Y. (2017). The Internet-of-Things: Review and research directions. *International Journal of Research in Marketing*, 34(1), 3–21. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijresmar.2016.11.003> doi: 10.1016/j.ijresmar.2016.11.003
- [59] Welbourne, E., Battle, L., Cole, G., Gould, K., Rector, K., Raymer, S., ... Borriello, G. (2009, 5). Building the Internet of Things Using RFID: The RFID Ecosystem Experience. *IEEE Internet Computing*, 13(3), 48–55. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/document/4907686/> doi: 10.1109/MIC.2009.52
- [60] Wood, W. G. (2007). A Practical Example of Applying Attribute-Driven Design (ADD), Version 2.0 Software Architecture Technology Initiative. Descargado de <http://www.sei.cmu.edu/publications/pubweb.html>
- [61] Xu, R., Yang, L., y Yang, S.-H. (2013). Architecture design of internet of things in logistics management for emergency response. En *Proceedings - 2013 IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing, GreenCom-iThings-CPSCom 2013*. doi: 10.1109/GreenCom-iThings-CPSCom.2013.85
- [62] Y., Peng, W., y Chen, X. (2013). Architecture design of food supply chain traceability system based on internet of things. *Journal of Applied Sciences*, 13(14). doi: 10.3923/jas.2013.2848.2852
- [63] Zhao, X., Fan, H., Zhu, H., Fu, Z., y Fu, H. (2015). *The Design of the Internet of Things Solution for Food Supply Chain*. education, management, information and medicine. Paris, France: Atlantis Press. Descargado de <http://www.atlantis-press.com/php/paper-details.php?id=21432> doi: 10.2991/emim-15.2015.61
- [64] Z Chang, H.-H., y Chang, C.-Y. (2011, 10). Why is the food traceability system unsuccessful in Taiwan? Empirical evidence from a national survey of fruit and vegetable

farmers. *Food Policy*, 36(5), 686–693. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030691921100087X> doi: 10.1016/j.foodpol.2011.06.010

[65] Cobertura red Claro Colombia. (2018). Mapas de Cobertura. Descargado de <https://www.claro.com.co/personas/soporte/mapas-de-cobertura/>