



**PROPUESTA DE UN MODELO SOSTENIBLE EN LA LOGÍSTICA DE LA  
CADENA DE SUMINISTROS DEL SECTOR PAPICTOR PAPICTOR  
ESPECIE (*SOLANUM PHUREJA*). CASO DE ESTUDIO: FIRAVITOA  
BOYACÁ.**

**CAMPIÑO FIGUEROA CAMILO ANDRÉS -2172853**

**MARTÍNEZ MONCADA DANIELA ALEJANDRA - 2219097**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIEROS  
AMBIENTALES E INGENIEROS INDUSTRIALES.**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE COLOMBIA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
BOGOTÁ D.C  
2022 1**



**PROPUESTA DE UN MODELO SOSTENIBLE EN LA LOGÍSTICA DE LA CADENA DE SUMINISTROS DEL SECTOR PAPICTOR PAPICTOR ESPECIE (*Solanum Phureja*). CASO DE ESTUDIO: FIRAVITIBA BOYACÁ.**

**CAMPIÑO FIGUEROA CAMILO ANDRÉS  
MARTÍNEZ MONCADA DANIELA ALEJANDRA**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIEROS AMBIENTALES E INGENIEROS INDUSTRIALES.**

**DIRECTOR**

**ELISA DEL CARMEN NAVARRO ROMERO, INGENIERA INDUSTRIAL  
MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL CON ÉNFASIS EN GESTIÓN ORGANIZACIONAL**

**CODIRECTOR**

**DAVID ORJUELA YEPES, MÁSTER EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD Y TECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE COLOMBIA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
BOGOTÁ D.C  
2022 1**

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
1. RESUMEN .....	6
2. ABSTRACT .....	8
3. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	10
4. INTRODUCCIÓN. ....	11
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	12
6. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN. ....	14
7. JUSTIFICACIÓN. ....	15
8. OBJETIVOS .....	17
8.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
8.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
9. ALCANCE O DELIMITACIÓN.....	18
10. MARCO REFERENCIAL.....	19
11. MARCO CONCEPTUAL .....	21
12. MARCO ESPACIAL .....	23
13. MARCO METODOLÓGICO .....	24
14. CRONOGRAMA.....	28
15. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	29
15.1 Diagnóstico logístico frente a la cadena de suministro del sector papicultor especie ( <i>Solanum phureja</i> ) en el municipio de Firavitoba, Boyacá. 29	
15.2 Medición del impacto ambiental de la huella de carbono en la cadena logística para el sector papicultor en el municipio de Firavitoba, Boyacá.....	46
15.3 Propuesta de un modelo de procesos para la logística en la cadena de suministros del sector papicultor, que incluya los componentes técnicos, socioeconómicos y ambientales. ....	49
16. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	57
16.1 Conclusiones .....	57
16.2 Recomendaciones .....	58
17. REFERENCIAS.....	59
16. ANEXOS .....	64

## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1 ¿En promedio cuántos kilogramos de papa criolla produce en el año? .....	34
Gráfica 2 ¿Cada cuánto se realiza el período de recolecta de la papa criolla? .....	35
Gráfica 3 ¿Cuánto se recolecta en ese período anteriormente mencionado? .	35
Gráfica 4 ¿Cuánto se recolecta en ese período anteriormente mencionado? .	36
Gráfica 5 ¿Cuántos kilogramos pesa cada bulto de papa criolla? .....	37
Gráfica 6 ¿Cuántos obreros trabajan por fanegada? .....	37
Gráfica 7 Transporte (cantidad de viajes).....	55

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las poblaciones del proceso.....	29
Figura 2 Ubicación de Firavitoba, Boyacá. ....	30
Figura 3 Ubicación de Tunja, Boyacá. ....	31
Figura 4 Ubicación de Sogamoso, Boyacá. ....	32
Figura 5 Ubicación de Bogotá.....	33

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Terrenos- producción de papa criolla.....	39
Ecuación 2 Kilogramos de papa criolla- Tunja.....	42
Ecuación 3 Kilogramos de papa criolla - Bogotá. ....	42
Ecuación 4 Kilogramos de papa criolla - Sogamoso.....	42
Ecuación 5 Kilogramos de papa criolla - Firavitoba. ....	42
Ecuación 6 Cantidad de bultos por camión.....	43
Ecuación 7 Número de viajes- Tunja. ....	43
Ecuación 8 Número de viajes- Bogotá.....	44
Ecuación 9 Número de viajes- Sogamoso.....	44
Ecuación 10 Galones consumidos- Tunja.....	47
Ecuación 11 Galones consumidos- Bogotá .....	47

Ecuación 12 Galones consumidos- Sogamoso .....	47
Ecuación 13 Capacidad en bultos por camión.....	53
Ecuación 14 Número de viajes - Tunja. ....	54
Ecuación 15 Número de viajes - Bogotá.....	54
Ecuación 16 Número de viajes - Sogamoso.....	54

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Aspectos generales de la metodología.....	27
Tabla 2 Cronograma de actividades del proyecto.....	28
Tabla 3 Precio de la papa criolla en diferentes establecimientos. ....	45
Tabla 4 Cálculo de huella de carbono para transporte. ....	48

## 1. RESUMEN

El presente documento pretende contribuir al sector agrícola colombiano, por medio de una visión integral de dos áreas del conocimiento, la ingeniería industrial y la ingeniería ambiental, esta integralidad busca la mejora continua de aspectos técnicos, socioeconómicos y ambientales en la logística de la cadena de suministro de la papa [1]. El reto principal de este proyecto es aumentar las buenas prácticas en la cadena de suministro del sector papicultor a través de un modelo de mejoramiento sostenible para el municipio de Firavitoba en el departamento de Boyacá, la ubicación escogida surge a partir de la identificación de diferentes problemas que se han presentado en la ejecución de las etapas de la cadena de suministro de la papa criolla en el municipio de Firavitoba.

Como respuesta a la problemática identificada en el sector papicultor del municipio, se propone el diseño de un modelo logístico sostenible para la cadena de suministro, en donde se realiza un diagnóstico de los aspectos productivos, ambientales y socioeconómicos, previo a su formulación, esto con el objetivo de contar con un panorama amplio de la situación.

Para la realización del modelo se plantea una metodología de tres fases, las cuales corresponden al cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos. Cada una de las fases anteriormente mencionadas, está dividida por actividades, la primera etapa consta en desarrollar el diagnóstico logístico y ambiental de la cadena de suministros, en esta etapa se genera como resultado unos datos iniciales que permitirán establecer un panorama de la situación actual en el municipio, la segunda etapa, consiste en el cálculo de la huella de carbono enfocado hacia el transporte y distribución, esta tiene como finalidad determinar las emisiones de gases generadas y establecer una medida en pro de su reducción.

Finalmente, la etapa tres plantea la estructuración del modelo logístico en la cadena de suministros del sector papicultor de Firavitoba, incluyendo componentes técnicos, socioeconómicos y ambientales como ejes. El modelo estará propuesto teóricamente y contará con el apoyo de una simulación para mostrar gráficamente un antes y un después de la implementación de las

acciones de mejora en el proceso, esta representación gráfica nos ayudará a entender logísticamente como se pueden aplicar las mejoras teóricas.

La metodología para la formulación del modelo sostenible de procesos para logística de la cadena de suministros de la papa, desde su recolección hasta centros mayoristas receptores. Tendrá como resultado la mejora de los procesos que intervienen en la ejecución de la cadena de suministros, de tal forma que favorezca los componentes socioeconómicos, ambientales y técnicos, mejorando la calidad de la papa criolla, disminuyendo las emisiones atmosféricas y la generación de aspectos ambientales, y disminuyendo los costos operacionales en la cadena de suministros del sector papicultor del municipio de Firavitoba, Boyacá.

## 2. ABSTRACT

This document aims to contribute to the Colombian agricultural sector, through an integral vision of two areas of knowledge, industrial engineering and environmental engineering, this integrality seeks the continuous improvement of technical, socioeconomic and environmental aspects in the logistics of the potato supply chain [1]. The main challenge of this project is to increase good practices in the supply chain of the potato sector through a sustainable improvement model for the municipality of Firavitoba in the department of Boyacá, the location chosen arises from the identification of different problems that have arisen in the execution of the stages of the supply chain of the Criollo potato in the municipality of Firavitoba.

In response to the problems identified in the potato-growing sector of the municipality, the design of a sustainable logistic model for the supply chain is proposed, where a diagnosis of the productive, environmental and socioeconomic aspects is made prior to its formulation, with the objective of having a broad overview of the situation.

To carry out the model, a three-phase methodology is proposed, which correspond to the fulfillment of each of the specific objectives. Each of the aforementioned phases is divided by activities, the first stage consists of developing the logistics and environmental diagnosis of the supply chain, in this stage initial data is generated as a result that will allow establishing an overview of the current situation in the municipality, the second stage, consists of the calculation of the carbon footprint focused on transportation and distribution, this aims to determine the gas emissions generated and establish a measure in favor of their reduction.

Finally, stage three is the structuring of the logistic model in the supply chain that includes the technical, socioeconomic and environmental components as axes, being these the ones directly related to the supply chain of the potato growing sector of Firavitoba. The model will be proposed theoretically and will be supported by a simulation to show graphically a before and after the implementation of the improvement actions in the process, this graphical representation will help us to understand logistically how the theoretical improvements can be applied.

The methodology for the formulation of the sustainable process model for potato supply chain logistics, from harvesting to wholesale receiving centers. It will result in the improvement of the processes involved in the execution of the supply chain, in such a way that it favors the socioeconomic, environmental and technical components, improving the quality of the Criollo potato, reducing atmospheric emissions and the generation of environmental aspects, and reducing operational costs in the supply chain of the potato growing sector of the municipality of Firavitoba, Boyacá.

### **3. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.**

Mejoramiento de procesos.

#### 4. INTRODUCCIÓN.

El eje central del proyecto de investigación es la realización de un modelo sostenible en la logística de la cadena de suministros del sector papicultor enfocado específicamente hacia la especie *solanum phureja* conocida como papa criolla. El estudio se desarrolla en el municipio de Firavitoba, Boyacá el cual se caracteriza por la realización de actividades económicas basadas en el cultivo de estos tubérculos. Dentro de los propósitos se encuentra la mejora continua de aspectos técnicos, ambientales y socioeconómicos, lo anterior con el principal fin de producir una papa de buena calidad y ambientalmente sostenible.

La elaboración del modelo se encuentra dividida en varias etapas, las cuales poseen diversas actividades que pueden ser modificadas o eliminadas en su totalidad, es por esto, que inicialmente se realiza un diagnóstico para identificar la situación inicial de aspectos técnicos y logísticos, posteriormente se mide la huella de carbono relacionada con el transporte y la distribución de la papa criolla, finalmente se elabora el modelo logístico mejorando y aportando nuevas actividades que permiten una mejora en tiempos, calidad, eficiencia y sostenibilidad.

El modelo teórico se realizará a partir de la caracterización y delimitación de las etapas en el proceso, es decir, desde su recolección hasta su transporte y distribución a mayoristas, lo anterior, representa una gran ventaja ya que se puede establecer un panorama más real de la situación central del proyecto, adicionalmente, es importante resaltar que dicho modelo es netamente teórico por tanto no existe una aplicación en campo del mismo.

## 5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia, el sector agropecuario está conformado por una gran variedad de actividades que se caracterizan por obtener el producto directamente de la naturaleza, es decir, se enfoca principalmente en ámbitos agrícolas, pesqueros, forestales, pecuarios y acuícolas [2] . Dicho sector, desempeña un papel importante en el país, ya que según las cifras que reveló el DANE para el segundo trimestre del 2021, el sector cuenta con una participación del 17,6% en el PIB, cumpliendo así un papel fundamental en el desarrollo económico, industrial y ambiental [3].

El sector agrícola en Colombia se caracteriza por la obtención de productos de origen vegetal a través del uso de la tierra, provenientes de sistemas productivos con cultivos permanentes como el café y transitorios como la papa. De acuerdo con lo indicado por el ministro de Agricultura y Desarrollo Rural, Rodolfo Zea Navarro, en los últimos años el sector agrícola ha sido uno de los más productivos, una muestra de lo anterior es el incremento del PIB en un 3,8% para el segundo trimestre del 2021 [4].

En Colombia la papa ocupa el segundo puesto en importancia como alimento de consumo dentro del territorio nacional, en Colombia se consume anualmente más de 2,6 millones de toneladas al año siendo además el segundo producto alimenticio más comercializado en el país y representa el 3.3 por ciento del producto interno bruto agropecuario. La producción de papa genera más de 360.000 empleos directos e indirectos[4].

Sin embargo, hoy en día se evidencia que la cadena de suministro del sector papicultor, posee inconsistencias de logística al interior de la misma, como lo son costos elevados a causa de prácticas informales, problemas en los tiempos de distribución causando incumplimiento en el suministro de la papa y problemas de baja calidad a partir del bajo cuidado en el transporte y recolección, lo anterior, ha conllevado a problemáticas como la informalidad laboral, los bajos precios para el productor, los altos costos en transporte y la alta huella ambiental producto de la actividad no tecnificada [5].

De lo anteriormente mencionado se puede decir que, a partir de las diferentes inconsistencias, el precio de la papa criolla está alrededor de 220.000 pesos colombianos el bulto de 50 kilogramos, siendo gran parte del costo del producto gastos operativos asociados a la cadena logística [6].

El transporte de la papa se hace vía terrestre en donde se usan camiones con motor diésel, los cuales por su combustión genera gases contaminantes como el dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, metano y hollín, para el transporte de la papa se emplean camiones turbo con capacidad de 4 a 5 toneladas es decir aproximadamente 100 bultos de 50 kilogramos, otro tipo de camión que se usa para transportar la papa en recorridos de más de 4 horas son los camiones rígidos de dos ejes con capacidad de transportar hasta 10 toneladas o 200 bultos de 50 kilogramos [7].

Cabe resaltar que la generación del volumen de gases es asociada a los recorridos que hacen los vehículos, siendo el departamento de Boyacá uno de los principales productores de papa criolla con un 22% de la producida en Colombia y por su ubicación, se deben realizar grandes recorridos para distribuir el producto principalmente a la ciudad de Bogotá que es donde se encuentra el mayor porcentaje de compradores. La papa criolla producida en el municipio de Firavitoba tiene como destino la plaza de Mercado Mayoristas de Sogamoso Boyacá, La central de abastos en la ciudad de Bogotá y las tres Centrales de abastos de la ciudad de Tunja, adicionalmente la papa criolla cultivada en el municipio también es vendida a minoristas dentro del mismo municipio [8].

Frente a lo planteado y con el fin de aportar en las investigaciones teóricas acerca de dicho tema, se postula el diseño de un modelo sostenible en la logística de la cadena de suministro, que permita formalmente la tecnificación, rentabilidad y sostenibilidad productiva en el sector papicultor, Firavitoba, Boyacá, así como también la vinculación de mano de obra rural. Dicho lo anterior, se pretende responder a la siguiente pregunta problema:

¿Cómo se puede mejorar la logística en la cadena de suministro del sector papicultor por medio de un modelo de mejoramiento sostenible en el municipio de Firavitoba, Boyacá?

## **6. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.**

¿Cómo se puede mejorar la logística en la cadena de suministro del sector papicultor por medio de un modelo de mejoramiento sostenible en el municipio de Firavitoba, Boyacá?

## 7. JUSTIFICACIÓN.

La propuesta de investigación tiene como finalidad la adaptación y estandarización del ejercicio logístico para disminuir aspectos e impactos ambientales y a su vez mejorar componentes tanto técnicos como socioeconómicos. Lo anterior, se realiza mediante la formulación de un modelo teórico y de gestión que permite el cumplimiento de los objetivos, como lo son la identificación de huella de carbono por medio de información secundaria acerca del municipio; la reducción de servicios y costos en transporte por medio de logística en las rutas; la calidad de la papa criolla al final del proceso y la formalidad laboral.

Teniendo en cuenta lo anterior, el proyecto de investigación se formula para el municipio de Firavitoba, Boyacá debido a que es un municipio en donde se concentra el cultivo de la papa, según las cifras reportadas por el DANE, para el año 2016 el sector primario aportó un 17,3% al PIB departamental y de acuerdo con el censo realizado ese mismo año, Boyacá cuenta con 5295 productores de papa y se calcula una producción anual de 708.000 toneladas, por ende, es un área específica que permite la visualización e identificación de la cadena de suministros de la misma, desde su recolección hasta su comercialización [8].

A partir del análisis bibliométrico realizado en las plataformas de documentos científicos, se pudo determinar que existen modelos sostenibles enfocados en la logística para el sector de alimentos perecederos, más no específicamente para el sector papicultor, las consecuencias se evidencian en los altos precios de la papa, la informalidad de los trabajadores por encima del 90%, la baja rentabilidad para los productores y las emisiones de gases efecto invernadero generadas por la falta de logística [5]. Es por ello que, resulta ser fundamental el diseño y análisis de los factores que intervienen en la cadena de suministro de la papa, ya que de esta manera se lograría obtener un producto alimenticio con altos estándares de calidad y comprometido con la producción sostenible.

Es importante resaltar la importancia de la formulación del modelo propuesto, ya que según lo dicho por el gerente de Fedepapa para el año 2020 una de las grandes problemáticas a las que se enfrenta el sector papicultor es la alta

informalidad de los productos, la baja rentabilidad en los cultivos, altos niveles de intermediación y problemas en el transporte [5]. La investigación servirá de referencia para pequeñas empresas que deseen recurrir a la implementación de modelos de estandarización enfocados en logística y huella de carbono, siendo este, una fuente de información adicional.

## 8. OBJETIVOS

### 8.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo logístico sostenible en la cadena de suministro del sector papicultor en el municipio de Firavitoba, Boyacá.

### 8.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico logístico frente a la cadena de suministro del sector papicultor especie (*Solanum phureja*) en el municipio de Firavitoba, Boyacá.
- Medir el impacto ambiental de la huella de carbono en la cadena logística para el sector papicultor en el municipio de Firavitoba, Boyacá.
- Proponer un modelo de procesos para la logística en la cadena de suministros del sector papicultor, que incluya los componentes técnicos, socioeconómicos y ambientales.

## **9. ALCANCE O DELIMITACIÓN.**

El alcance del proyecto de investigación va encaminado hacia el planteamiento de un modelo para la sostenibilidad en la cadena de suministro del sector papicultor, en el municipio de Firavitoba, Boyacá, se tomarán en cuenta los papicultores que generen por cuarto de fanegada tres mil kilogramos de papa criolla siendo esto equivalente a tres toneladas, la razón de esta delimitación es que para poder evaluar la cadena de suministros, se debe tener en cuenta un mínimo de producto para poder analizar las diferentes etapas y así poder obtener la información necesaria. Geográficamente se realizará una delimitación de las zonas en donde se cultiva papa criolla y que estos mismos cultivos generan la cantidad ya mencionada de tres mil kilogramos de papa por fanegada, de manera cuatrimestral.

De acuerdo con lo planteado en el proyecto, se pretende llegar a una mejora en términos productivos, económicos, ambientales y socioambientales, ya que el modelo busca principalmente la optimización en la cadena de suministro, la reducción de servicios y costos en el transporte, por medio de logística en las rutas, la calidad de la papa criolla, la reducción de aspectos ambientales y finalmente la formalidad laboral.

Es importante resaltar que para la obtención de información se pretende realizar visitas técnicas y búsquedas bibliográficas que otorguen información primaria y secundaria, para establecer la huella de carbono y los métodos de logística que se llevan a cabo en la misma, lo recopilado resulta ser la base para la creación del modelo integral, el cual puede ser dispuesto por todas aquellas empresas que conforman el sector papicultor o de alimentos, siendo tomado como ejemplo el municipio de Firavitoba, Boyacá y teniendo en cuenta el alcance ya delimitado en cuanto a la población objetivo, el producto definido y la cadena de suministros definida.

## 10. MARCO REFERENCIAL

En la actualidad las industrias apuntan a la integración del enfoque productivo, ambiental y social, debido a que estos mismos generan una alta competitividad frente a otros actores en el mercado. Por tal razón, se realizó un análisis bibliográfico en la plataforma científica Scopus, en donde se encontraron investigaciones similares a dicha temática, las más representativas fueron seleccionadas y expuestas en el presente documento.

El primer aporte encontrado al tema de investigación lo realiza el autor Govindan, K en el artículo titulado “Two-echelon multiple-vehicle location-routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food”, en donde se propone el mejoramiento del modelo en la cadena de suministro de alimentos perecederos bajo el enfoque de sostenibilidad en la distribución de los alimentos, es decir, se pretende la optimización en rutas y cantidad de productos entregados, para así mismo reducir costos y emisiones de gases efecto invernadero [9].

El segundo aporte encontrado, se encuentra en el artículo “An integrated framework for the assessment of environmental sustainability in wood supply chains”, en donde se tuvo como objetivo la identificación de los factores críticos que no permiten fabricar bajo el concepto de sostenibilidad en la industrias madereras, para el alcance del mismo, se diseñó un modelo de análisis jerárquico que permite priorizar problemas junto con datos cuantitativos, lo que permitió principalmente concluir que los materiales empleados en dicha industria, deben ser sustituidos por renovables además de implementar gestión de residuos [10].

El tercer artículo encontrado, “*La gestión de la cadena de suministro sostenible en la industria alimenticia*”, busca identificar los factores tanto internos como externos que componen la cadena de suministro, con el objetivo de plantear posibles modelos de gestión sostenibles, en el artículo se destaca la importancia de establecer los factores ya que estos constituyen a los ejes centrales de las variables de control, inicialmente como factores internos se plantearon la alta gerencia, la estrategia empresarial, la estructura organizacional, los sistemas de medición y seguimiento para la sostenibilidad, conciencia ambiental, planta física

y capacidades dinámicas, posteriormente se plantearon los factores externos como las políticas y regulaciones, la actitud de los consumidores y los proveedores. Analizando lo anterior, se propuso una gestión en la cadena de suministro sostenible con un enfoque al mercado internacional, conciencia ambiental y social, ya que lo anterior representa una ventaja competitiva en el mercado industrial [11].

En el cuarto artículo encontrado, “A three-objective optimization model for mid-term sustainable supply chain network design”, propone el diseño de un modelo de optimización basado en tres principales objetivos, los cuales son, nivel de existencias, emisiones ambientales e impacto global, en donde mediante la logística de diseño y gestión de red, se logre la disminución de emisiones ambientales y costos en la cadena de suministro [12].

Por otra parte, en el artículo “Una revisión integrada de la literatura sobre cadenas de suministro en alimentos sostenibles: exploración de temas de investigación y direcciones futuras”, realizan un análisis bibliométrico por medio del software *vosviewer versión 1.6.16*, en el cual se establecieron diferentes temáticas relacionadas a la cadena de suministro, tales como: evaluación de impacto y sostenibilidad, gestión y optimización de operaciones, modelos de negocio sostenible, entre otros. Teniendo en cuenta lo anterior, describen cuales son aquellos puntos críticos, límites y componentes fundamentales que se deben tener en cuenta al momento de realizar modelos de gestión sostenibles [13].

Realizando una búsqueda detallada de información primaria acerca de la temática a investigar, se encuentra que, si existen investigaciones enfocadas hacia modelos con objetivos productivos, sostenibles y socioeconómicos, sin embargo, ninguna de las expuestas es realizadas específicamente hacia el sector papicultor.

## 11. MARCO CONCEPTUAL

En la actualidad, el sector industrial busca constantemente la mejora continua en cada uno de sus procesos, es por ello que a través del tiempo se han creado modelos sostenibles de gestión en la cadena de suministro, los cuales se basan principalmente en aspectos como el diseño seguro y sostenible, etapas de producción abarcando desde su recolección hasta su comercialización, almacenamiento, transporte y técnicas.

La creación del modelo sostenible de gestión en la cadena de suministro se basa en la papa criolla perteneciente a la especie *Solanum phureja*, su color predominante es el amarillo y se cultiva en diferentes regiones del país, principalmente en Cundinamarca con un 37%, seguido de Boyacá con un 27% respecto a un 90% de cultivos en el país [11].

Para comprender lo anteriormente mencionado, se hace necesario primeramente definir los modelos sostenibles, los cuales se basan en el concepto de sustentabilidad, en donde su objetivo se centra en satisfacer las necesidades del presente sin comprometer las generaciones futuras, estos pretenden un equilibrio entre lo productivo, ambiental y social [14].

El modelo sostenible para el presente proyecto va enfocado hacia la reducción de emisiones, es decir, gases de efecto invernadero, por ende se debe contar con claridad en los siguientes conceptos; fuentes de emisión definida por la resolución 1377 de 2015 como toda actividad, proceso u operación realizada, susceptible de emitir gases contaminantes [15]; huella de carbono, aquella medida del impacto ambiental generado a lo largo de la cadena de suministro, lo cual permite de forma directa brindar un panorama acerca del desempeño ambiental.

La sostenibilidad en la logística basada en la cadena de suministro, consiste en la adaptación de medidas y políticas sustentables que permitan la reducción de los aspectos ambientales y por ende los impactos, es aquí en donde se implementan estrategias para el uso adecuado de recursos, el diseño de rutas, la disposición adecuada de residuos, la disminución en la contaminación del aire,

el consumo racional de combustible e identificación de fuentes de emisión móviles [16].

Dentro de otras definiciones relacionadas al modelo sostenible, se encuentran los impactos ambientales, el cual se basa en la modificación o alteración del ambiente, consecuente de actividades realizadas por el hombre [17], por otra parte, se encuentran los aspectos ambientales, los cuales son elementos que interactúan con actividades, servicios o productos de una organización [16].

Desde el enfoque industrial, para llegar al alcance de la mejora en los procesos, se hace importante definir distintos conceptos; siendo el primero, modelo de optimización, el cual se basa en el análisis de las etapas del proceso productivo, con el objetivo de eliminar o disminuir posibles errores, recursos, costos y tiempos. Es importante resaltar que se emplean al momento de tomar decisiones estratégicas y apoyar decisiones del nivel táctico y operativo [18].

En cuanto a los modelos de logística, según la definición de la Asociación Española para la Calidad, son todos aquellos que en cada operación del proceso productivo logran garantizar la disponibilidad de un determinado recurso en tiempo y forma óptimos. Por otra parte, intervienen factores como la planeación en la producción, el manejo adecuado de inventarios y almacenamiento y finalmente la distribución del producto [19].

Al momento de plantear la logística en la cadena de suministro, es necesario entender que esta actividad comprende la planificación, organización y el control de todas las actividades relacionadas con el proceso, es decir, obtención, traslado y el almacenamiento de materiales y productos, teniendo como principal objetivo la demanda, la eficiencia, la eficacia y el coste mínimo [19].

Por último, se resalta que cuando se realiza un proyecto de investigación se debe tener en cuenta el componente socioeconómico, ya que el mismo cumple con un papel fundamental en la economía mundial y en las relaciones entre los centros de producción y consumo, este se define como las actividades sociales y económicas que representan el área de influencia, es decir la agricultura.

## 12. MARCO ESPACIAL

De acuerdo con los objetivos planteados en la investigación, el desarrollo de esta se realiza en la región geográfica del departamento de Boyacá, específicamente en el municipio de Firavitoba, posee un área de 109.9 Km<sup>2</sup>, la cual se caracteriza en un 99,3% como rural y 0,62% como urbana. Dicho territorio, se encuentra dividido por dieciséis veredas: Monjas, Alcaparral, Gotua, Cartagena, Mombita, San Carlos, San Antonio, entre otras más [20] .

Según las cifras del Dane para el censo del 2019, el municipio de Firavitoba cuenta con una población de aproximadamente 6,667 habitantes de los cuales el 75% habitan en la zona rural y 25% en la zona urbana. Las actividades económicas del municipio son principalmente la agricultura, ganadería y la minería con la extracción de la caliza [20].

La agricultura representa parte importante de la economía de dicho municipio, por lo que se cultivan distintos alimentos como la cebada, el frijol, la arveja, la cebolla y finalmente la papa, que resulta ser el enfoque del estudio, es importante resaltar que la delimitación se realiza por familia, es decir, todas aquellas que generen por fanegada aproximadamente doce mil kilogramos de papa criolla [20].

### **13. MARCO METODOLÓGICO**

La construcción de este proyecto se pretende desarrollar por fases, las cuales llevarán al desenvolvimiento del proyecto según lo esperado, el proyecto y la construcción del documento tendrá como inicio la formulación de la transversalidad entre la ingeniería industrial y la ingeniería ambiental partiendo de lograr desarrollar y proponer soluciones a una problemática como lo es la falta de tecnificación de actividades agrícolas, el caso de estudio seleccionado será la cadena logística de la papa criolla en el municipio de Firavitoba Boyacá.

Para la primera etapa se definirá la población de estudio, la cual únicamente se delimita para el sector relacionado con la papa criolla que se produzca en el municipio de Firavitoba Boyacá, para esto se realizará una revisión sistemática de la literatura en donde se pretende obtener información primaria de referencia que posteriormente será compilada con información secundaria que se obtenga de las visitas de campo al municipio de Firavitoba Boyacá. Cabe aclarar que no se tendrá en cuenta a papicultores que cultiven una especie de papa diferente a la criolla ni tampoco a papicultores que se encuentren fuera del municipio de Firavitoba, Boyacá.

Para la ejecución de la primera etapa es necesario obtener todos los insumos para establecer un punto de partida. El diagnóstico de la cadena de suministros se deberá establecer en vía a la de la situación en la cual se encuentra la cadena logística de la papa, con lo anterior se pretende poder establecer las variables a considerar y cómo se irá desarrollando la construcción de la propuesta del modelo de estandarización bajo el enfoque de la logística.

Acompañado del diagnóstico se realizará la caracterización de la población y zona objetivo, para ello se delimitará a los papicultores para quienes puede ser dirigido la propuesta, esta delimitación se realizará a partir de la producción y el tamaño del terreno en el cual producían, para este caso se tomarán papicultores que posean más de una fanegada y que produzcan más de 3000 kg. Para el caso de la caracterización espacial se empleará la ayuda del Software Arcgis, programa que permite realizar mapas con georreferenciación real y escalas debidamente asignadas, para este caso de estudio se realizarán los mapas de las poblaciones que tienen algún papel dentro del caso de estudio.

La segunda etapa consistirá en la estimación de huella de carbono en la cadena logística de la papa, para ello se hará necesario el seguimiento de unos pasos, primero se realizará un límite territorial, es decir se seleccionará a nivel local, municipal o departamental, para este caso será a nivel municipal en Firavitoba Boyacá, seguido de lo anterior, se realizará un límite sectorial, en el cual se debe definir el sector productivo, el cual será el agrícola, para finalmente escoger el año base, este debe contar con información confiable de emisiones, para el caso de estudio se tomará el año 2021.

El segundo paso consistirá en la identificación de fuentes de emisión de gases efecto invernadero, éstas pueden ser dos, alcance 1 y alcance 2, para el caso de estudio, se clasificará en alcance 1, ya que se abarcan la generación de GEI por fuentes móviles, es decir, buses y camiones empleados en la cadena de suministro, el tercer paso se basará en la recopilación de los datos, debido a que se requiere la cantidad de combustible consumido por cada vehículo transportador al año y el factor de emisión correspondiente al tipo de combustible emitido, para finalmente multiplicarlos entre sí, estos datos se obtendrán por medio de la información secundaria, es decir, es importante resaltar que los factores de emisión se encuentran en la literatura y varían según el tipo de combustible, los empleados serán para gasolina y diésel, siendo  $3,11 \text{ CO}_2/\text{Ton combustible}$  y  $3,5232 \text{ CO}_2/\text{Ton combustible}$ , por otra parte para la cantidad de combustible consumido, se realizará una búsqueda de la capacidad de almacenamiento de combustible en litros para cada camión empleado, esto con el fin de obtener un estimado, finalmente el quinto paso se basará en la interpretación de los resultados, lo cual permitirá la identificación de las mayores fuentes móviles en la cadena de suministro para así mismo trabajar en su disminución [21].

Posteriormente al análisis, la recopilación de información y la estimación de la huella de carbono, en la tercera etapa, se comenzará a realizar un modelo de procesos apoyado en el diagnóstico. Con el fin de proponer unas nuevas etapas que brinden eficiencia al momento de realizar actividades dentro de la cadena logística de la papa, buscando resolver algunos problemas identificados en la etapa de análisis. Como finalidad, el modelo generará una adaptación y una estandarización del ejercicio logístico para mejorar aspectos ambientales, técnicos y socioeconómicos presentes en la misma.

Con ayuda del software Bizagi Modeler, se modelará un diagrama de procesos que respalde las propuestas de intervención en las etapas y actividades del proceso delimitado. Se graficará el proceso antes y después de la aplicación de las acciones de mejoras propuestas en las etapas existentes, además de la visualización de las nuevas etapas que surjan a partir de la búsqueda de un mejor funcionamiento del proceso.

Finalmente se usará el software Flexim para presentar una simulación del proceso para evidenciar cómo cambia gráficamente algunas de las actividades del proceso, este software permite modelar procesos como el de este caso de estudio.

A continuación, se presenta un cuadro en donde se explica de manera puntual como se irá desarrollando cada uno de los objetivos de este proyecto teniendo en cuenta diferentes aspectos a considerar para cada uno de los objetivos, por la transversalidad de la investigación se afirma la información a analizar será cuantitativa y cualitativa así mismo la investigación contiene componentes experimentales y no experimentales.

Tabla 1. Aspectos generales de la metodología.

OBJETIVO	MÉTODO PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	INSTRUMENTO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA ANÁLISIS DE DATOS
Realizar diagnóstico de la cadena logística	Revisión sistemática de la literatura  Pruebas de campo, visitas, levamiento de información.  mapeo de zonas de interés	Fichas bibliográficas  Base de datos del CRAI  Listado de los papicultores  Software Argis	Análisis de información	Estadística descriptiva
Huella de carbono de la cadena logística	Estimación de cantidad y tipos de vehículos que intervienen en la cadena de suministros, además de cantidad de combustible consumida por vehículo.		Entrevistas	Estadística descriptiva
Propuesta Modelo logístico	Se tendrá en cuenta la información de base del diagnóstico y se proyectan resultados basados en la mejora de los aspectos técnicos, sociales y ambientales.	Diagnóstico del proceso  Software Bizagi Modeler (modelo de procesos)  Software Flexsim (representación)	Propuestas de mejoramiento en etapas	Analítica de datos

**Fuente:** Elaboración propia.

## 14. CRONOGRAMA

Se busca realizar las actividades a desarrollar en un tiempo de 5 meses distribuido como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2 Cronograma de actividades del proyecto.

ACTIVIDADES	Meses	1					2					3					4					5				
	Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20					
<b>Primera entrega (Anteproyecto)</b>																										
Objetivos y preguntas de investigación		■	■																							
Construcción de contexto, pertinencia social, justificación y resumen			■	■																						
Definición de la metodología				■	■																					
Primera revisión bibliográfica					■	■																				
construcción antecedentes, marco teorico y alcance						■	■																			
Definición del documento para su entrega							■	■																		
Entrega del documento																										
<b>Segunda entrega (desarrollo del proyecto)</b>																										
Segunda revisión bibliografica						■	■	■																		
Visitas de campo al municipio para analizar la cadena logistica						■	■	■	■																	
medición de emisiones de los vehiculos que transportan la papa criolla						■	■	■	■																	
Analisis de informacion primaria						■	■	■	■																	
contrucción del modelo de estandarización									■	■																
modelación en flexim de la cadena logistica									■	■	■															
Caalculo comparativo de la posible aplicación del modelo											■	■														
Analisis de información producto de la modelación													■	■												
Construcción del documento de la segunda entrega														■	■	■										
Recolección de resultados																■	■	■								
Construcción y definición del documento																		■	■	■						
Entrega del documento final																				■	■					

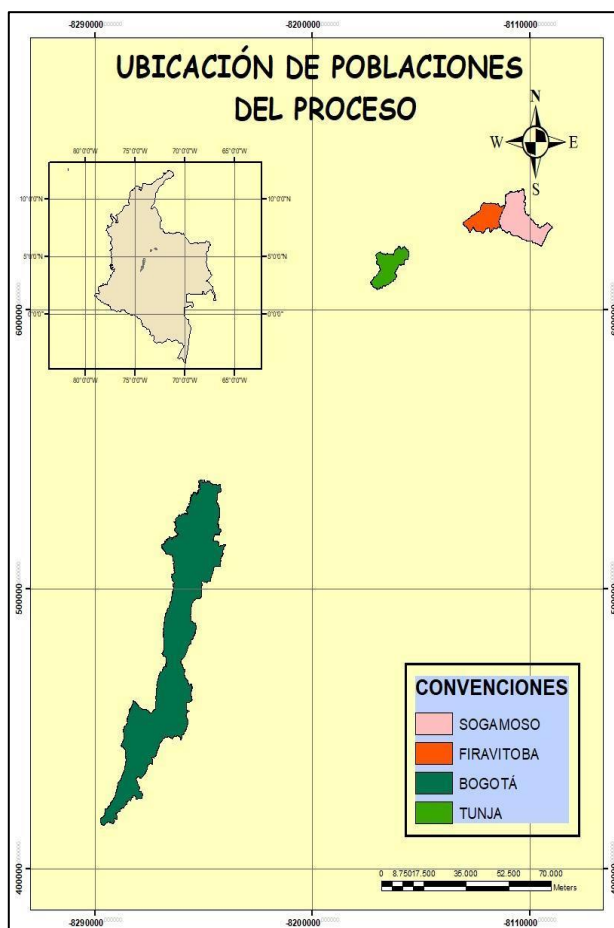
Fuente: Elaboración propia.

## 15. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### 15.1 Diagnóstico logístico frente a la cadena de suministro del sector papicultor especie (*Solanum phureja*) en el municipio de Firavitoba, Boyacá.

Dentro del diagnóstico logístico, se realizó una caracterización general de lugares que se encuentran involucrados dentro de la cadena logística a partir del punto de recolección de la papa en el municipio de Firavitoba, Boyacá, pasando por su distribución y los centros mayoristas receptores del producto, que para este caso se encuentran 3 ciudades, Tunja, Sogamoso y la ciudad de Bogotá, lugares que son los puntos finales o de acopio a donde los papicultores de Firavitoba envían y venden la papa criolla.

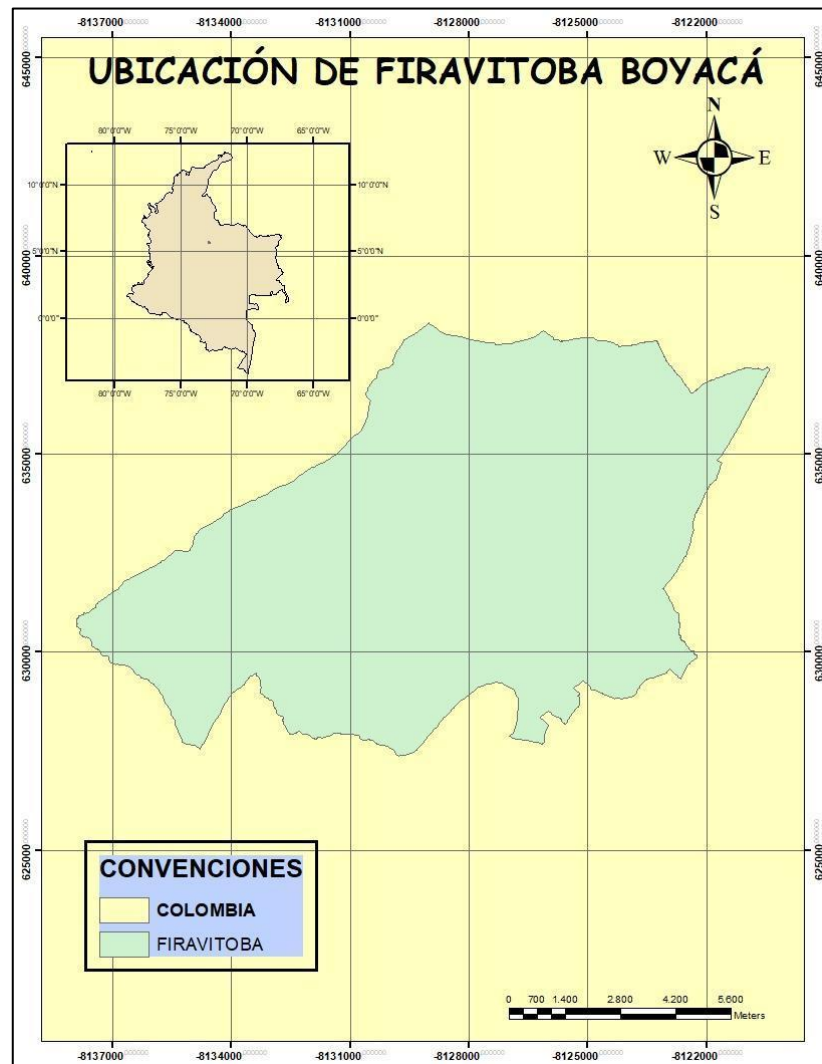
Figura 1. Ubicación de las poblaciones del proceso.



Fuente: Elaboración propia.

El municipio de Firavitoba Boyacá se encuentra en el departamento de Boyacá limitando con los municipios de Iza, Sogamoso, Tuta, Tibasosa, Paipa y Pesca. Esta región es conocida por tener como actividad económica principal la agricultura y la ganadería, esto a partir de que sus condiciones geográficas y climáticas son óptimas para realizar estas actividades.

Figura 2 Ubicación de Firavitoba, Boyacá.



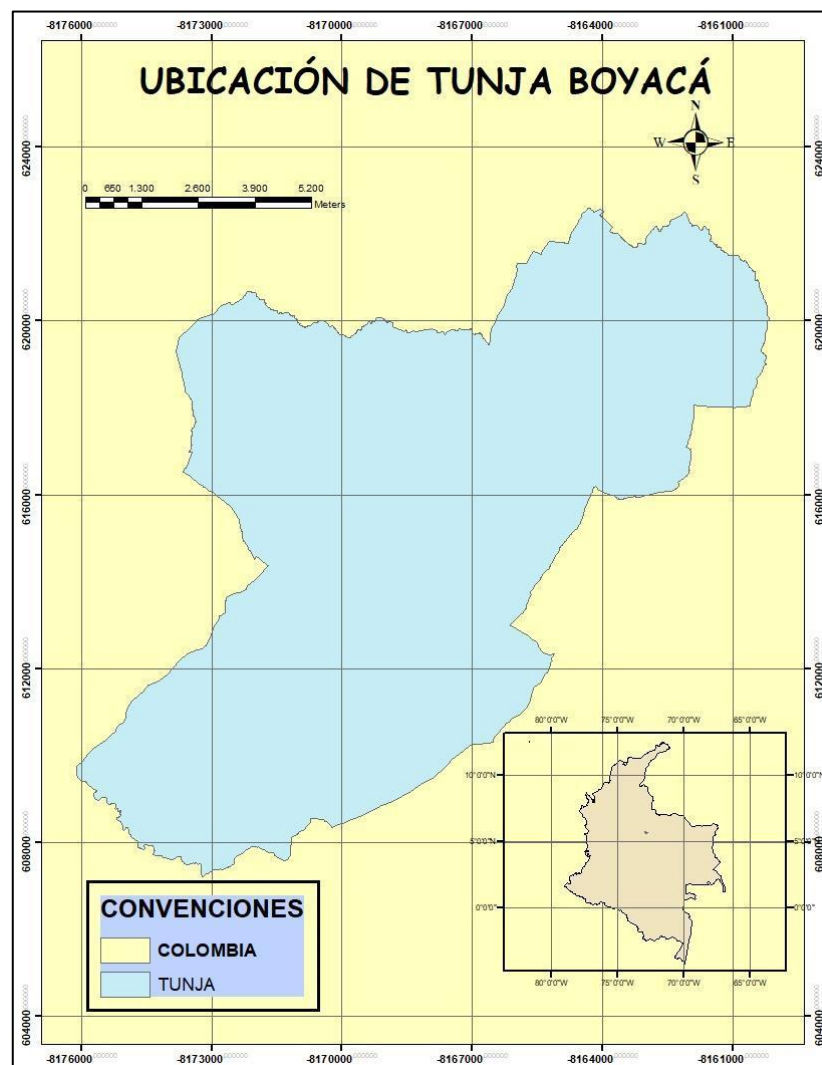
Fuente: Elaboración propia.

En el municipio de Firavitoba se realiza el proyecto investigativo, es el punto inicial de partida, sin embargo, dentro de este mismo se realiza la delimitación en la cadena logística, debido a que no se puede abarcar completamente el

territorio. Para el diagnóstico se tomará como punto de referencia información primaria con la finalidad de ser certeros con los cálculos de tiempos y cálculo de huella de carbono.

La ciudad de Tunja es la capital del departamento de Boyacá y es el punto donde actualmente los papicultores de Firavitoba envían la mayoría de la papa, la razón es que los principales compradores y clientes están en la ciudad de Tunja en la central de abastos de la ciudad.

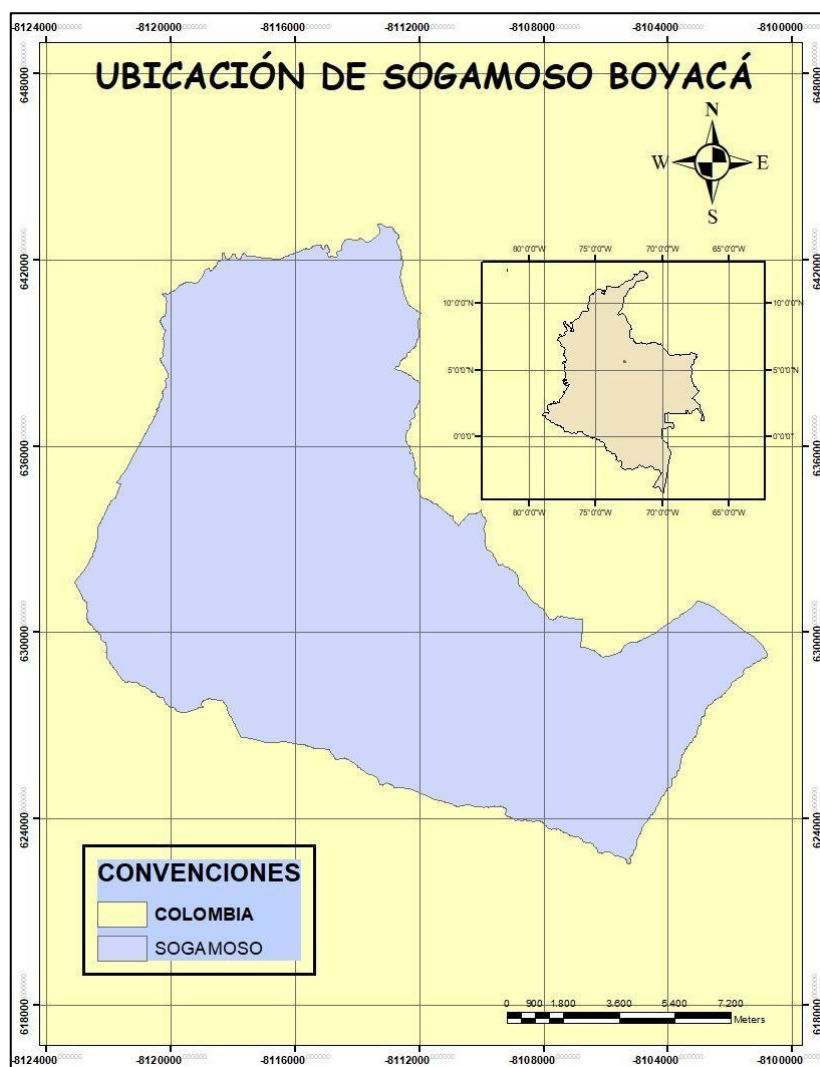
Figura 3 Ubicación de Tunja, Boyacá.



Fuente: Elaboración propia.

La ciudad de Sogamoso es la tercera población más grande del departamento de Boyacá y es el punto más cercano al cual los papicultores de Firavitoba envían su producto, la razón es la cercanía con la que se encuentran y que cuentan con facilidad de realizar el transporte de la papa criolla a Sogamoso.

Figura 4 Ubicación de Sogamoso, Boyacá.

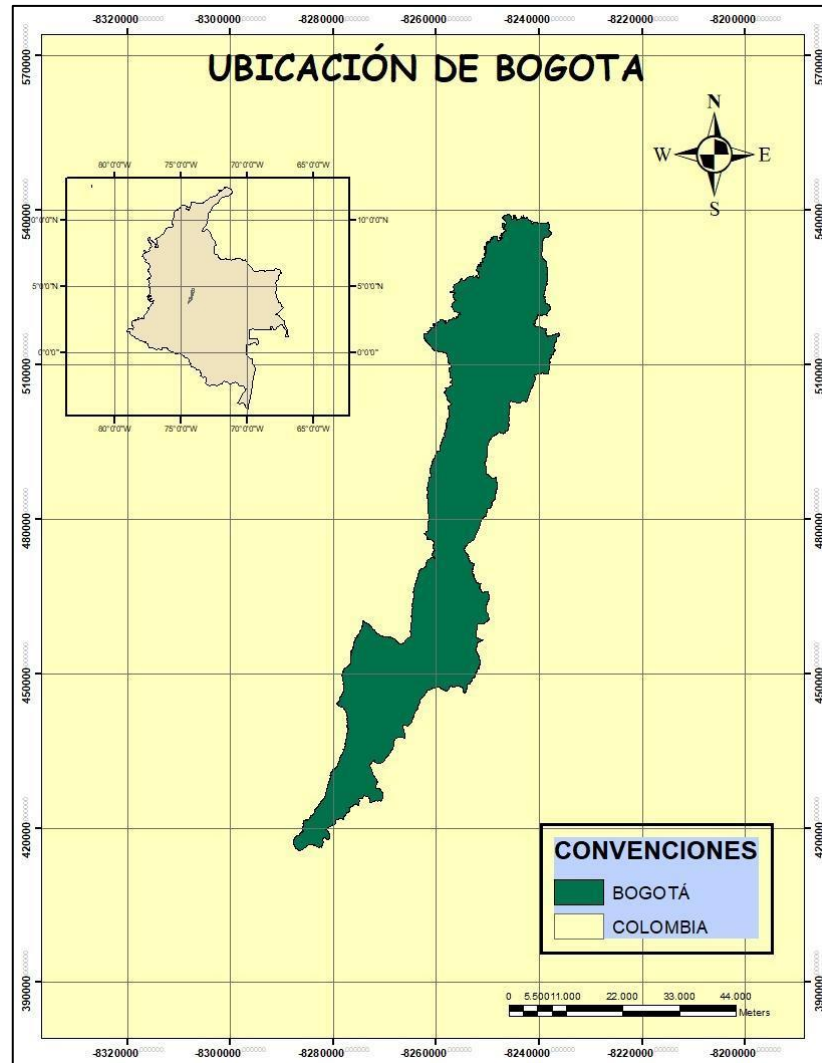


Fuente: Elaboración propia.

Bogotá siendo la capital del país, requiere de un gran volumen de alimentos, es por ellos que los papicultores del municipio de Firavitoba también cuentan con clientes en la central de abastos bogotana para la distribución de su producto, según los papicultores no es su principal cliente a causa de la distancia y los

altos costos que requiere enviar la papa criolla sin embargo cuentan con clientes que adquieren la papa criolla del municipio.

Figura 5 Ubicación de Bogotá.



**Fuente:** Elaboración propia.

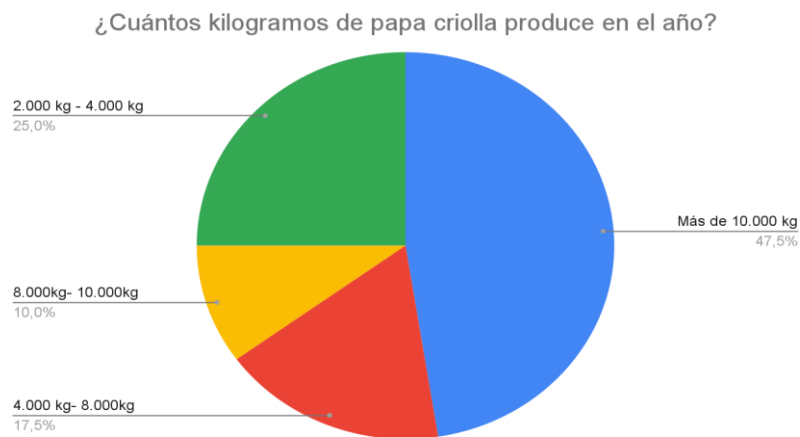
Continuando con el diagnóstico, desde una visión técnica, el proceso se divide en las siguientes etapas diagramadas en un modelo de procesos (anexo 1), donde posteriormente se realizará una descripción y diagnóstico para las etapas del proceso desde el punto inicial seleccionado, siendo la recolección y el punto

final siendo la entrega en los diferentes puntos mayoristas de las ciudades anteriormente mencionadas.

### 15.1.1. Obtención de la información

Con el fin de obtener información a partir de la visita de campo, se selecciona un grupo de cuarenta personas, este número asignado fue tomado directamente del censo agrícola del municipio de Firavitoba. Teniendo en cuenta lo anterior, se realiza una encuesta la cual se compone de seis preguntas en donde se abordan temas como los períodos de recolección, el área de terreno cultivado, el número de obreros, entre otras. A continuación, se presentan las preguntas con su respectiva gráfica.

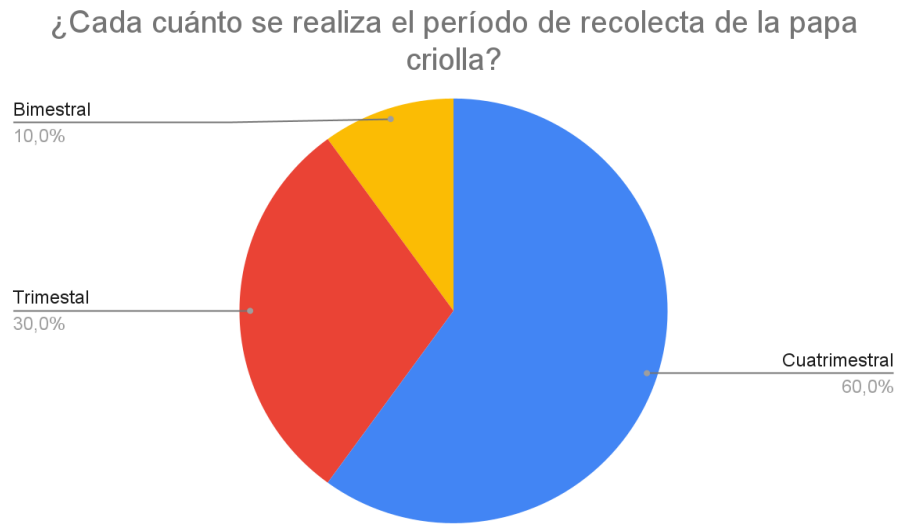
Gráfica 1 ¿En promedio cuántos kilogramos de papa criolla produce en el año?



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el gráfico anterior, se puede establecer que los cultivadores producen anualmente un aproximado de más de 10.000 kilogramos de papa criolla, seguido de 2.000 - 4.000 kilogramos, lo cual puede indicar que la zona es caracterizada por la actividad agrícola.

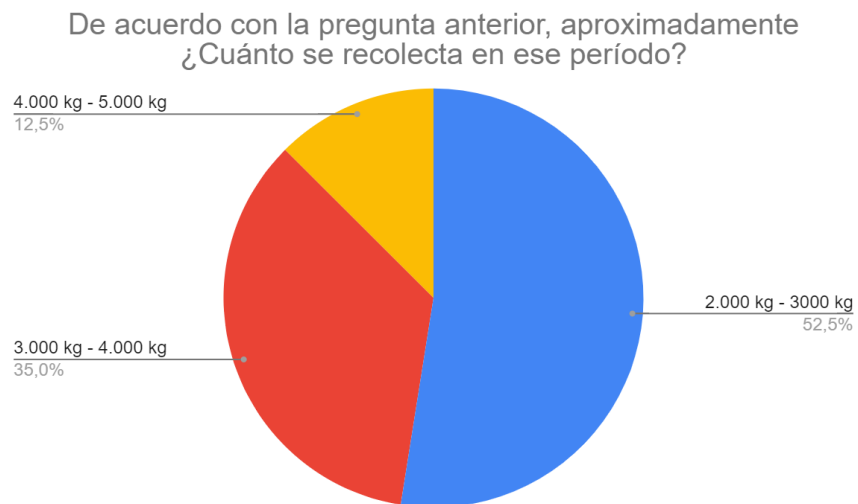
Gráfica 2 ¿Cada cuánto se realiza el período de recolecta de la papa criolla?



Fuente: Elaboración propia.

La gráfica indica que las recolectas de papa criolla se realizan cada cuatro meses, esto debido a que el ciclo de cosecha logra tardar 130 días, esta variable está sujeta al cuidado y siembra de cada agricultor.

Gráfica 3 ¿Cuánto se recolecta en ese período anteriormente mencionado?



Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la gráfica, la cantidad que se recolecta de acuerdo al período es de 2.000 kg a 3.000 kg que equivale a un 52,5%. Es necesario tener en cuenta este dato, debido a que resulta ser la base para el cálculo de número de viajes y cultivo total por período.

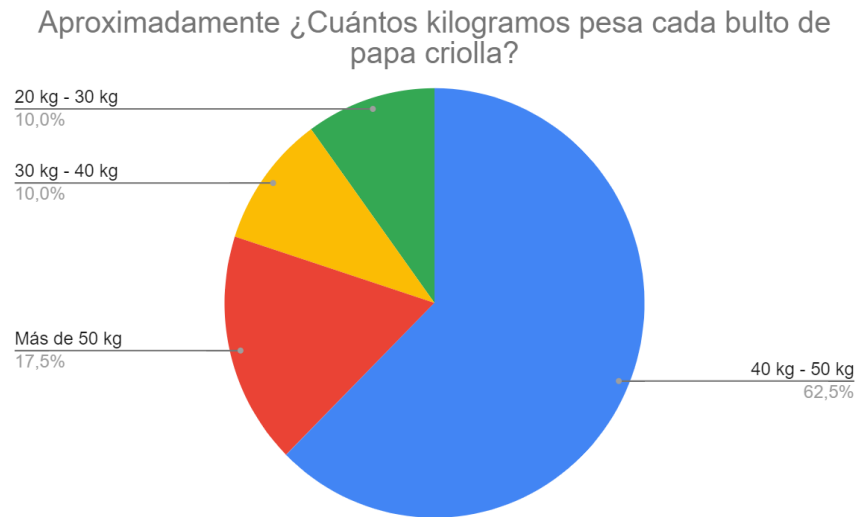
Gráfica 4 ¿Cuánto se recolecta en ese período anteriormente mencionado?



Fuente: Elaboración propia.

La gráfica 4 presenta las áreas sobre las cuales cultivan la papa criolla, aproximadamente el 67,5% de los agricultores poseen 1 fanegada, seguido de 1/4 de fanegada equivalente al 30% y los restantes con un área de 2 fanegadas equivalente al 2,5%. Establecido este dato, se determinan los kilogramos recolectados por área para así mismo calcular la cantidad total y su distribución.

Gráfica 5 ¿Cuántos kilogramos pesa cada bulto de papa criolla?



Fuente: Elaboración propia.

El objetivo de la pregunta graficada fue principalmente establecer el peso de cada bulto para así mismo conocer cuántos de estos se cargaban por camión y asimismo a cuánta carga en la espalda y hombros estaba sometido el agricultor.

Gráfica 6 ¿Cuántos obreros trabajan por fanegada?



Fuente: Elaboración propia.

La gráfica 6, presenta el número de trabajadores por área, la pregunta fue realizada debido a que se pueden implementar reducciones en el personal. Los resultados indican que el 52,9% de las personas encuestadas trabajan por fanegada un rango de personas de 5 a 6, seguido del 23,5% con un rango de 3 a 4 personas.

De acuerdo con las gráficas anteriores, se realizó una delimitación de 26 familias, las cuales aportan en un cuarto de fanegada un aproximado de tres toneladas de papa criolla, es decir, en área de 160,000 metros cuadrados aportan 300,000 kilogramos de papa criolla.

Adicionalmente de las encuestas, se realizó una entrevista con el Señor Gustavo Sanabria habitante del municipio de Firavitoba, El señor Gustavo nos proporcionó información de como el realizaba sus siembras, comento de algunos costos de transporte y capacidad de producción de su tierra con ellos nos generó un panorama de cómo proponer y en donde acciones de mejora dentro del proceso del caso de estudio, se adjunta un audio como anexo para evidenciar la entrevista realizada el 7 de mayo 2022.

### **15.1.2. Actividades del proceso**

A continuación, se realizaría una descripción diagnóstica con información tomada en campo, esta información fue suministrada por papicultores del municipio de Firavitoba por medio de entrevistas las cuales sirvieron para poder diagramar el proceso y de ese modo identificar las etapas del proceso y con ello puntos importantes a considerar.

- **Recolección de papa criolla**

La recolección de la papa criolla es la primera etapa que se tendrá en cuenta posterior a la delimitación del proceso según el alcance del proyecto investigativo, la recolección de la papa criolla en los cultivos en el municipio de

Firavitoba la realizan de manera manual, se requieren de 5 obreros por fanegada cultivada, cada jornada de trabajo se paga a \$30.000 – \$40.000 pesos por persona, el valor de la jornada depende de la duración de esta y de la cantidad de papa a recolectar, los obreros no emplean alguna técnica puntual más que usar sus propias manos para halar el tallo de la planta y extraer la papa criolla.

El trabajador mismo mientras se encarga de extraer la papa también se encarga de seleccionar la papa que considera que se encuentra en buen estado, el buen estado lo definen basados en su objetividad visual respecto a si consideran que tiene buen color y tamaño.

Durante la visita de campo, se estableció que por familia se logran recolectar de 25 a 30 cargas de 8 arrobas en un área de  $1600m^2$ , es decir, aproximadamente 3000 kg. El estudio determina un número de familias de 26, cada una de ellas cuenta con terreno de  $6400 m^2$ , para una producción cuatrimestral de 300,000 kg, tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

Ecuación 1 Terrenos- producción de papa criolla.

$$\begin{array}{l} 1600 m^2 \rightarrow 3000 kg \\ 160,000 m^2 \rightarrow 300,000 kg \end{array}$$

Fuente: Elaboración propia.

- **Selección de la papa criolla**

Para la clasificación de la papa los papicultores y los jornaleros objetivamente dividen las papas en dos categorías de tamaño las que consideran grandes y pequeñas, ellos ya por la experiencia conocen el producto y con ello son quienes juzgan el tamaño de la papa. La papa con un tamaño considerablemente grande la van separando de tal forma que la disponen al almacenamiento, la que no cuenta con un tamaño que se considere comercial la separan y la disponen de dos formas si son muy pequeñas las dejan en el suelo y estas se descomponen con el tiempo y las que no clasificaron por su tamaño comercial y tampoco las dejan en el suelo las disponen para el alimento de los mismos jornaleros y del papicultor a cargo de la siembra.

- **Llenado de sacos de lona con la papa criolla.**

En esta etapa se disponen de sacos de lona de capacidad de 50 kg, en esos sacos almacenan la papa clasificada óptima para el comercio, es decir la que el papicultor y su equipo de trabajo consideraba de buen tamaño, en esta etapa se cuenta con una estrategia, la cual consta de ubicar los sacos de lona por sectores del terreno de tal forma que cada saco de lona sirva de contenedor de la papa óptima que se encuentra a unos 4 metros cuadrados alrededor del saco. Cuando los sacos de lona llegan a su capacidad máxima que en este caso es que los sacos puedan ser sellados, no manejan algún sistema para medir el peso de cada saco, sino que confían en la capacidad de almacenamiento de cada saco según el volumen de papa criolla que pueda ser ingresado.

Para el diagnóstico de los datos iniciales propios de la etapa anteriormente mencionada, se realizó el pesaje de cinco bultos de papa tomados al azar por medio de una báscula, esto con el objetivo de obtener una cifra promedio de peso en kilogramos por cada bulto, los datos obtenidos se encontraron en un rango de 40 kg a 50 kg.

- **Sellado de las lonas**

El sellado de las lonas lo hacen con cabuya, usan una técnica simple de cocido en un extremo de tal forma que quede bien prensado para evitar que la papa se salga durante la exposición a movimiento de las siguientes etapas.

- **Cargue de bultos al vehículo pesado**

Los mismos obreros que se encargan de las etapas anteriores también son quienes tienen la función de cargar el contenedor del camión con los bultos de papa criolla, cada uno de ellos cargan bulto por bulto, no tienen una técnica exacta para realizar el cargue, lo que ellos hacen es ir llevando sobre uno de sus hombros cada bulto hasta el camión, lo llevan desde la posición en la que

ubicaron cada bulto para la etapa de almacenamiento de la papa criolla en los costales de lona.

Algo que se puede ver y que manifiestan los trabajadores es que después de terminar la jornada de trabajo en ocasiones presentan dolores en el área de la espalda y de los hombros por la cantidad de esfuerzo físico y las veces que deben repetir el ejercicio de cargar sobre un hombro un costal de 50 kg o más.

Teniendo en cuenta la referencia del camión y su ficha técnica, se obtuvieron las medidas y capacidad de carga, para este caso los vehículos son de aproximadamente 5720 mm de largo, 1695 mm de ancho y 2100 mm de largo, estos cuentan con una capacidad máxima de 3500 kg. Por otra parte, las medidas de los costales fueron tomadas con la papa en su interior, el instrumento empleado fue el metro, 58,5 cm de ancho, 101,6 cm de largo y 60 cm de profundidad, esto con el principal objetivo de obtener el volumen de cada bulto.

- **Traslado de la papa criolla a los centros de abastos**

Como se mencionaba en la caracterización de los lugares en los cuales se desarrollaba la actividad, el transporte de la papa se da de acuerdo a la ciudad o lugar que haya comprado la papa criolla, es decir los vehículos pesado tienen sus rutas definidas de acuerdo a la central de abastos que deban llevar la papa criolla, para el caso de los papicultores de Firavitoba el principal destino es la ciudad de Tunja más o menos con un 50% de la producción, seguido de Bogotá con el 30% y Sogamoso con el 18% el restante se queda en el municipio ya sea para el consumo o para la venta al detal [22].

De acuerdo con la cifra en la etapa de recolección, son 300,000 kilogramos de papa que se producen de 80 a 115 días, teniendo en cuenta los porcentajes de distribución por cada municipio, se realiza el cálculo aproximado de kilogramos entregados.

Ecuación 2 Kilogramos de papa criolla- Tunja.

$$\begin{aligned}Tunja &= 300,000 \text{ kg} \rightarrow 100\% \\x \text{ kg} &\rightarrow 50\% \\&= 150,000\text{kg}\end{aligned}$$

Fuente: Elaboración propia.

Ecuación 3 Kilogramos de papa criolla - Bogotá.

$$\begin{aligned}Bogotá &= 300,000 \text{ kg} \rightarrow 100\% \\x \text{ kg} &\rightarrow 30\% \\&= 90,000\text{kg}\end{aligned}$$

Fuente: Elaboración propia.

Ecuación 4 Kilogramos de papa criolla - Sogamoso.

$$\begin{aligned}Sogamoso &= 300,000 \text{ kg} \rightarrow 100\% \\x \text{ kg} &\rightarrow 18\% \\&= 54,000\text{kg}\end{aligned}$$

Fuente: Elaboración propia.

Ecuación 5 Kilogramos de papa criolla - Firavitoba.

$$\begin{aligned}Firavitoba &= 300,000 \text{ kg} \rightarrow 100\% \\x \text{ kg} &\rightarrow 2\% \\&= 6,000\text{kg}\end{aligned}$$

Fuente: Elaboración propia.

Cabe agregar que los vehículos suelen ir cargados con su máxima capacidad de carga, incluso suelen cargar los vehículos con la mayor cantidad de papa criolla que se pueda y que permita el contenedor con la finalidad de reducir costos en los trayectos. Los vehículos utilizados para realizar estos trayectos son vehículos diseñados para el transporte de carga pesada, para el caso de estudio de

Firavitoba usan vehículos de referencia Mitsubishi center modelo 2005 [23] y Daihatsu delta 2006, con capacidad para 60 bultos de 50 – 55 kg [24].

Como parte del diagnóstico, se relacionan dos volúmenes para determinar cuál es la cantidad de bultos de papa que están siendo transportados por camión, el primer valor es el volumen perteneciente al camión, el segundo valor es el volumen perteneciente a cada bulto.

Ecuación 6 Cantidad de bultos por camión.

$$\text{Cantidad de bultos por camión} = \frac{572 \text{ cm} * 169,5 \text{ cm} * 210 \text{ cm}}{58,5 * 101,6 \text{ cm} * 60 \text{ cm}} = 57,09$$

$\simeq 57 \text{ bultos}$

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo anterior, se puede establecer que el número de bultos por camión es de 57, los cuales presentan una medida de aproximadamente 52 kg, es decir, que el total transportado por camión equivale a 2,964 kg, sin embargo, este cálculo no toma en cuenta los bultos que son sobrecargados al camión.

Para esta etapa se calcularon el número de viajes respecto a la cantidad de papa criolla a distribuir, con el objetivo de obtener los valores iniciales del número de viajes. Lo anteriormente mencionado se realiza dividiendo el valor de kilogramos según el destino sobre la cantidad total transportada por camión, es decir, sobre los 2964 kilogramos transportados por trayecto.

Ecuación 7 Número de viajes- Tunja.

$$\text{Número de viajes (Tunja)} = \frac{150.000 \text{ kg}}{2.964 \text{ kg}} = 50,6 \cong 51 \text{ viajes.}$$

Fuente: Elaboración propia.

Ecuación 8 Número de viajes- Bogotá.

$$\text{Número de viajes (Bogotá)} = \frac{90.000 \text{ kg}}{2.964 \text{ kg}} = 30,3 \cong 30 \text{ viajes.}$$

Fuente: Elaboración propia.

Ecuación 9 Número de viajes- Sogamoso.

$$\text{Número de viajes (Sogamoso)} = \frac{54.000 \text{ kg}}{2.964 \text{ kg}} = 18,2 \cong 18 \text{ viajes.}$$

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el diagnóstico del número de viajes, se identifica que el valor es bastante alto, sin embargo, es importante resaltar que los viajes no se realizan en un mismo momento, debido a que la recolecta de los cultivos por familia es realizada por partes.

Para finalizar, la etapa de transporte está fuertemente ligada al impacto ambiental, debido a que por cada trayecto se generan gases de efecto invernadero, los cuales contribuyen a la huella de carbono, es de gran importancia disminuir significativamente el número de viajes e implementar tecnologías limpias que apunten hacia una cadena de suministro sostenible.

- **Descargue de la papa criolla en los centros de abastos**

El descargue es la etapa final del proceso que se delimitó, en esta etapa el conductor del vehículo pesado suele llevar un ayudante el cual va costeadado dentro del costo del flete, ellos en ocasiones y dependiendo el lugar de destino de la carga tienen la tarea de descargar el camión para esta actividad deben bajar los bultos del contenedor del vehículo de igual forma en que fueron subidos es decir los trabajadores usan sus hombros como soporte para bajar y direccionar los bultos del vehículo según las indicaciones del comprador o de quien sea el nuevo dueño de la carga.

Adicional al proceso es importante considerar el estado comercial y datos respecto a los costos operacionales de proceso logístico, para ello se tomó información en campo en el municipio de Firavitoba Boyacá y se tomó información del costo de la papa criolla en las centrales de abastos. Lo anterior con el fin de determinar el estado actual económico de la actividad y como la propuesta del modelo de sostenibilidad es rentable a los papicultores.

El valor de la papa criolla varía de acuerdo con el lugar en donde se compró puesto que los costos operacionales son distintos por la distancia de cada uno de los lugares que son destino final del producto, a continuación, se presenta una tabla con los precios comerciales en los que se puede encontrar un kg de papa criolla. Cabe resaltar que al papicultor le compran cada kilo de papa a \$3.000 pesos siendo los gastos del proceso delimitado el 40% del valor en el cual venden la papa.

Tabla 3 Precio de la papa criolla en diferentes establecimientos.

LUGAR	PRECIO 1 kg
Papa criolla central de abastos Tunja (26 junio 2022)	\$8.000
Papa criolla central de abastos Bogotá (27 junio 2022)	\$8.500
Papa criolla central de abastos Sogamoso (26 junio 2022)	\$7.800
Papa criolla en tienda de Firavitoba (26 junio 2022)	\$4.000

Fuente: Elaboración propia.

Para los costos del transporte y distribución, se tuvo en cuenta el precio del galón de diésel **con fecha de 29 de junio 2022**, es decir, \$9,292 pesos colombianos, partiendo del costo anterior, dependiendo el trayecto se multiplicó por el número de viajes realizados, el primer trayecto desde Firavitoba, Boyacá hasta abastos Bogotá sumó un total de \$492,476 pesos, el segundo trayecto desde Firavitoba, Boyacá hasta Tunja, sumó un total de \$297,344 y finalmente el trayecto Firavitoba, Boyacá hasta Sogamoso sumó un total de \$176,548. Es importante resaltar que los cálculos se realizaron con los vehículos de referencia Mitsubishi center modelo 2005 y Daihatsu delta 2006.

## **15.2 Medición del impacto ambiental de la huella de carbono en la cadena logística para el sector papicultor en el municipio de Firavitoba, Boyacá.**

Con el objetivo de desarrollar el segundo punto del proyecto, se plantean los cálculos y datos correspondientes para la contabilización de los gases efecto invernadero, se tuvieron en cuenta el dióxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y el metano, los cuales se encuentran asociados a fuentes móviles, es decir, al transporte de la papa criolla.

Para la distribución de la papa se emplean dos tipos de camiones, siendo el primero Mitsubishi canter modelo 2005, su categoría de emisiones es Euro 4, el tipo de combustible es diésel, cuenta con un depósito de combustible de 80 litros, el peso máximo de carga es de 3.500 kilogramos, el segundo tipo de camión es Daihatsu delta modelo 2004, al igual que el anterior vehículo su tipo de combustible es diésel, cuenta con una capacidad de carga de 3.000 kilogramos y su depósito es de 100 litros. Los trayectos que realizan los trabajadores son tres específicamente, cada uno de ellos parte desde el municipio de Firavitoba Boyacá y se diferencian por el punto de llegada, el primer trayecto finaliza en Corabastos, Bogotá, el segundo en la plaza de mercado occidente de Tunja y el tercero en la plaza de mercado de Sogamoso.

Cada uno de los recorridos anteriormente mencionados posee una distancia la cual se tomó en cuenta al momento de medir la huella de carbono, ya que por medio de este dato se obtienen los galones consumidos por trayecto, por otra parte, se tuvo en cuenta los datos de Fecoc 2016 para los factores de emisión de combustible líquido, para el caso de estudio, diésel. El primer trayecto, desde Firavitoba, Boyacá hasta Corabastos, Bogotá tiene una distancia promedio de 235 kilómetros, el segundo trayecto desde Firavitoba, Boyacá hasta la plaza de mercado occidente de Tunja posee una distancia de 82,1 kilómetros, finalmente el tercer trayecto desde Firavitoba, Boyacá hasta la plaza de mercado de Sogamoso posee una distancia de 11,2 kilómetros, siendo esta la más corta respecto a las otras, es importante mencionar que las medidas fueron tomadas a partir de Google maps.

En base a lo anterior es importante destacar que los recorridos se realizan cada 80 días y en ocasiones cada 115 días, se realizan con esta periodicidad ya que ese es el tiempo que toma una cosecha de papa criolla. Dependiendo de la cantidad producida se realizan rutas de ida, a continuación, se presentan los

respectivos cálculos del consumo de galones por trayecto, es importante tener en cuenta que los camiones gastan aproximadamente 10,7 litros cada 100 kilómetros, según su ficha técnica.

#### Ecuación 10 Galones consumidos- Tunja

$$\begin{aligned} \text{Galones consumidos (Tunja)} &= 100 \text{ km} \rightarrow 10,7 \text{ L} \\ &82,1 \text{ km} \rightarrow x \text{ L} \\ &= 8,7847 \text{ L} \cong 2,3209 \text{ gal} \end{aligned}$$

Fuente: Elaboración propia.

#### Ecuación 11 Galones consumidos- Bogotá

$$\begin{aligned} \text{Galones consumidos (Bogotá)} &= 100 \text{ km} \rightarrow 10,7 \text{ L} \\ &235 \text{ km} \rightarrow x \text{ L} \\ &= 25,145 \text{ L} \cong 6,643 \text{ gal} \end{aligned}$$

Fuente: Elaboración propia.

#### Ecuación 12 Galones consumidos- Sogamoso

$$\begin{aligned} \text{Galones consumidos (Sogamoso)} &= 100 \text{ km} \rightarrow 10,7 \text{ L} \\ &11,2 \text{ km} \rightarrow x \text{ L} \\ &= 1,1984 \text{ L} \cong 0,316 \text{ gal} \end{aligned}$$

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo anterior, para el trayecto Firavitoba- Tunja se emplean 2,3209 galones, para el trayecto Firavitoba- Bogotá 6,643 galones y finalmente para el trayecto Firavitoba- Sogamoso 0,3166 galones.

Dentro de los factores de emisión se encuentra el dióxido de carbono con un factor del 10,2765 kg  $CO_2$ / gal, óxidos de nitrógeno con un factor del 0,0374 g  $N_2O$ / gal y por último el metano con un factor de emisión del 0,0374 g  $CH_4$ / gal, los datos anteriores, resultan ser fundamentales al momento del cálculo ya que según la agencia de protección ambiental [25], permiten asociar la cantidad del

contaminante que se emite a la atmósfera con la actividad relacionada a la emisión de dicho contaminante.

Para la medición de la huella de carbono, es necesario tener en cuenta todos aquellos datos obtenidos y mencionados anteriormente, los cálculos de gases efecto invernadero para el sector de transporte que se mostrarán a continuación serán realizados para cada trayecto nombrado, en un vehículo de carga con emisiones de dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y metano.

Tabla 4 Cálculo de huella de carbono para transporte.

Trayecto	Factor de emisión correspondiente		Consumo por trayecto (gal)	Emisiones asociadas a vehículo por trayecto		Emisiones asociadas al total de viajes	
<b>Desde Firavitoba, Boyacá hacia Bogotá D.C</b>	CO <sub>2</sub> ( kg CO <sub>2</sub> / gal)	10,2765	6,643	68,267	kg CO <sub>2</sub>	2184,537	kg CO <sub>2</sub>
	N <sub>2</sub> O ( g N <sub>2</sub> O/ gal )	0,0374	6,643	0,248	g N <sub>2</sub> O	7,950	g N <sub>2</sub> O
	CH <sub>4</sub> ( g CH <sub>4</sub> / gal)	0,0374	6,643	0,248	g CH <sub>4</sub>	7,950	g CH <sub>4</sub>
<b>Desde Firavitoba, Boyacá hacia la Plaza de mercado occidente de Tunja</b>	CO <sub>2</sub> ( kg CO <sub>2</sub> / gal)	10,2765	2,3209	23,851	kg CO <sub>2</sub>	1264,089	kg CO <sub>2</sub>
	N <sub>2</sub> O ( g N <sub>2</sub> O/ gal )	0,0374	2,3209	0,087	g N <sub>2</sub> O	4,600	g N <sub>2</sub> O
	CH <sub>4</sub> ( g CH <sub>4</sub> / gal)	0,0374	2,3209	0,087	g CH <sub>4</sub>	4,600	g CH <sub>4</sub>
<b>Desde Firavitoba, Boyacá hacia la Plaza de mercado de Sogamoso</b>	CO <sub>2</sub> ( kg CO <sub>2</sub> / gal)	10,2765	0,3166	3,254	kg CO <sub>2</sub>	61,817	kg CO <sub>2</sub>
	N <sub>2</sub> O ( g N <sub>2</sub> O/ gal )	0,0374	0,3166	0,012	g N <sub>2</sub> O	0,225	g N <sub>2</sub> O
	CH <sub>4</sub> ( g CH <sub>4</sub> / gal)	0,0374	0,3166	0,012	g CH <sub>4</sub>	0,225	g CH <sub>4</sub>

Fuente: Elaboración propia.

Tal y como se muestra en la Tabla 4, se puede establecer que para el primer trayecto desde Firavitoba, Boyacá hasta Corabastos, Bogotá, las emisiones de

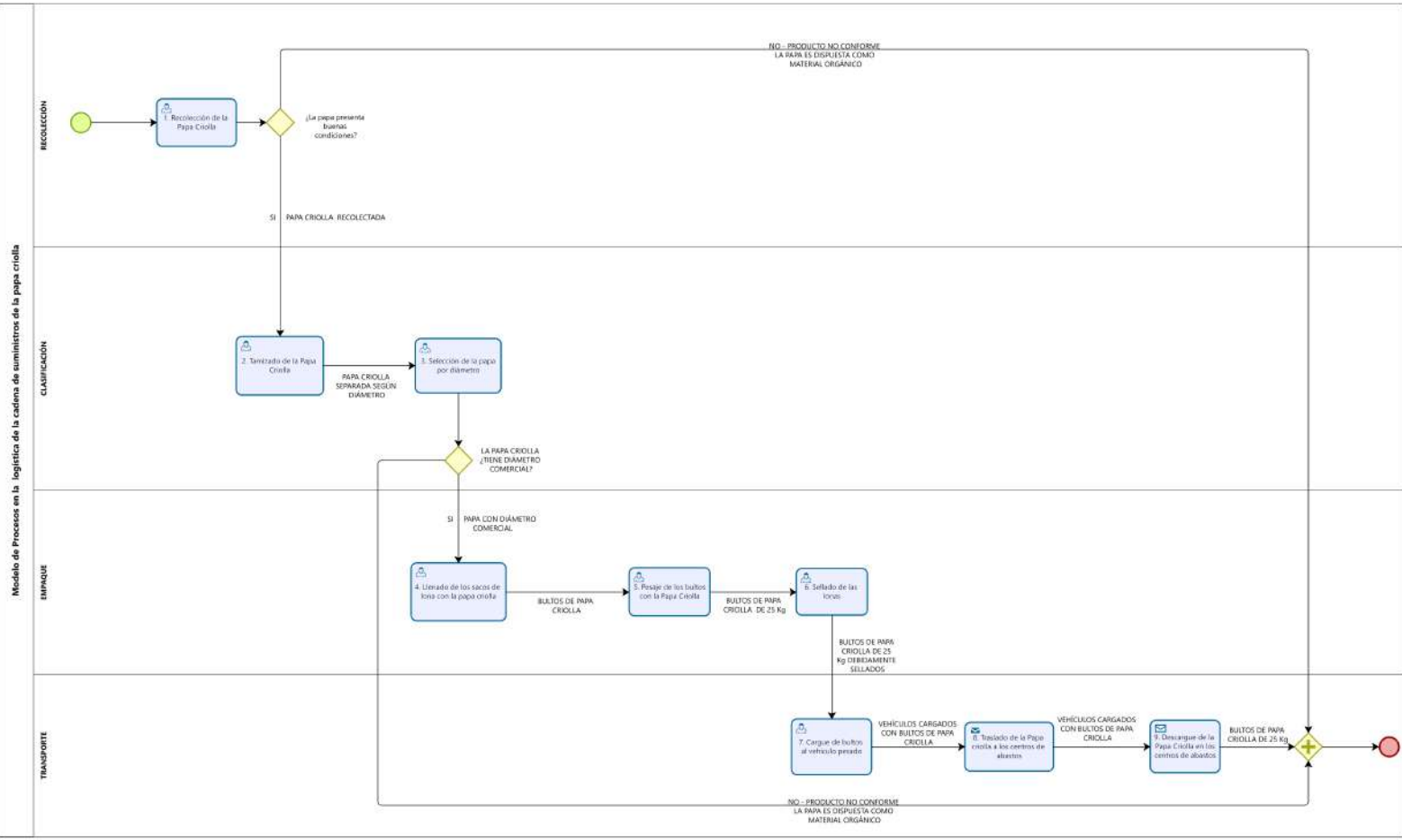
los cincuenta y tres viajes tienen una equivalencia de 2184,537 kilogramos de dióxido de carbono, 7,9503 gramos de óxidos de nitrógeno y metano, para el segundo trayecto desde Firavitoba, Boyacá hasta la plaza de mercado occidente de Tunja, las emisiones de los treinta y dos viajes tienen una equivalencia de 1264,088 kilogramos de dióxido de carbono, 4,600 gramos de óxido de nitrógeno y metano, finalmente para el tercer trayecto desde Firavitoba hasta la plaza de mercado de Sogamoso, las emisiones de los diecinueve viajes tiene una equivalencia de 61,817 kilogramos de dióxido de carbono, 0,2249 gramos de óxidos de nitrógeno y metano. Cabe resaltar que los recorridos hacen parte netamente de los desplazamientos necesarios para la distribución y comercialización de la papa criolla.

Como información adicional, según lo establecido en la ley 1972 de 2019, los sistemas de transporte regional a partir del año 2030 deberán implementar tecnología cero emisiones, esto con el principal objetivo de garantizar a la sociedad la protección a la salud y a un ambiente sano [26].

### **15.3 Propuesta de un modelo de procesos para la logística en la cadena de suministros del sector papicultor, que incluya los componentes técnicos, socioeconómicos y ambientales.**

El modelo de procesos para la logística de la cadena de suministros, se encuentra basado en diferentes etapas, siendo la primera la recolección de la papa criolla, la segunda la clasificación, la tercera el empaque y la cuarta el transporte. Cada una de las etapas cuenta con actividades en las cuales se proponen cambios o incluso se adicionan actividades en pro del mejoramiento del proceso. Teniendo en cuenta lo anterior, cada actividad se encuentra descrita por un conjunto de actividades que permiten mejorar aspectos técnicos, socioeconómicos y ambientales.

A continuación, se presenta el modelo de procesos evidenciando las actividades y cómo interactúan entre ellas mejorando lo encontrado al momento de realizar el diagnóstico, a continuación de igual forma se encuentran descritas las acciones de mejora a implementar en las actividades.



- **Recolección de la Papa Criolla**

De acuerdo con el manual de recomendaciones técnicas para el cultivo en el departamento de Cundinamarca, se recomienda al agricultor que los tubérculos recolectados no sean expuestos al sol y al viento en un tiempo prolongado de más de cuatro horas, ya que trae como consecuencia la pérdida de brillo en su piel, por ende, hace que disminuya su valor comercial y baje la calidad. Por lo anterior, es necesario que dicha actividad se haga en conjunto, es decir, un agricultor recolectando hasta veinticinco kilogramos de papa y el otro trasladando la papa criolla hacia la zona de tamizado.

- **Tamizado de la Papa Criolla**

Para el mejoramiento del proceso se decide implementar una nueva actividad en la primera etapa, posterior a la recolección de la papa criolla se propone la implementación de tamices metálicos, se usarán tres tamices de diámetros diferentes, el primero con un diámetro de seis centímetros, el segundo de cuatro centímetros y el tercero de dos centímetros, lo anterior con el fin de facilitar la clasificación de la papa, de tal forma que se obtenga una mayor exactitud en la separación de la papa por tamaño, puesto que para la comercialización de la papa es necesario tenerla de acuerdo con las características deseadas por quienes vayan a adquirir la papa.

El diámetro de los tamices se determinó a partir de estándares que se explicarán en la clasificación de la papa, ya que la categorización de la papa no solo se realiza por temas de satisfacción al cliente sino porque ayuda técnicamente al papicultor a identificar las cantidades de papa por tamaño que se están produciendo y de ese modo poder realizar una correcta gestión en las etapas posteriores, lo anterior en pro de obtener estándares físicos de calidad.

El costo de la implementación de esta nueva actividad es de \$430.000 pesos, este es el precio del set de 3 tamices - bandejas con los diámetros para seleccionar los tamaños de la papa criolla.

- **Selección de la papa por diámetro**

Para la etapa de selección de la papa, se tuvo en cuenta el diámetro del tubérculo, ya que respecto a su medida se determina su categoría, esta se

encuentra planteada por el manual de recomendaciones técnicas para el cultivo en el departamento de Cundinamarca y se establece de la siguiente manera; para papa criolla, si el diámetro del tubérculo es mayor a seis centímetros, su categoría es “cero”, si se encuentra entre los cuatro a seis centímetros, su categoría es “gruesa”, entre dos a cuatro centímetros es “pareja” y finalmente si su valor es menor es “riche”, esta última clasificación también abarca la papa criolla que se encuentra en mal estado, es decir, de muy baja calidad. Las papas criollas que deben ser utilizadas para el proceso de distribución y comercialización, son las de categoría “cero” y “gruesa”, ya que estas cumplen con las condiciones óptimas de venta, por otra parte, las papas criollas de categoría “pareja” y “riche” deben ser empleadas como abono para la tierra cultivada. Su clasificación es netamente necesaria ya que permite a los trabajadores aumentar la inocuidad en el tubérculo, garantizando una mayor calidad en el producto.

- **Llenado de sacos de lona con la papa criolla**

En esta etapa es importante tener en cuenta que los papicultores en el municipio de Firavitoba usaban lonas de 58,5 x 101,6 cm para el almacenamiento de la papa criolla, esto en términos de calidad presentaba un inconveniente ya que cuando la papa criolla se deja expuesta por más de 4 horas al ambiente puede comenzar a deteriorarse gracias a que la exposición directa al sol afecta el estado de la misma es por ello que para el empaque se decidió usar lonas más pequeñas que permitan agilizar el proceso de almacenamiento, el cambio de lonas junto con la implementación de tamices ahorra considerablemente el tiempo de empaque en  $\frac{3}{4}$  de lo que se demoraba sin la implementación de mejoras en esta actividad, es decir junto a la clasificación por medio de tamices y estado físico de la papa, y con la implementación de lonas de 45 x 75 cm se favorecerá el bienestar de la papa criolla y será más eficiente la ejecución de esta actividad.

- **Pesaje de los bultos con la Papa Criolla**

El pesaje por bulto de papa criolla debe realizarse por medio de una báscula, debido a que cada uno de estos no debe superar los veinticinco kilogramos, la cantidad específica por bulto será explicada con mayor claridad en la etapa de cargue de bultos al vehículo pesado. La estandarización de los volúmenes por costal permite una contabilización exacta del producto total y del peso que será cargado al camión, ya que es importante tener presente la capacidad de carga, por otra parte, también se logra controlar la calidad del producto ya que, al haber

menos peso por bulto, las papas criollas mantienen su forma inicial sin sufrir ningún tipo de deformidad por presión y aumenta su aireación, lo que evita posibles enfermedades en los tubérculos.

- **Sellado de las lonas**

Esta etapa del proceso no tendrá variaciones puesto que el cocido de las lonas con la papa criolla dentro de ellas será la misma ya que el cocido de los sacos no implica demoras o ineficiencia en el proceso que pueda afectar las actividades siguientes ya sea positivo o negativo.

- **Cargue de bultos al vehículo pesado**

En esta etapa del proceso se encuentra una importante mejora derivada de las anteriores actividades en la cuales se realizaron intervenciones para generar optimización y estandarización. Para el cargue de los bultos de papa criolla a los vehículos era necesario utilizar 5 obreros por cada fanegada únicamente para cargar el vehículo, esto teniendo en cuenta que cada bulto contiene 50 kg o más, con la estandarización del peso y la reducción del tamaño de los bultos se realizaron varias mejoras en términos de técnica e impacto físico en el personal. Con el modelo que vienen manejando los papicultores los obreros deben realizar grandes esfuerzos físicos arriesgando su salud física por las altas cargas a las cuales se ven sometidos, es por ello por lo que al tener bultos de 25 kilogramos ese esfuerzo y presión sobre la columna y hombros se verá reducida a la mitad.

Al ser una acción repetitiva el cargue del camión cada uno de los obreros tienen que someterse al cargue de 50 bultos cada uno ejerciendo una presión importante y peligrosa que genera riesgos en la salud. con la nueva distribución de los bultos cada camión tiene la capacidad de contener 103 bultos de 25 kg, teniendo en cuenta que la papa criolla ya está clasificada la actividad es más fácil para los obreros ya que pueden cargar según la ruta y el tamaño de la papa sin ninguna complicación cuidando su postura y siendo más eficientes.

la eficiencia en esta actividad se basa en el tiempo en el cual demoran en cargar un camión con los bultos de 50 kilogramos los papicultores debían de disponer de una hora, con los bultos de 25 kilogramos deben disponer de 55 minutos por camión eso quiere decir que el impacto en la salud de los trabajadores no solo

se ve reflejada en la carga ejercida sobre sus cuerpos, sino que también se ve reflejada en el tiempo en el cual están expuestos a la actividad repetitiva.

por otro lado, con el modelo actual de cargue de 50 kg o más la papa que se encontraba en la parte abajo sufrió daños por la presión ejercida tanto dentro de las lonas como por los bultos sobre ella ahora con la facilidad de acomodar los bultos dentro del contenedor del camión la papa siente menos presión y por ende se cuida el bienestar de la misma gracias a la disminución de las cargas ejercidas sobre las papas que se encuentran en la parte inferior.

- **Traslado de la Papa criolla a los centros de abastos**

El traslado de papa criolla contará con tres rutas principales, el punto de partida para todas será Firavitoba, el primer trayecto está encaminado hacia la ciudad de Bogotá, el segundo hacia el municipio de Tunja y el tercero hacia el municipio de Sogamoso, teniendo en cuenta el número de viajes que se deben hacer por cantidad de papa criolla, el costo, el tiempo y las emisiones generadas por cada uno de estos, se establece la contratación de vehículos con mayor capacidad de carga, es decir, se reemplazarían los camiones Mitsubishi canter modelo 2005 y Daihatsu delta modelo 2004, por un camión JQR Euro IV modelo 2022, ya que cuenta con una capacidad de 6.500 kilogramos, sus medidas son 7.410 milímetros de largo, por 2.100 milímetros de ancho, por 2.350 milímetros de alto. A continuación, se presentan los cálculos realizados para determinar la nueva capacidad en bultos por camión.

Ecuación 13 Capacidad en bultos por camión.

$$\text{Volúmenes} = \frac{741\text{cm} * 210\text{cm} * 235\text{cm}}{356616 \text{ cm}^3} = 102,54 \cong 103 \text{ bultos}$$

Fuente: Elaboración propia.

El resultado es de 103 bultos, es decir, es la capacidad máxima con la que se puede llenar cada camión, lo que equivale a 5.150 kilogramos, un valor que no sobrepasa la capacidad de carga del vehículo. Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, se procede a realizar los cálculos del nuevo número de viajes.

Ecuación 14 Número de viajes - Tunja.

$$\text{Número de viajes (Tunja)} = \frac{150.000 \text{ kg}}{5.150 \text{ kg}} = 29,12 \cong 29 \text{ viajes.}$$

Fuente: Elaboración propia.

Ecuación 15 Número de viajes - Bogotá.

$$\text{Número de viajes (Bogotá)} = \frac{90.000 \text{ kg}}{5.150 \text{ kg}} = 17,47 \cong 18 \text{ viajes.}$$

Fuente: Elaboración propia.

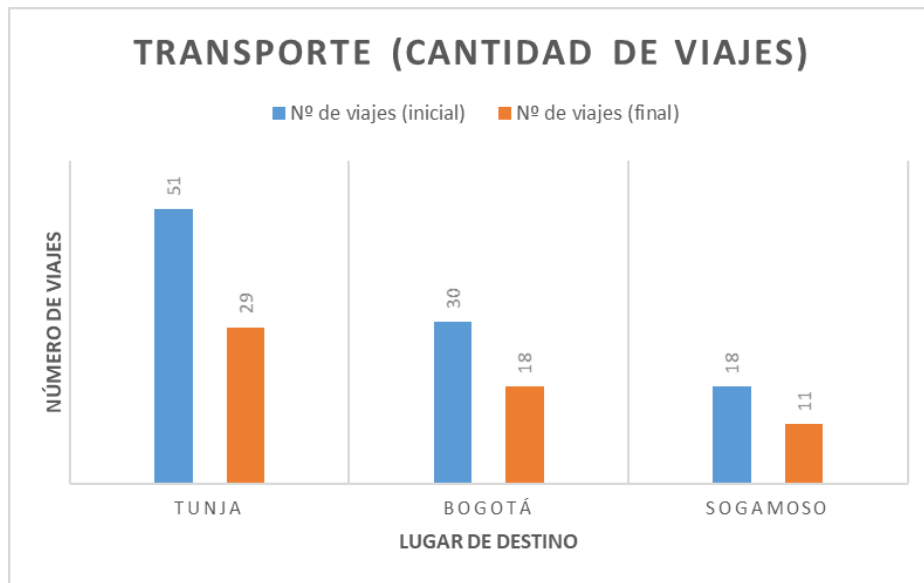
Ecuación 16 Número de viajes - Sogamoso.

$$\text{Número de viajes (Sogamoso)} = \frac{54.000 \text{ kg}}{5.150 \text{ kg}} = 10,48 \cong 11 \text{ viajes.}$$

Fuente: Elaboración propia.

Al momento de realizar los respectivos cálculos se determina que disminuye la cantidad de viajes, para el caso de Bogotá pasa de 53 viajes a 29 viajes, para Tunja pasa de 32 viajes a 18 viajes y para Sogamoso pasa de 19 viajes a 11 viajes, en base a lo anterior y realizando un inventario de gases efecto invernadero, se podría establecer que se logra una disminución en el impacto ambiental causado por gases efecto invernadero, además de costos en el transporte.

Gráfica 7 Transporte (cantidad de viajes).



Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de establecer un modelo sostenible, se propone adicionalmente la implementación de tecnologías al final del tubo, específicamente empleando un filtro de partículas Diésel “filtro L20”, el cual permite reducir las emisiones de hollín nocivo que provienen de los tubos de escape del vehículo.

- **Descargue de la Papa Criolla en los centros de abastos**

De igual forma como en la actividad de cargue de la papa criolla en el camión el descargue también favorece la salud de los obreros encargados de la descarga del camión, aunque esta actividad no está a cargo del papicultor es de importancia agregar el mejoramiento que se puede dar en la prevención de enfermedades a causa de actividades repetitivas que deban ejercer presión física sobre la salud de quien descargue el camión, los bultos de 25 kilogramos ayudarán a mantener higiene de postura al momento de hacer la fuerza para descargar el vehículo y con ello también favorecer las condiciones laborales.

Al momento de aplicar las mejoras en la cadena de suministro de papa, el costo por trayecto disminuyó debido a la implementación de camiones con mayor capacidad, teniendo en cuenta esto, el primer trayecto desde Firavitoba, Boyacá hasta abastos Bogotá, sumó en total un valor \$269,468 por trayecto, el segundo

trayecto desde Firavitoba, Boyacá hasta Tunja, sumó un valor de \$148,672 y finalmente el trayecto desde Firavitoba, Boyacá hasta la Sogamoso sumó un valor de \$102,212, los valores anteriormente mencionados, muestran una disminución en los costos debido a que el número de viajes resulta ser menor.

A continuación, en el **anexo 2** se presenta un gráfico el cual presenta la integración entre los aspectos y las actividades del proceso. Se puede presenciar mejora continua con la implementación de las actividades nuevas, acompañado de una matriz relacionando los beneficios de la implementación de mejoras en cada actividad, así mismo hay que aclarar que existen actividades y mejoras que no cuentan con beneficios en todos los aspectos puesto que la etapa puntual tiene un enfoque asociado a algún componente sin embargo dentro de la integralidad si se ven reflejados mejoras en todos los componentes y el modelo de mejora en la cadena integralmente si afecta positivamente los componentes relacionados

Finalmente se realizó una simulación con el software Flexim el cual permite mostrar gráficamente como se visualiza el proceso antes y después de la implementación de las etapas. En el anexo 4 se encontrará un antes de la implementación y en el anexo 5 un después, es de aclarar que la simulación nos permite ver como se puede evidenciar los cambios visualmente sin embargo para determinar variables y mediciones se requiere de recursos económicos y de tiempo para realizar un estudio a fondo de los resultados posterior a la implementación del modelo, y con ello poder definir ajustes en la implementación que favorezcan los componentes mencionados en el modelo sostenible de mejoramiento del proceso.

## 16. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 16.1 Conclusiones

- Mediante el proyecto de investigación realizado se pudo establecer el diagnóstico inicial del municipio de Firavitoba, Boyacá, abarcando la identificación de cada una de las etapas del proceso de logística en la cadena de suministro y costos de transporte, esto permitió establecer un punto de partida para la contribución de mejoras.
- A través de la medición de huella carbono, se pudo identificar la cantidad de contaminantes emitidos al aire tales como dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y metano, a causa de las actividades de transporte y distribución, es importante resaltar que el empleo de tecnologías al final del tubo, para este caso, los filtros de partículas diésel para camiones, y la disminución en los trayectos, podrían representar un aporte en la reducción de huella de carbono.
- La calidad e inocuidad de la papa mejorará a partir de la clasificación por diámetro ya que esta permitirá ser más exigentes en el cuidado de la calidad de la papa criolla, siendo la clasificación un aspecto de mejora puesto que al tener la optimización en la recolección se podrá destinar mejor el producto según las necesidades de los consumidores.
- La estandarización del modelo permitió generar la etapa del pesaje, esta resulta ser importante ya que permite a los trabajadores contabilizar de forma más exacta la cantidad de papa criolla producida, la cantidad de transportada en el camión y adicionalmente mejora las condiciones laborales del trabajador, debido a que él mismo no debe someterse a grandes esfuerzos.
- Con la implementación de la reducción de los pesos de los bultos mejorará la calidad laboral e higiene de postura de las personas encargadas de la logística en el cargue y descargue de los vehículos puesto que esta reducción favorece la postura y reduce la presión sobre las cargas ejercidas en el cuerpo de los trabajadores.
- Con la implementación del modelo en sus etapas finales es correcto afirmar que disminuyen la cantidad de viajes necesarios para realizar el transporte de la papa criolla dando como resultado una disminución de aproximadamente el 46% del precio del transporte.

## 16.2 Recomendaciones

- Se recomienda asignar los recursos económicos necesarios para implementar en el municipio de Firavitoba, Boyacá, el modelo de logística sostenible en la cadena de suministro del sector papicultor, ya que de acuerdo con lo investigado permite la mejora técnica, ambiental y socioeconómica de la actividad productiva, adicionalmente, es importante que se capacite a los trabajadores por medio de cursos, para que estos se encuentren actualizados con nuevas técnicas que permitan la mejora continua del proceso.
- Después de haber aplicado empíricamente el modelo logístico, se recomienda realizar nuevamente un cálculo de huella de carbono para los gases dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y metano, esto con el fin de establecer el dato de emisiones y poder ser comparado con el dato de emisiones obtenido antes de implementar el modelo.
- Se recomienda realizar una intervención en las técnicas de cargue de los bultos de la papa criolla ya que los trabajadores que se encuentran realizando dicha actividad pueden presentar enfermedades a causa de mala postura al realizar las fuerzas, además de ellos las altas cargas de peso a las que se ven expuestos son peligrosas ya que sin la higiene de postura correcta pueden presentar lesiones en la columna y enfermedades asociadas a la mala técnica de cargue de peso.

## 17. REFERENCIAS.

- [1] ICA, «Instituto Colombiano Agropecuario - ICA», *ICA*, 12 de junio de 2020. <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-productores-papa-trabajan-sanidad-boyaca> (accedido 3 de septiembre de 2022).
- [2] Minagricultura, «Sector Agropecuario, Marco Nacional de Cualificaciones Colombia.» Eco Emprendedores Creativos S.A.S., 2017. [En línea]. Disponible en: [https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-362822\\_recurso.pdf](https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-362822_recurso.pdf)
- [3] Dane, «PIB, Principales resultados 2021 II, Trimestre». 17 de agosto de 2021. [En línea]. Disponible en: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/presen\\_rueda\\_de\\_prensa\\_PIB\\_IITrim21.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/presen_rueda_de_prensa_PIB_IITrim21.pdf)
- [4] R. Navarro, «El sector agropecuario creció 3,8% en el PIB del segundo trimestre de 2021», *Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural*, 17 de agosto de 2021. <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/El-sector-agropecuario-creci%C3%B3-3,8-en-el-PIB-del-segundo-trimestre-de-2021.aspx> (accedido 3 de septiembre de 2022).
- [5] E. L. R. S.A.S, «“La informalidad en el sector papicultor colombiano está por encima de 90%”», *Agronegocios*, 12 de junio de 2020. <https://www.agronegocios.co/agricultura/la-informalidad-en-el-sector-papicultor-colombiano-esta-por-encima-de-90-3017569> (accedido 3 de septiembre de 2022).
- [6] «Precio de la papa: esto dice el coordinador de Corabastos sobre costos - Finanzas Personales - Economía - ELTIEMPO.COM», *El tiempo*, 9 de febrero de 2022. <https://www.eltiempo.com/economia/finanzas-personales/precio-de-la-papa-esto-dice-el-coordinador-de-corabastos-sobre-costos-650400> (accedido 3 de septiembre de 2022).
- [7] A. Granados y Guzmán, Andrea, «Plan estratégico de recolección, empaque y distribución de papa y cebolla en el tramo Boyacá- Bogotá». 2003. [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/71418781.pdf>
- [8] D. Capiro y P. Pastusa, «PRINCIPALES VARIEDADES COMERCIALIZADAS»: n.º 02, p. 6, 2019.
- [9] K. Govindan, A. Jafarian, R. Khodaverdi, y K. Devika, «Two-echelon multiple-vehicle location-routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food», *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 152, pp. 9-28, 2014, doi: 10.1016/j.ijpe.2013.12.028.
- [10] D. Dalalah, S. A. Khan, Y. Al-Ashram, S. Albeetar, Y. A. Ali, y E. Alkhouli, «An integrated framework for the assessment of environmental sustainability in wood supply chains», *Environ. Technol. Innov.*, vol. 27, 2022, doi: 10.1016/j.eti.2022.102429.

- [11] E. G. R. Guevara, «La gestión de la cadena de suministro sostenible en la industria alimenticia», *AD-Minist.*, n.º 33, pp. 113-134.
- [12] M. Bortolini, F. Calabrese, F. G. Galizia, y C. Mora, «A three-objective optimization model for mid-term sustainable supply chain network design», *Comput. Ind. Eng.*, vol. 168, p. 108131, jun. 2022, doi: 10.1016/j.cie.2022.108131.
- [13] M. Bonilla, F. Puentes, y A. Morales, «Agenda Prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la papa en Colombia, énfasis papa criolla.» 2009. [En línea]. Disponible en: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Normatividad/2009-12-20%20Agenda%20prospectiva%20papa%20criolla.pdf>
- [14] «Modelo de desarrollo sostenible: Qué es - Energya», *Enérgya. VM*, 15 de enero de 2019. <https://www.energyavm.es/modelo-de-desarrollo-sostenible-que-es/> (accedido 3 de septiembre de 2022).
- [15] «Derecho del Bienestar Familiar [RESOLUCION\_MINAMBIENTEDS\_1377\_2015]». [https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion\\_minambienteds\\_1377\\_2015.htm](https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambienteds_1377_2015.htm) (accedido 3 de septiembre de 2022).
- [16] «Aspectos Ambientales Significativos», *Aspectos ambientales significativos*, 2012. <https://sig.unad.edu.co/gestion-ambiental/aspectos-ambientales-significativos> (accedido 3 de septiembre de 2022).
- [17] «¿Qué es el impacto ambiental y cómo se mide?», *Grupo MAPFRE Corporativo - Acerca de MAPFRE*, 15 de octubre de 2020. <https://www.mapfre.com/actualidad/sostenibilidad/impacto-ambiental/> (accedido 3 de septiembre de 2022).
- [18] Kyocera, «Optimización de procesos: Técnicas y herramientas | Kyocera», *Kyocera*, 2020. <https://www.kyoceradocumentsolutions.es/es/smarter-workspaces/business-challenges/procesos/optimizacion-de-procesos-tecnicas-y-herramientas.html> (accedido 3 de septiembre de 2022).
- [19] J. Pau i Cos y N. y G. R. De, *Manual de logística integral*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2008.
- [20] Ingeniería, Geología y Perforaciones. IGP Ltda., «Esquema de Ordenamiento Territorial- Municipio de Firavitoba.» [En línea]. Disponible en: <https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/123456789/10198/3982-8.pdf?sequence=8&isAllowed=y>
- [21] «FACTORES DE EMISIÓN – Observatorio Ambiental de Cartagena de Indias». <https://observatorio.epacartagena.gov.co/gestion-ambiental/seguimiento-y-monitoreo/protocolo-monitoreo-calidad-del-aire-en-la-ciudad-de-cartagena/factores-de-emision/> (accedido 3 de septiembre de 2022).

- [22] Alcaldía, «Alcaldía Municipal de Firavitoba», 2022. <http://www.firavitoba-boyaca.gov.co/> (accedido 3 de septiembre de 2022).
- [23] Autocasión, «MITSUBISHI Canter FE 734 DI-D 16v 2950 2p 2005 | Ficha técnica, precio y medidas | Autocasión». <https://www.autocasion.com/marcas/mitsubishi/canter-industrial/canter-fe-734-di-d-16v-2950-2-puertas-31279> (accedido 3 de septiembre de 2022).
- [24] «Daihatsu Delta Mc - \$ 42.500.000». [https://articulo.tucarro.com.co/MCO-920794113-daihatsu-delta-mc-\\_JM](https://articulo.tucarro.com.co/MCO-920794113-daihatsu-delta-mc-_JM) (accedido 3 de septiembre de 2022).
- [25] «PROTOCOLO MONITOREO CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE CARTAGENA – Observatorio Ambiental de Cartagena de Indias». <https://observatorio.epacartagena.gov.co/gestion-ambiental/seguimiento-y-monitoreo/protocolo-monitoreo-calidad-del-aire-en-la-ciudad-de-cartagena/> (accedido 3 de septiembre de 2022).
- [26] Congreso de Colombia, «Ley 1972 - 2019». 18 de julio de 2019. [En línea]. Disponible en: <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%201972%20DE%20L%2018%20DE%20JULIO%20DE%202019.pdf>
- [27] S. Chopra, P. Meindl, A. S. Fernandez Molina, y M. del P. Carril Villarreal, *Administración de la cadena de suministro: estrategia, planeación y operación*, 3a ed. México: Pearson Educacion, 2008. [En línea]. Disponible en: <http://up-rid2.up.ac.pa:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1340/Administraci%C3%B3n%20de%20la%20cadena%20de%20suministro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [28] «Asamblea General de las Naciones Unidas», *Asamblea General de las Naciones Unidas*. <https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml> (accedido 3 de septiembre de 2022).
- [29] E. L. R. S.A.S, «El cultivo de papa criolla merece buen ambiente», *Diario La República*. <https://www.larepublica.co/archivo/el-cultivo-de-papa-criolla-merece-buen-ambiente-2021725> (accedido 3 de septiembre de 2022).
- [30] «La sostenibilidad en el diseño de cadenas de suministro de biocombustibles». [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-33242015000100005](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242015000100005) (accedido 3 de septiembre de 2022).
- [31] Minambiente, «Resolución 909/2008». 5 de junio de 2008. [En línea]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527650/Resolucion+909+de+2008.pdf/a3bcdf0d-f1ee-4871-91b9-18eac559dbd9>

- [32] V. Montoya, C. Puerta, y L. González, «El componente social en los sistemas de monitoreo ambiental». 3 de diciembre de 2010. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169419996005.pdf>
- [33] S. Beer y C. Lemmer, «A critical review of “green” procurement: Life cycle analysis of food products within the supply chain», *Worldw. Hosp. Tour. Themes*, vol. 3, n.º 3, pp. 229-244, ene. 2011, doi: 10.1108/17554211111142194.
- [34] P. Beske, A. Land, y S. Seuring, «Sustainable supply chain management practices and dynamic capabilities in the food industry: A critical analysis of the literature», *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 152, pp. 131-143, jun. 2014, doi: 10.1016/j.ijpe.2013.12.026.
- [35] R. Cagliano, C. G. Worley, y F. F. A. Caniato, «The Challenge of Sustainable Innovation in Agri-Food Supply Chains», en *Organizing Supply Chain Processes for Sustainable Innovation in the Agri-Food Industry*, vol. 5, Emerald Group Publishing Limited, 2016, pp. 1-30. doi: 10.1108/S2045-060520160000005009.
- [36] C. Carter, «A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory | Emerald Insight», *Emerald*. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/09600030810882816/full/html> (accedido 3 de septiembre de 2022).
- [37] P. Ahi y C. Searcy, «A comparative literature analysis of definitions for green and sustainable supply chain management», *J. Clean. Prod.*, vol. 52, pp. 329-341, ago. 2013, doi: 10.1016/j.jclepro.2013.02.018.
- [38] P. Acosta, O. Delbard, y A. Acquier, «(PDF) Just Do It? The Adoption of Sustainable Supply Chain Management Programs from a Supplier Perspective», 2014. [https://www.researchgate.net/publication/269285212\\_Just\\_Do\\_It\\_The\\_Adoption\\_of\\_Sustainable\\_Supply\\_Chain\\_Management\\_Programs\\_from\\_a\\_Supplier\\_Perspective](https://www.researchgate.net/publication/269285212_Just_Do_It_The_Adoption_of_Sustainable_Supply_Chain_Management_Programs_from_a_Supplier_Perspective) (accedido 3 de septiembre de 2022).
- [39] «(PDF) Analysis of interaction between the barriers for the implementation of sustainable supply chain management». [https://www.researchgate.net/publication/257337769\\_Analysis\\_of\\_interaction\\_between\\_the\\_barriers\\_for\\_the\\_implementation\\_of\\_sustainable\\_supply\\_chain\\_management](https://www.researchgate.net/publication/257337769_Analysis_of_interaction_between_the_barriers_for_the_implementation_of_sustainable_supply_chain_management) (accedido 3 de septiembre de 2022).
- [40] M. Medina, D. Villalba, y J. Carrasco, «FACTORES DE EMISIÓN CONSIDERADOS EN LA HERRAMIENTA DE CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO CORPORATIVA MVC COLOMBIA». 2016. [En línea]. Disponible en: [https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella\\_carbono/feb12/18Anexo\\_17Factores\\_emision\\_herramienta\\_MCV\\_V6.pdf](https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/feb12/18Anexo_17Factores_emision_herramienta_MCV_V6.pdf)
- [41] MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA, «GUÍA PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO Y PARA LA ELABORACIÓN DE

- UN PLAN DE MEJORA DE UNA ORGANIZACIÓN». [En línea]. Disponible en: [https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia\\_huella\\_carbono\\_tcm30-479093.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf)
- [42] «Camión JQR Power», *Jac Motors*.  
<https://jacmotors.com.co/producto/camion-jqr-power/> (accedido 3 de septiembre de 2022).
- [43] «Guía para elaboración o actualización de inventarios de emisiones de GEI en ciudades colombianas | WWF».  
<https://www.wwf.org.co/?366671/Guia-para-elaboracion-o-actualizacion-de-inventarios-de-emisiones-de-GEI-en-ciudades-colombianas> (accedido 3 de septiembre de 2022).
- [44] C. Malaver y N. Malaver, «CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR AGRICOLA DEL MUNICIPIO DE FIRAVITOBA». 2017. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2216/1/TGT-818.pdf>

## 16. ANEXOS

- Anexo 1 Diagrama Diagnóstico
- Anexo 2 Metodología de mejoramiento
- Anexo 4 Simulación flexim gráfica diagnóstica
- Anexo 5 Simulación flexim gráfica con la implementación
- Anexo 6 resultados encuesta
- Anexo 7 audio - entrevista