

**Propuesta de un modelo matemático que permita mejorar el desempeño de la cadena logística de abastecimiento del banano en la región del Magdalena**



Daniel Naizir Campo; Víctor Manuel Lozano  
Noviembre 2023

Universidad Antonio Nariño.  
Bogotá D.C.

# **Propuesta de un modelo matemático que permita mejorar el desempeño logístico de la cadena de suministro del banano en la región del Magdalena**

Daniel Naizir Campo, Víctor Manuel Lozano  
Noviembre 2023

Universidad Antonio Nariño.  
Bogotá D.C.

## **Notas del autor**

Daniel Naizir Campo, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Antonio Nariño, Bogotá D.C.

Víctor Manuel Lozano, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Antonio Nariño, Bogotá D.C.

Este proyecto tiene colaboración la con la sede Antonio Nariño santa Marta.

## **Nota de Aceptación**

Nombre y firma jurado 1

---

Nombre y firma jurado 2

---

Nombre y firma presidente

---

Nombre y firma secretario

---

## **Dedicatoria**

“Trabaja por el trabajo, no por ti mismo. Actúa, pero no te apegues a tus acciones. Sé en el mundo, pero no en él”. - Bhagavad Gita

## **Agradecimientos**

Este proyecto es el resultado de la ardua labor de todo el personal del semillero de investigación titulado “Propuesta de un modelo matemático que permita mejorar el desempeño logístico de la cadena de suministro del banano en la región del Magdalena” a todos ellos mis más profundos agradecimientos por brindarme la oportunidad de participar en esta investigación

Gracias a todo el grupo de ingenieros: ingeniero Rick Acosta Vega, ingeniero Luis Othón Gómez Rueda expreso mis agradecimientos por el apoyo técnico en este extenso trayecto.

Agradezco especialmente al ingeniero José Manuel Medina Basto y Nolan Sánchez Tovar por toda la paciencia y dedicación brindada durante la ejecución del proyecto, siendo un ejemplo de disciplina y paciencia para mí.

Asimismo, le agradezco al personal de la facultad de ingeniería industrial sede Bogotá especialmente a la ingeniera Elsy Natalia Chaparro Hernández por toda la colaboración en las diferentes inquietudes con respecto al modelo y su programación.

Pero sobre todo agradezco enormemente a Dios, por guiarme y ser luz a lo largo de los años que cursé esta bonita carrera, y no dejarme rendirme ni desfallecer ante las adversidades presentes a lo largo del camino.

## Resumen

La cadena de suministro en la zona bananera del Magdalena, es un asunto de mucha importancia para este departamento, puesto que los malos procedimientos logísticos tanto en su abastecimiento y malas prácticas agrícolas afectan al comercio nacional e internacional, así como también a las fincas productoras, las cuales podrían verse afectadas principalmente en grandes pérdidas materias para el campesino y grandes bajas de PIB de la zona. En Colombia el banano ha sido un producto de exportación y consumo interno del País beneficiando la economía general del País y de la zona que lo produce, el cual se cosecha por la mayor de las partes en el Urabá Antioqueño y el Magdalena. En este proyecto nos centramos en la zona bananera del Magdalena debido a que en esta zona a raíz de un diagnóstico se presentaron problemas en tres eslabones fundamentales de la cadena de suministro, las cuales son la producción (finca), transporte, comercializador (centro de acopio). Teniendo en cuenta que el segundo mayor productor de banano es el departamento del Magdalena con aproximadamente 12,256 hectáreas sembrada en la mayoría de las veces no alcanza a cumplir la demanda del comercializador generando una insatisfacción.

Este proyecto tiene como objetivo proponer un modelo matemático que se adapte a las distintas clases de comercializadores y de esta manera se le permita identificar al dueño de la finca cuál de los tipos de banano es más óptimo de producir, reduciendo las pérdidas o desechos en las fincas y transporte del cultivo por las malas prácticas agrícolas y de trasportarte generando pérdidas para el sector bananero y para población. Cabe resaltar que este modelo está bajo el enfoque de una “Maximización” de las fincas, es decir, que permita identificar a los posibles cultivadores en toda la zona bananera la necesidad del comerciante, teniendo en cuenta las restricciones que sostiene el modelo brindando la cantidad del producto, el tipo de banano por hectárea, su gastos directos e

indirectos como la del tipo de empaçado y transporte para maximizar las utilidades del productor y garantizando la calidad el banano al lugar de destino.

***Palabras Clave:*** Modelo matemático, logística, distribución, alimentos perecederos, cadena de abastecimiento.

### ***Abstract***

The supply chain in the Magdalena banana area is a matter of great importance for this department, since poor logistical procedures in both supply and poor agricultural practices affect national and international trade, as well as the producing farms. which could be affected mainly by large material losses for the farmer and large drops in GDP in the area. In Colombia, bananas have been a product of export and internal consumption of the Country, benefiting the general economy of the Country and the area that produces it, which is harvested for the most part in Urabá Antioqueño and Magdalena. In this project we focus on the Magdalena banana area because in this area, as a result of a diagnosis, problems arose in three fundamental links of the supply chain, which are production (farm), transportation, marketer (marketing center). gathering). Taking into account that the second largest producer of bananas is the department of Magdalena, with approximately 12,256 hectares planted, most of the time it is not able to meet the marketer's demand, generating dissatisfaction.

This project aims to propose a mathematical model that adapts to the different types of marketers and in this way allows the owner of the farm to identify which of the types of banana is most optimal to produce, reducing losses or waste in the farms and transportation of the crop due to poor agricultural and transportation practices, generating losses for the banana sector and the population. It should be noted that this model is under the approach of “Maximization” of the

farms, that is, it allows the identification of potential growers throughout the banana area, the need of the merchant, taking into account the restrictions that the model supports by providing the quantity of the product, the type of banana per hectare, its direct and indirect expenses such as the type of packaging and transportation to maximize the producer's profits and guarantee the quality of the banana to the destination.

Keywords: Mathematical model, logistics, distribution, perishable foods, supply chain.



## Tabla de contenido

|  |    |
|--|----|
| Introducción   | 1  |
| Línea de Investigación   | 3  |
| Semillero de Investigación   | 4  |
| Planteamiento del problema   | 5  |
| Antecedentes del problema  | 5  |
| Descripción del Problema   | 8  |
| Formulación del problema   | 14 |
| Justificación  | 14 |
| Objetivos  | 15 |
| General  | 15 |
| Específicos  | 15 |
| Marco Referencial  | 16 |
| Antecedentes   | 16 |
| Marco Teórico  | 21 |
| Modelos matemáticos lineales.  | 21 |
| Cadena de suministro.  | 21 |
| Logística de la producción banano colombiano   | 22 |
| Indicadores del desempeño logística  | 24 |
| Marco Conceptual   | 25 |
| Logística  | 25 |
| Cadena de suministro   | 26 |
| Modelo Matemático  | 27 |
| Alimentos perecederos  | 27 |
| Marco Geográfico   | 28 |
| Marco Legal  | 28 |
| Marco Académico  | 30 |
| Relación con las líneas de investigación de la Facultad  | 30 |
| Relación con la misión del programa de Ingeniería Industrial   | 30 |
| Relación con la visión del programa de Ingeniería Industrial   | 30 |
| Relación con los Objetivos del programa de Ingeniería Industrial   | 31 |
| Asignaturas del programa aplicadas en el trabajo de grado  | 31 |
| Diseño Metodológico  | 32 |
| Tipo y Enfoques de Investigación   | 32 |
| Fases y Actividades Metodológicas  | 32 |
| Objetivo del Específico 1: Diagnosticar los diferentes escenarios actuales que se producen dentro de la cadena de suministro del banano en el Magdalena  | 34 |
| Objetivo del Específico 2: Diseñar un modelo matemático adecuado para optimizar el desempeño logístico de la cadena de suministro del banano garantizando la integridad del producto hasta el centro de acopio | 39 |
| Diseño del modelo matemático   | 39 |
| Modelo de maximización.  | 42 |
| Identificación de parámetros, variables y restricciones.   | 43 |

|   |    |
|---|----|
|   | 10 |
| Objetivo del Específico 3: Validación del modelo matemático en función de los indicadores económicos claves del proceso actuales respecto a los obtenidos | 48 |
| Anotación 1   | 48 |
| Anotación 2   | 50 |
| Escenario Critico   | 54 |
| Escenario Medio   | 56 |
| Escenario bueno   | 58 |
| Anotaciones 3   | 59 |
| Conclusiones  | 62 |
| Recomendaciones   | 65 |
| Bibliografía  | 67 |
| Anexos  | 1  |
| Anexo 1 Diagnóstico de posibles modelos a aplicar para la cadena de abastecimiento  | 1  |

### Lista de Tablas

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1 Estadísticas de áreas sembradas, producción y rendimiento                                 | 20 |
| Tabla 2 Resultados obtenidos de insatisfacción en eslabones de la cadena de suministro del banano | 32 |
| Tabla 3 Costos de variables de mano de obra durante un mes  | 42 |
| Tabla 4 Costo de herramienta e insumos  | 43 |
| Tabla 5 Costo anotación 1 y 2   | 45 |
| Tabla 6 Diagramas de modelos para la postulación del primer objetivo                              | 1  |

### Lista de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 Principales Exportadores de Banano 2018  | 6  |
| Figura 2 Zonas Productoras de banano 2018   | 6  |
| <b>Figura 3</b> Baja competitividad de la cadena de suministro del banano en el Magdalena | 8  |
| Figura 4 Esquema de la cadena de suministro   | 18 |
| Figura 5 Esquema logístico del banano   | 22 |
| Figura 6 Cadena de suministro   | 23 |
| Figura 7 Diagrama de insatisfacción en la cadena de suministro                            | 32 |

## **Introducción**

La cadena de suministro de la zona bananera del Magdalena está presentando problemas logísticos en tres eslabones fundamentales: las fincas, el transporte y los centros de acopio, se estima que de su 100% de productividad solo se exporta el 53,33%, unas 864.464 toneladas de banano tipo exportación, el excedente 46,67% quedan en las fincas es decir 406,298 toneladas y ese 46,67% solo el 30% es decir, solo entran 285,009 toneladas al mercado nacional ya que este no cumple las condiciones reglamentarias para ser un banano de exportación por diversos escenarios y 121,889 toneladas faltantes en el mayor de las casos se pierde en la postcosecha o en las fincas por falta de compradores. Además, el transporte es ineficiente por el mal estado de las vías y las dificultades de las vías terciarias que presenta la zona lo que genera pérdidas significativas 10% del transporte de insumo, lo que aumentan los costos tanto de suministros como del banano cosechado en un 28%.

El banano una vez cosechado debe transportarse en unas condiciones óptimas para preservar la calidad del producto, pero el desconocimiento de estas condiciones por parte de los campesinos y transportadores genera unas pérdidas del 33% del producto, todo esto ha generado una gran inconformidad por parte de las empresas internacionales que se encargan de la compra y comercialización del banano.

El objetivo principal de este proyecto de grado es proponer un modelo matemático bajo el enfoque de sistemas dinámicos y estudio de variables, buscando mejorar el tiempo, los costos y aumentar la productividad de banano criollo a tipo de exportación.

En primera instancia se diagnosticó a los actores que están generando problemas en la cadena de suministro de la zona del Magdalena, identificando variables, limitaciones, actores en las operaciones que se realizan para obtener un banano de exportación, seguido a esto con fuentes tanto primarias como secundarias se procederá a buscar modelos matemáticos que se puedan acoplar a las distintas necesidades de estos eslabones.

**Línea de Investigación**

La propuesta tiene como principal objetivo la investigación e innovación de la capacidad de adaptación de los productores a las exigencias del mercado, articulándose mediante propuesta de ciencia y tecnología, el cual ha sido subvalorada e invisibilizada en el tiempo; Así mismo, sufre de la omisión de su impacto en el desarrollo local, regional y nacional, justificado en gran medida por la inexistencia de este tipo de estudios, de estadísticas formales del sector y por la falta de facilidades productivas para su competitividad a niveles departamentales, regional, nacional e internacional. Por lo tanto, esta importante iniciativa de carácter técnico-científico, representa una serie de esfuerzos interdisciplinarios e interinstitucionales para fortalecer y diagnosticar esta cadena de valor; estimar sus niveles de productividad y de valor agregado tanto en generación como en la distribución del banano; además de diseñar estrategias para la cadena de suministro del banano en ciudad de Santa Marta y modelos operativos, a fin de fortalecer la capacidad productiva de este sector.

### **Semillero de Investigación**

Este proyecto se lleva a cabo con la sede Santa Marta de la Universidad Antonio Nariño, está vinculado con el semillero de investigación, donde está siendo monitorizado por el profesor Rick Acosta Vega y profesor Luis Othón Gómez Rueda, cuyo proyecto tiene como título “Propuesta de un modelo matemático que permita mejorar el desempeño logístico de la cadena de suministro del banano en la región del Magdalena”.

## **Planteamiento del problema**

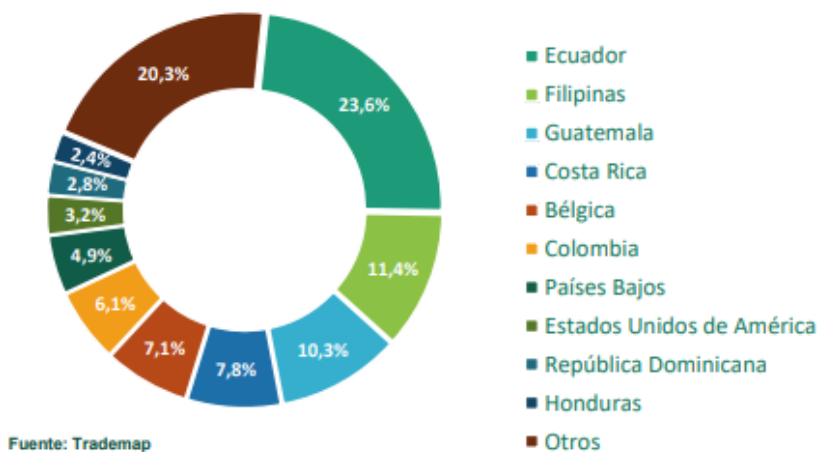
### **Antecedentes del problema**

El sector bananero es uno de los sectores con mayor influencia del mercado internacional, según datos otorgados por (Minagricultura, 2021) “en el año 2018 el banano de exportación a nivel mundial generó un total de USD 13.193 millones con 24,346,023 toneladas de banano producido en ese año, representando un crecimiento de 18,6% con respecto al año 2017 con una productividad de 22.833.Ж toneladas de banano generando ganancias de USD 11.121 millones”.

En Colombia, el sector bananero representó el 0,4% del PIB del año 2020 generando un 3% de las exportaciones totales y el 6% de las no tradicionales (Finagro). Siendo una de las industrias con menos participación en el país comparada con los sectores de producción de café, metales, entre otros. Según (Minagricultura, 2021) “Los principales productores de banano de exportación son los departamentos de Antioquia, Magdalena y Guajira, registrando una producción del 87% del país” la cual posiciona a Colombia en el quinto lugar como exportador de banano evidenciada en la Ilustración 1 con una participación del 6,1% con respecto a Ecuador, Filipinas, Guatemala, Costa Rica y Bélgica los cuales tienen mayor participación en el mercado de exportación del banano. Teniendo que en Colombia las zonas de producción del banano son seis, quienes se encuentran repartidas entre departamentos y municipios tal se muestra en el mapa de producción de la zona bananera Ilustración 2, No obstante, en esa misma ilustración se muestra que los malos procedimientos logísticos y las malas prácticas agrícolas relacionadas con la cadena logística de suministro y extracción del producto, generan baja competitividad en el

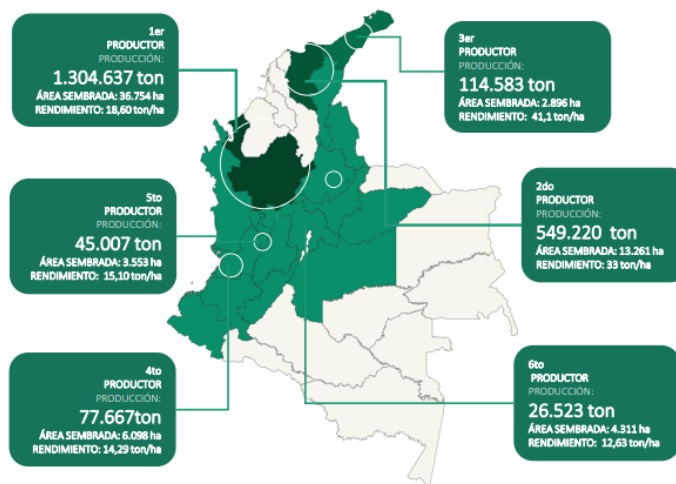
mercado nacional e internacional formando una gran brecha para cumplir las necesidades de un mercado bastante competitivo.

**Figura 1 Principales Exportadores de Banano 2018**



*Nota.* Principales países exportadores. Tomado de: Minagricultura cadena de banano 2020

**Figura 2 Zonas Productoras de banano 2018**



*Nota.* Volumen de producción en toneladas. Tomado de: Minagricultura cadena de banano 2020



En la cadena de suministro del banano se presentan grandes retos por la falta de materia prima, lo cual se ve reflejado en la planeación del cultivo y de la misma forma de distribución de este. También factores secundarios, como el clima, plagas y el mal almacenamiento del producto e insumos químicos, afectan los costos productivos y de transporte, sumado a esto cifras otorgadas por (Minagricultura, Producción mundial de Banano, 2020) y (Finagro) dentro de la cadena de suministro exactamente en las fincas se han reportado pérdidas de 10% a 30% de la producción lo que representa más o menos una cantidad de 121,889 toneladas, factores como las malas prácticas agrícolas, la dispersión geográfica de los productores generan incertidumbre a la hora de organizar los procesos de transporte donde se puede perder desde un 5% hasta un 33% por un mal manejo del producto a la hora de transportarlo a los diferentes centros de distribución sea nacional o internacional generando insatisfacción del cliente por la calidad del producto en venta y que los porcentajes de paridad aumente ya que estos pueden llegar a variar según el tipo de banano y transporte.

Según la (CADENAPRODUCTIVADELPLÁTANO, 2019). “Lo que hace pertinente concluir con un estudio del diagrama de la cadena de abastecimiento del banano, que permita mejorar esos procesos logísticos que están fallando, asegurando que el producto final que se esté seleccionado por las diferentes características que requieren los diferentes mercados como son tamaño, forma, color, maduración, etc”. Por esta razón, generar un modelo matemático que permita analizar estrategias de producción, almacenamiento y distribución, en la cadena de suministro de banano, conllevará a mejorar la rentabilidad disminuyendo los márgenes de desperdicios en las fincas y transporte, así como los

parámetros de calidad para la cosecha, propuestos por la asociación de bananeros del Magdalena (Asbama), y los tiempos de salidas del producto ya cosechado para la distribución de su rutas nacional e internacional disminuyendo las pérdida mencionadas anteriormente del producto hacia los distintos destinos. (Gamboa Ocampo, 2012).

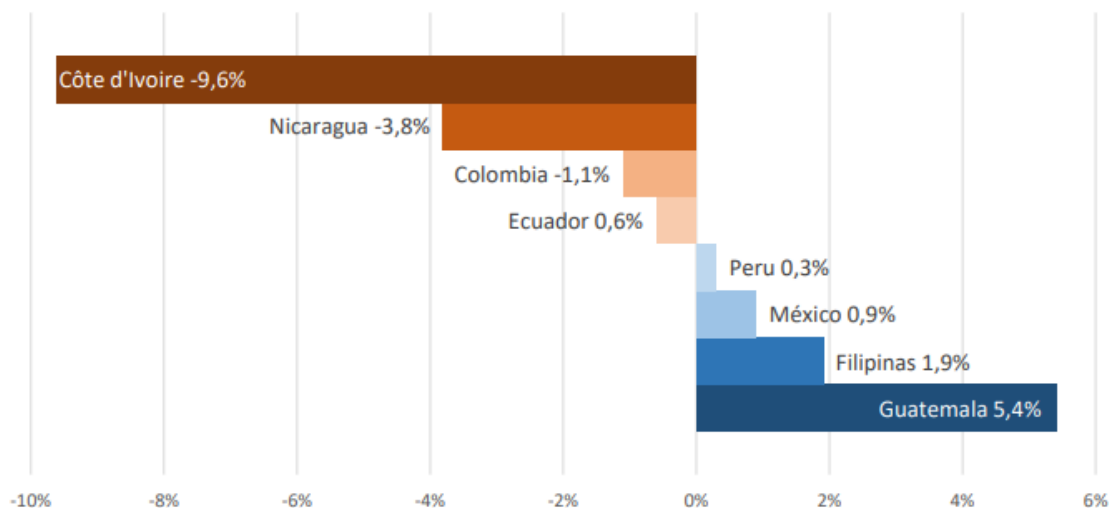
### **Descripción del Problema**

Debido a la información limitada del sector bananero de la región del Magdalena se conoce por medio del documento (CADENAPRODUCTIVADELPLÁTANO, 2019). La importancia del banano en la industria colombiana ya que en muchas zonas su economía se basa en esta producción no solo por su alto valor como fruta en el mercado internacional y nacional, sino que también se relaciona con los productos derivados como “alcohol, harina, vino, vinagre, puré, almidón, rebanadas fritas y tostadas, y otros subproductos ricos en azúcares y proteínas. Siendo los más relevantes las rebanadas fritas y la harina.”. En la industria bananera colombiana, según datos de (FAO, 2022) el volumen de exportación disminuyó alrededor de 19,1 millones de toneladas para el 2021 hasta situarse en unos 19,1 millones para el 2022 esto se debe al entorno operativo a nivel, Las barreras al comercio mundial de bananos provienen principalmente del lado de la oferta, mientras que la demanda de los países importadores sigue siendo relativamente fuerte.

Es importante destacar que los precios recibidos por los productores y exportadores han estado expuestos a una mayor presión derivada de las dificultades de producción y las

preocupaciones por la calidad advertidas en muchos países productores en 2022, así como la saturación en los mercados mundiales durante los primeros meses de la guerra en Ucrania, dejando la reducción de los márgenes de beneficio como la preocupación más crítica para la sostenibilidad de la industria bananera. Es decir, los costos de producción son entre un 40% y un 50% más altos que los niveles previos a la pandemia, pero los precios agrícolas, de exportación, de importación, mayoristas y minoristas no muestran ningún movimiento significativo o incluso negativo. Por ejemplo, el valor unitario de las exportaciones de Ecuador y Colombia, los principales proveedores de banano a los mercados mundiales, fue en promedio alrededor de un 1% por debajo de los años anterior. Por lo tanto, a pesar de los numerosos desafíos y costos significativos que enfrentará el sector en 2022, los bananos seguirán siendo una de las frutas más baratas en los principales mercados de importación.

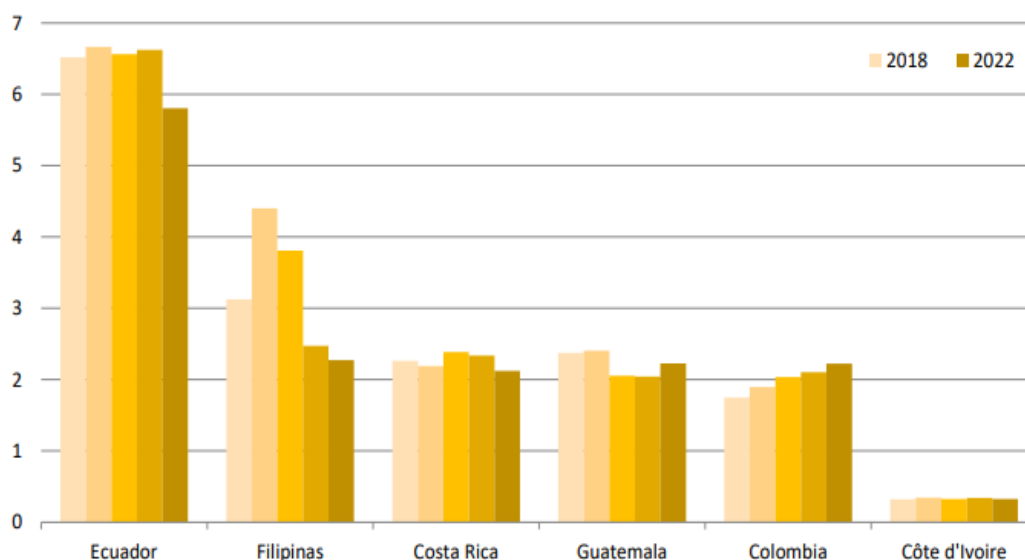
**Figura 3. Variación de los valores unitarios medios de exportación de los países exportadores seleccionados, 2022/2021.**



*Nota.* Datos FAO

Las condiciones climáticas adversas que afectaron la producción y el rendimiento fueron una preocupación en 2022, mientras que los altos costos del transporte terrestre y marítimo entre ciudades impidieron a los exportadores abastecer los mercados internacionales. En este contexto, las exportaciones en América Latina y el Caribe (ALC), la región exportadora más grande del mundo, experimentará una disminución del 5,7% en 2022, y las exportaciones totales alcanzarán alrededor de 14,5 millones de unidades, esto supone unas 900.000 toneladas menos 2021. Ecuador, el mayor exportador de banano del mundo, vio caer sus envíos en un 12,4% sin precedentes en 2022. Esto significa que las exportaciones totales del país cayeron a alrededor de 5,8 millones de toneladas como se muestra en la figura 4.

**Figura 4. Exportación mundial de banana por países productores seleccionados, 2018–2022, millones de toneladas**



*Nota.* Datos FAO

Las exportaciones en Colombia según (FAO, 2022), el cuarto principal productor de la región caribe en el 2021, tuvo un crecimiento del 5,8% hasta 2,1 millones de toneladas en 2022 a pesar de estar acompañado de una disminución del 2% en los valores unitarios medidos de exportación, según información de la industria Colombia pudo implementar con éxito estrategias que mitigarían la crisis del COVID-19 así como el brote de R4T descubierto en plantaciones en el 2018 lo que le permitió mantener las exportaciones relativamente estables, sin embargo cifras expuestas por la (DIAN, 2022) en la región las exportaciones se contrajeron 9% con respecto a los años anteriores, es decir tuvo una disminución de 240,000 toneladas al terminar la cosecha en el mes de junio del 2022 generando pérdidas en las utilidades en las fincas y transportadores con respecto a años anteriores, debido a esto fuentes del sector de exportación dijeron que hay serios problemas

con los precios recibidos por los agricultores que se mantienen en niveles de cinco años, lo que los obliga a hacer frente a los recientes aumentos en los precios de las materias primas, fertilizantes, otros insumos y el transporte. Para cubrir costos adicionales. TR4 y los costes derivados de la necesidad de implementar las medidas de mitigación previstas para el COVID-19 generando una baja competitividad en la zona bananera del Magdalena como lo expresa la figura 5.

**Figura 5.** Baja competitividad de la cadena de suministro del banano en el Magdalena



**Nota.** Causas de la baja competitividad. Tomado de: investigación Daniel Naizir Campo

Con lo anterior, uno de los elementos predominantes es “El reto es la sostenibilidad económica y también medioambiental del sector” tomado de (Redagrícola, 2022), lo que

demanda un estudio anual integrado de los comportamientos de los suministros requeridos para la producción de banano ya que al no encontrarse información actualizada después del pérdidas por falta de insumo a nivel local de la producción de la zona, se ha evidenciado por medio de la información encontrada a través de artículos y la gobernación del Magdalena contrastándose con la información brindada por la (FAO, 2022). Donde esta determina que la baja competitividad del sector bananero se ha visto afectada por una serie de factores que influyen en la perspectiva del comercio para el año del 2022 como:

- Escasez de producción causada por condiciones climáticas adversas y falta de acceso y aplicación de fertilizantes.
- Aumento importante de los costos de los insumos y elevados costos del transporte mundial durante el primer semestre del año.
- La apreciación significativa del dólar estadounidense frente a las divisas de muchos países exportadores e importadores de banano.
- Preocupaciones sobre la propagación de enfermedades de las plantas, principalmente la fusariosis del banano Raza 4 Tropical (R4T).
- **Limitaciones más estrictas sobre los niveles máximos de residuos en algunos mercados importantes.**

Así las malas prácticas agrícolas y de transporte, todas estas dificultades han tenido un impacto negativo en los productores y exportadores. Generando insatisfacción por qué cantidad de banano es suficiente y no cumple con los requisitos de calidad que marca el mercado.

### **Formulación del problema**

¿Qué procedimiento se requiere simular dentro de la cadena de suministro del banano que permita optimizar su desempeño logístico?

### **Justificación**

Con el desarrollo de este proyecto se puede generar una mayor seguridad en la comercialización del banano, ya que cifras otorgadas por (FAO, 2022) implementando una mejora en la cadena de suministro para un mayor control de calidad en la distribución de dicho producto, la cual será controlada desde la llegada del suministro hasta su comercialización, teniendo en detalle cada etapa del proceso. Puesto que las pérdidas de esta fruta se presentan en la mayoría de veces por las condiciones del servicio de entrega, es decir, tipos de transporte, método de cargue y descargue, rutas de distribución, así como las condiciones organolépticas del alimento, Muchas empresas cuya comercialización se manejan globalmente, pueden verse beneficiadas con la aplicación de estas estrategias, podrán obtener resultados satisfactorios en su comercialización nacional e internacional, así mismo los resultados se verán reflejados en la población consumista que está comprando el producto, lo cual genera una mayor ganancia en gran escala a las industrias distribuidoras.

Mediante la implementación de un sistema de investigación de cómo está estructurada la cadena de suministro del banano en el departamento del Magdalena se le otorga una mayor importancia a las variables que afectan el desempeño logístico de esta



zona. Con el banano desde el municipio zona bananera ubicado en el departamento del Magdalena se pueden minimizar las perdidas productivas del banano en cosecha como la de los insumos, con un desarrollo de un modelo matemático basado en otras investigaciones relacionadas con otros productos, de igual forma la solución de esta problemática planteada permitirá el aval por parte de la universidad la validación como trabajo de grado.

### **Objetivos**

#### **General**

Desarrollar un modelo matemático que permita mitigar las deficiencias más importantes en el desempeño logístico de la cadena de suministro del banano en la región del Magdalena.

#### **Específicos**

Diagnosticar los diferentes escenarios actuales que se producen dentro de la cadena de suministro del banano en el Magdalena.

Diseñar un modelo matemático adecuado para optimizar el desempeño logístico de la cadena de suministro garantizando la integridad del producto hasta el punto de acopio.

Validación del modelo matemático en función de los indicadores económicos claves del proceso actuales respecto a los obtenidos.

### **Marco Referencial**

### **Antecedentes**

(Peñaranda Peralta, 2019) en su tesis de “Diseño de un modelo matemático aplicado a la planeación de la producción y el transporte de un producto determinado en una empresa de alimentos se planteó la caracterización de una cadena de suministro de una empresa de alimentos con el objetivo de diseñar un modelo matemático aplicado a la planeación de la producción y el transporte, donde su finalidad es facilitar la toma de decisiones en el plan maestro de la producción con un enfoque de reducción de costos, incluyendo una decisión de transporte que tiene en cuenta las posibilidades de envío de la empresa y que contribuye a la visualización holística de una cadena de suministros”. En este proyecto se trabajó una metodología cuantitativa, se buscó la recolección de datos para obtener los resultados esperados. Se concluye, también de este antecedente, que este estudio fue realizado con la finalidad de llevar a cabo un modelo matemático para reducir costos de producción y transportes para un producto y esto para establecer cantidades exactas para cubrir la demanda. Este documento le aporta a la investigación un referente de modelo de base de datos para la realización del diseño metodológico.

En este sentido, la propuesta de (DÁVILA VÉLEZ & RAMÍREZ OTERO, 2011). “Modelo matemático para la optimización de una cadena de suministro global con consideraciones de cupos de compra y periodos de paga, se presenta un modelo matemático para la optimización de una cadena de suministro global con consideraciones de cupos de compra y periodos de pago, formulado como un problema de modelación dinámica determinística y de programación lineal. El modelo representa una cadena de suministro

para una locación fabril nacional y proveedores de suministros internacionales. Comúnmente, en los procesos de modelación de cadenas de abastecimiento no se han considerado los cupos de compra ni los periodos de pago como restricciones dentro del sistema, ni las restricciones de capacidad en volumen y peso de los medios de unitarización de carga; pero estas son condiciones reales en los procesos de negociación que restringen sustancialmente el sistema”. Se analizaron y evaluaron los desarrollos de aplicaciones para la construcción de un modelo de programación matemático, para dar un aporte a la hora el proceso de la toma de decisiones y optimizar los costos relevantes de la cadena de abastecimiento. Esto finalmente aporta al proyecto de investigación las bases para la realización del diseño metodológico.

Complementando (SALAS, 2022) En su trabajo de grado “Planificación Integrada del Proceso de Armado de Contenedores en la Cadena de Suministro del Banano de Exportación La cadena de suministro del banano de exportación puede variar entre países y empresas dependiendo del tamaño de la operación, los recursos disponibles y el nivel de integración entre los distintos entes en los eslabones de la cadena”. El cual este proceso inicia en las fincas productoras que suministran las cajas de banano; estas son apiladas en pallets y transportadas en contenedores refrigerados hasta el patio de almacenamiento de la empresa comercializadora donde, de ser necesario, se realizan transbordos de cajas entre contenedores para completar cada pedido. Luego, los contenedores son transportados al puerto marítimo donde son embarcados y exportados hacia los distintos mercados. Una vez en los países destino, la fruta puede someterse a un proceso de maduración asistido para alcanzar el nivel de maduración óptimo antes de ser

distribuido a los minoristas y consumidores. En este proyecto se trabajó una metodología cuantitativa, ya que se buscó una recolección de datos para los resultados y se encontró como resultado que se tiene que este modelo minimiza los costos de contenedores entre fincas y comercializadoras. Este trabajo aporta bases teóricas necesarias para la elección del diseño metodológico.

Puesto que. (Sánchez & Ríos, 2004) en un artículo titulada “Modelo matemático para la planificación de la producción dentro de la cadena de suministro es una actividad de especial importancia en estos momentos, debido a que permite la optimización de las operaciones de producción y distribución, y satisfacer la mayoría de los pedidos de los clientes en el tiempo requerido y a un costo más bajo. La aplicación de las técnicas matemáticas en este proceso garantiza una toma de decisiones más rápida y eficiente. Se analiza un modelo matemático multiobjetivo que permite satisfacer las demandas de los clientes determinando la cantidad de recursos necesarios para llevar a cabo la producción lo que redundará en la disminución de los niveles de inventarios”. Este artículo investigativo aporta al proyecto las bases para la realización del diseño metodológico

Para finalizar (Díaz Jara, López Iglesias, & Caamaño Barcos, 2018) proponen un “Diseño de un modelo estadístico-matemático para la predicción de grados brix en el proceso de maduración del banano. El objetivo principal de este proyecto es controlar el proceso de maduración, considerando los factores que interviene directamente en el proceso reduciendo la variabilidad para llegar a obtener un banano madurado en 18 grados brix, disminuyendo así los productos fuera de especificación, que actualmente se encuentra en 65.7% fuera del rango de acuerdo con las condiciones de las cámaras de maduración.

Debido al bajo rendimiento obtenido por el banano desde el 2017, la empresa requiere un mayor control en el área de maduración, con una proyección final disminuir en 20% de producto fuera de especificación. Para llegar a alcanzar el objetivo fue necesario empoderarse con las etapas del proceso involucrado, que va desde la recepción de materia prima hasta el almacenamiento en cámaras. Una vez realizado el análisis de causas raíces se procedió a la elaboración de propuestas y ver la factibilidad de estas, teniendo conocimiento del impacto que se obtiene en la variable de respuesta y su costo de implementación, se realizó la implementación y control de las mismas”. Considerando las condiciones actuales del área de maduración del banano, este proyecto se enfocó en realizar un análisis de las áreas involucradas, en el cual se estableció un proceso de toma de brix de banano en las aperturas de las cámaras. Con la obtención de estos datos se logró realizar una comparación entre los resultados existentes para así determinar las causas que afectan las salidas del mismo.

(Mejía, y otros, 2020).“Strategic Supply Chain Planning for Food Hubs in Central Colombia: Un enfoque para el suministro y distribución sostenible de alimentos Este artículo investiga el problema del suministro rural sostenible y la distribución urbana de productos alimenticios frescos en el centro de Colombia. Paradójicamente, mientras los agricultores del campo sufren pobreza debido a la baja rentabilidad de la actividad agrícola, los habitantes de los centros urbanos pagan altos precios por alimentos frescos y nutritivos. En este trabajo, proponemos un sistema de cadena de suministro y un modelo de negocio basado en centros de alimentos ubicados en instalaciones públicas existentes (y a menudo abandonadas) en la región central de Colombia. Hay muchos ejemplos en los que la

estrategia de centros ha facilitado el comercio y la logística en las cadenas de suministro. Sin embargo, pocos estudios consideraron las particularidades del caso presentado. Estudiamos una estrategia empresarial a través de un modelo matemático que considera tanto el funcionamiento sostenible y eficiente de los centros alimentarios como mejores condiciones comerciales para los agricultores. Proponemos una variante del problema de localización de hubs competitivos adaptada a este caso de estudio. Probamos el modelo en diferentes escenarios, como cambios en los parámetros de atractivo, costos operativos y márgenes de beneficio. Los resultados sugieren que si los centros son capaces de atraer a los agricultores, el modelo puede ser sostenible tanto para los concesionarios de los centros como para los agricultores”.

(Cristina, 2021) “Opportunities for the digital transformation of the banana sector supply chain based on software with artificial intelligence Artificial intelligence offers great opportunities for the supply chain, being this a competitive advantage for today’s changing market. Este artículo tiene como objetivo identificar los impactos y oportunidades que el software de inteligencia artificial puede ofrecer para facilitar la operación y mejorar el desempeño de la cadena de suministro en el sector bananero en Colombia. La metodología de trabajo consta de seis pasos en los cuales se obtuvo un total de 72 investigaciones. Las fuentes de información fueron cuatro bases de datos. Como principal conclusión, la cadena de suministro del sector bananero cuenta con todo lo necesario para que se implementen soluciones inteligentes basadas en software para lograr adaptación, flexibilidad y sensibilidad al contexto y dominio de ejecución”.

## **Marco Teórico**

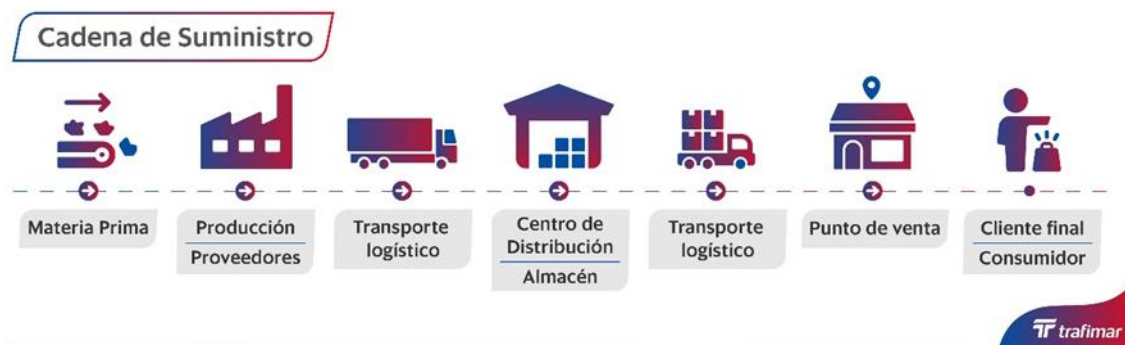
### **Modelos matemáticos lineales.**

Según el portal (IBM, 2021) Un modelo lineal predice un objetivo continuo basándose en una relación lineal entre el objetivo y uno o más predictores. Los modelos lineales proporcionan una fórmula de puntuación matemática que es relativamente simple y fácil de interpretar. Las propiedades de estos modelos son bien conocidas y, a menudo, se pueden crear muy rápidamente en comparación con otros tipos de modelos en el mismo conjunto de datos, como redes neuronales o árboles de decisión.

### **Cadena de suministro.**

Este concepto surgió de la incapacidad de la empresa para controlar los canales de distribución. La pérdida de control que se ve facilitada en gran parte por la “globalización del mercado”. Esta transformación del entorno significa que las organizaciones se ven obligadas a asumir desafíos competitivos a través de sus redes comerciales. Una cadena de suministro o abastecimiento incluye los canales comerciales, los procesos organizacionales, la infraestructura física, la tecnología y las plataformas de información que permiten un flujo continuo de servicios y/o procesos de producción que facilitan la creación de bienes.

**Figura 5 Esquema de la cadena de suministro**



*Nota.* Cadena de suministro. Tomado de: imagen sacada de cadena de suministro con logística *Trafimar logistics*

La gestión de dicho concepto también se puede emplear como una práctica basada en un concepto de ganar-ganar, que incluye planificar, organizar y controlar el flujo de redes de valor que incluyen transacciones, productos y/o servicios e información relacionada con los proveedores de mis proveedores, mis proveedores, el transporte. Operadores, centros de distribución, vendedores y consumidores finales.

### **Logística de la producción banano colombiano**

En Colombia existen dos clases de producción de banano: la primera banano tipo de exportación y el segundo banano criollo. Según datos otorgados por (Minagricultura, 2021), “El banano de exportación se produce principal mente en 3 departamentos los cuales son Antioquia (66%), Magdalena (29%) y la Guajira (6%), Por las ventajas comparativas de ubicación y calidad del suelo frente a otras zonas productivas del mundo. Según el Ministerio de Agricultura, el banano criollo (común y murrapo), o banano para consumo local, se produce principalmente en el Valle



del Cauca (25%), Quindío (14%), Huila (7%), Chocó (6%) y Antioquia (14%), donde la superficie y cálida de la cosecha es significativa para exportación”

Procedimiento logístico de cómo es cultivado el banano colombiano:

- **Cosecha del banano:** Este proceso comienza desde que se cortan los racimos hasta que son transportados a la planta empacadora e incluye una serie de procedimientos para finalmente conservar la fruta hasta su consumo final.
- **Preparación del banano:** Después de la cosecha de los bananos es la etapa de preparación de la fruta, la cual debe manejarse de acuerdo con los procedimientos de buen manejo e higiene para exportar productos seguros y de alta calidad. La preparación comienza con la intervención detallada de la fruta en la planta empacadora donde se observa la longitud, grosor, aspecto de maltrato e y verificando de calidad del producto. Luego se retiran las manos y se agrupan según las especificaciones del mercado.
- **Clasificado y embalaje:** El embalaje es definitivamente la tarea que determinan los estándares de calidad de la fruta. Estos edificios se basan en el diagrama del paquete designado por los especialistas en marketing, cual depende mercado y al que se enviará la fruta.
- **Transporte:** El envío del producto embalado a los puntos de recogida. Esta realizado por vehículo, los cuales deben tener unas condiciones como: tener una carpa en buen estado para que la caja no se moje ni se pegue con objetos. El conductor y el ayudante encargado del transporte de este

producto deben saber con qué cuidado van a realizar su trabajo, así como deben recibir formación en manipulación de alimentos al menos una vez al año.

**Tabla 1 Estadísticas de áreas sembradas, producción y rendimiento**

| DPTO         | AREA SEMBRADA(ha) |        |        |        |        | PRODUCCIÓN (ton) |           |           |           |           | RENDIMIENTO (Ton/ha) |      |      |      |       |
|--------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|------|------|------|-------|
|              | 2016              | 2017   | 2018   | 2019   | 2020*  | 2016             | 2017      | 2018      | 2019      | 2020*     | 2016                 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020* |
| ANTIOQUIA    | 36.029            | 36.852 | 37.780 | 38.754 | 39.224 | 1.212.544        | 1.235.982 | 1.245.472 | 1.304.637 | 1.315.906 | 15                   | 18   | 18   | 22   | 18    |
| MAGDALENA    | 12.414            | 13.565 | 12.800 | 13.261 | 13.291 | 413.790          | 486.092   | 517.556   | 549.220   | 555.704   | 37                   | 41   | 40   | 41   | 40    |
| LA GUAJIRA   | 2.637             | 2.807  | 2.762  | 2.866  | 3.028  | 47.840           | 110.147   | 111.679   | 114.583   | 123.632   | 20                   | 41   | 40   | 41   | 36    |
| VALLE        | 6.786             | 5.919  | 5.993  | 6.098  | 6.093  | 107.770          | 83.257    | 74.714    | 77.677    | 79.184    | 14                   | 14   | 13   | 13   | 13    |
| QUINDIO      | 2.499             | 2.698  | 3.344  | 3.553  | 3.765  | 34.233           | 38.647    | 40.025    | 45.007    | 47.100    | 15                   | 14   | 14   | 14   | 14    |
| CUNDINAMARCA | 4.621             | 4.401  | 4.269  | 4.311  | 4.070  | 37.786           | 36.804    | 34.292    | 26.523    | 24.997    | 7                    | 7    | 7    | 7    | 7     |
| HUILA        | 2.890             | 3.259  | 3.295  | 3.395  | 3.587  | 13.043           | 13.837    | 16.993    | 20.631    | 21.655    | 6                    | 7    | 7    | 8    | 7     |
| CHOCO        | 3.320             | 2.498  | 2.491  | 2.722  | 2.949  | 14.912           | 11.081    | 9.322     | 18.394    | 19.927    | 5                    | 6    | 4    | 6    | 5     |
| NARIÑO       | 4.555             | 7.010  | 7.027  | 7.021  | 7.330  | 18.977           | 15.959    | 16.243    | 17.853    | 17.786    | 5                    | 3    | 3    | 4    | 4     |
| CALDAS       | 442               | 718    | 718    | 728    | 748    | 3.536            | 10.970    | 12.763    | 12.569    | 13.221    | 18                   | 20   | 25   | 25   | 22    |
| OTROS        | 10.883            | 6.743  | 5.490  | 5.758  | 5.502  | 97.108           | 77.961    | 46.186    | 51.217    | 50.427    | 18                   | 20   | 25   | 25   | 22    |

*Nota.* Datos estadísticos. Tomado de: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural  
**Indicadores del desempeño logística**

Para (OnlineIngenieriaIndustrial, 2019) “un indicador de Desempeño Logístico son medidas cuantificables aplicados a la gestión logística que permiten evaluar el desempeño, así como el resultado en cada proceso de almacenamiento, inventarios, despachos, distribución, entregas, facturación y información entre las partes de la cadena logística con la finalidad de poder utilizar la información resultante de manera oportuna (tomar decisiones). Así mismo habla que los KPIs logísticos deben de relacionarse con la misión, visión, estrategia corporativa y factores de competitividad de la organización. Los KPIs logísticos deben de enfocarse en el método para conseguir resultados, no tanto en los resultados mismos. Los KPIs logísticos deben de ser significativos y enfocados en la acción: de tal manera que los trabajadores puedan mejorar el resultado de los indicadores

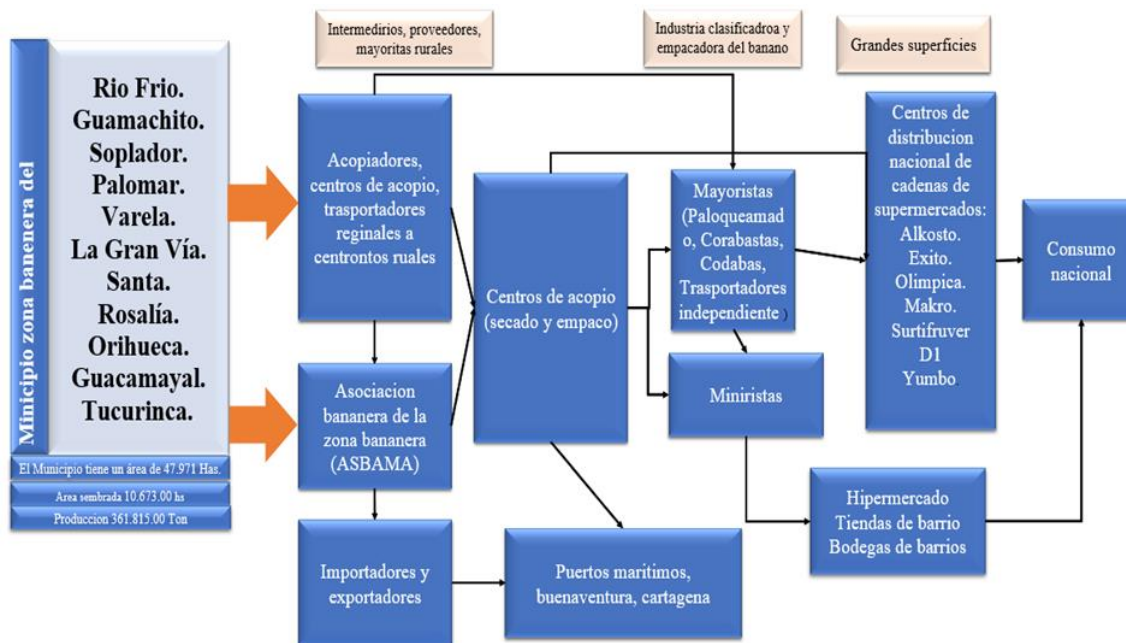
mediante su trabajo. Los KPIs logísticos deben ser coherentes y comparables, en la medida de lo posible deben ser estándar para permitir evaluaciones”.

## **Marco Conceptual**

### **Logística**

(MORA, 2016) define a la logística como una actividad que “recurre a varias actividades y *know how* que participan en la gestión y control de flujos físicos y de informaciones, así como de medios. La logística es una actividad interdisciplinaria que vincula las diferentes áreas de la compañía, desde la programación de compras hasta el servicio postventa; pasando por el aprovisionamiento de materias primas; la planificación y gestión de la producción; el almacenamiento, manipuleo y gestión de stock, empaques, embalajes, transporte, distribución física y los flujos de información. Con la logística se determina y coordina en forma óptima el producto correcto, el cliente correcto, el lugar correcto y el tiempo correcto.”.

**Figura 6. Esquema logístico del banano**

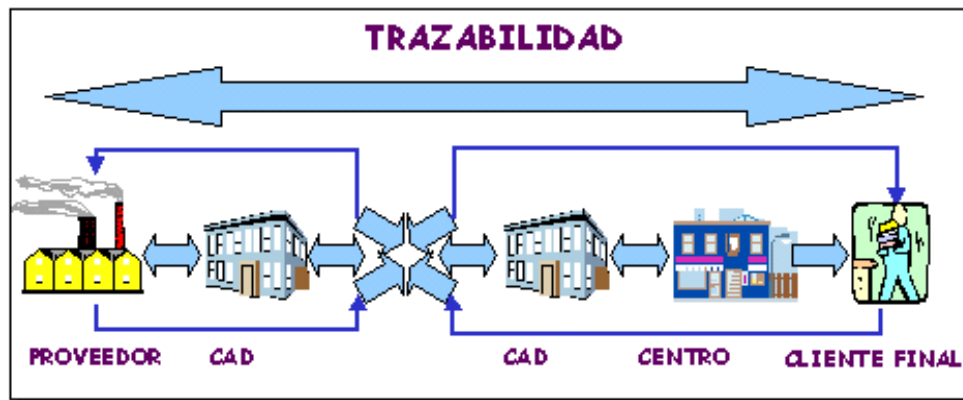


*Nota.* Descripción del esquema. Tomado de: Elaboración propia 2023

### Cadena de suministro

Para (Manualpracticodelogistico) define “La cadena de suministro engloba los procesos de negocio, las personas, la organización, la tecnología y la infraestructura física que permite la transformación de materias primas en productos y servicios intermedios y terminados que son ofrecidos y distribuidos al consumidor para satisfacer su demanda. La gestión efectiva de la Cadena de Suministro permite una mejor prestación de servicio al cliente y de la Cadena de Valor, a través de la gestión de flujos de información, de producto y monetario. Permite competir con éxito en los mercados actuales, gracias al resultado que produce la conjunción de los objetivos de la cadena de suministro y la implantación de mejores prácticas en áreas como la planificación del suministro y la demanda, producción, transporte, almacenaje, compras y servicio al cliente”.

**Figura 7 Cadena de suministro**



*Nota.* Descripción de la cadena de suministro. Tomado de: PILOT. Manual de logístico.p.10

### **Modelo Matemático**

Para (Roldan, 2019) Un modelo matemático es “una representación simplificada, a través de ecuaciones, funciones o fórmulas matemáticas, de un fenómeno o de la relación entre dos o más variables. La rama de las matemáticas que se encarga de estudiar las cualidades y estructura de los modelos es la llamada (teoría de los modelos). Estos se utilizan para analizar la relación entre dos o más variables. Pueden ser utilizados para entender fenómenos naturales, sociales, físicos, etc. Dependiendo del objetivo buscado y del diseño del mismo modelo pueden servir para predecir el valor de las variables en el futuro, hacer hipótesis, evaluar los efectos de una determinada política o actividad, entre otros objetivos”.

### **Alimentos perecederos**

Para (Reina, s.f.) “Todos los alimentos que consumimos diariamente pueden clasificarse en tres tipos: alimentos perecederos, no perecederos y semi-perecederos. Y es

fundamental que todo el mundo conozca esta información para evitar enfermedades derivadas de la mala manipulación y almacenaje de los alimentos. De esta Los alimentos perecederos son aquellos que tienen una duración corta y se descomponen rápidamente influenciados por diversos factores como la temperatura, humedad y presión a la que son sometidos durante su comercialización, transporte y almacenamiento. Con el paso de los días, las proteínas y vitaminas que contienen los alimentos se comienzan a perder, cuando factores como la luz, humedad, temperatura y sequedad hacen su efecto negativo”.

### **Marco Geográfico**

El proyecto se enfoca en la zona bananera, la cual es un municipio del departamento del Magdalena en el norte de Colombia, en la actualidad esta zona ha estado presentado problemas en el abastecimiento de materia prima y extracción del banano ya cosechado. La zona bananera está conformada por 11 corregimientos y 56 veredas, a una distancia aproximada del puerto de Santa Marta (terminal Samario) 62,2 Km aproximadamente y del puerto de la ciudad Barranquilla de 97,3 Km aproximadamente lo cual son las principales entras de suministros y salida de exportación de Colombia.

### **Marco Legal**

Teniendo en cuenta las normas y leyes que aplican al transporte, alimentación, distribución y abastecimiento de materia prima y alimento procedente de la ciudad de Santa Marta

**Decreto 315 de 2006:** Por el cual se adopta el Plan Maestro de Abastecimiento de alimentos y seguridad alimentaria para Bogotá Distrito Capital y se dictan otras

disposiciones. Que en el artículo 1 del mencionado Plan se señalan los fundamentos del mismo enfocados a la construcción de las condiciones para el ejercicio efectivo, progresivo y sostenible de los derechos humanos integrales; establecidos en el pacto constitucional y en los convenios e instrumentos internacionales y con énfasis en la búsqueda de la pronta efectividad de los niveles básicos de tales derechos Que el abastecimiento de alimentos es una función que compete al conjunto de grupos sociales, en sus roles de consumo, producción, transformación, distribución y comercialización y por tanto, las visiones, tradiciones, hábitos, culturas e intereses de los diferentes grupos deben ser considerados en el desarrollo de políticas, estrategias y proyectos de abastecimiento. (DISTRITO, 2006)

**Decreto 263 de 2010:** Por el cual se reglamenta la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) No. 80, CORABASTOS, ubicada en la localidad de Kennedy, La reglamentación de la citada UPZ, con el fin de articular la norma urbanística con el planeamiento zonal, adoptó una estructura básica compuesta por el suelo de protección, el sistema de movilidad, la estructura socio-económica y espacial, las directrices urbanísticas y de gestión contenidas en este decreto y los planos a escala 1:5000 que forman parte del mismo. (Distrital, s.f.)

**Decreto 3075 de 1997:** Por la cual se reglamentan parcialmente la Ley 9 de 1979 y se dictan otras disposiciones, En consecuencia, las disposiciones contenidas en el

presente Decreto son de orden público, regulan todas las actividades que puedan generar factores de riesgo por el consumo de alimentos. (decreto3075de1997, s.f.)

**Ley 1480 de 2011:** Esta ley tiene como objetivos proteger, promover y garantizar la efectividad y el libre ejercicio de los derechos de los consumidores, así como amparar el respeto a su dignidad y a sus intereses económicos. (CongresodelaRepublica, 2011)

### **Marco Académico**

#### **Relación con las líneas de investigación de la Facultad**

Productividad y Competitividad

#### **Relación con la misión del programa de Ingeniería Industrial**

Para la facultad de ingeniería industrial de la (Nariño, s.f.) “Formar Ingenieros Industriales que contribuyan al desarrollo socioeconómico del país con capacidad de generar aplicaciones científicas, interdisciplinarias y creativas, con criterio ético y de responsabilidad frente a las necesidades de desarrollo del recurso humano, técnico y tecnológico; mediante las habilidades y destrezas profesionales e investigativas adquiridas a través de la sólida formación dada por la Facultad”.

#### **Relación con la visión del programa de Ingeniería Industrial**

La Facultad de Ingeniería Industrial de la (Nariño, s.f.), “será reconocida nacional e internacionalmente por sus aportes académicos e investigativos que permitirán la formación de profesionales éticos, críticos y competentes acorde a las necesidades del entorno. Así mismo, se posicionará en el medio empresarial e intelectual por la calidad de



sus estudiantes, egresados y docentes debido a sus aportes significativos al desarrollo industrial, económico y social del país”.

### **Relación con los Objetivos del programa de Ingeniería Industrial**

Para la (Nariño, s.f.) “Formar Ingenieros industriales que contribuyan a mejorar la calidad de vida de nuestra sociedad por medio de la optimización de los sistemas productivos y operacionales de manera competitiva y rentable de forma económica y social; con eficiencia y eficacia en sus procesos, creando productos y servicios de calidad amigables con el medio ambiente”.

### **Asignaturas del programa aplicadas en el trabajo de grado**

Investigación de Operaciones I y II, Procesos Industriales, Producción.

## **Diseño Metodológico**

Este proyecto se alineó con la metodología DMAIC es la metodología central de trabajo en Six Sigma, la cual mantiene una secuencia lógica para el registro de información. Como se aprecia en el esquema, los pasos a seguir fueron; analizar, se refiere a identificar las variables que se deben mejorar para obtener el tipo de metodología que se va a usar, en este caso implementamos la metodología para un estudio de caso; con esta estructura podemos obtener información que nos permita identificar si se relaciona con el problema. Seguidamente, hacer un plan de mejoras, el cual tiene una función y es optimizar los factores señalados para tener un mejor control de los procesos. Con base en una serie de datos se desarrollará un modelo matemático óptimo para el desempeño de la cadena de suministro del banano, modelo que cubrirá las demandas del producto, generando un mejor alcance en la producción y comercialización.

### **Tipo y Enfoques de Investigación**

Para la realización del proyecto el tipo de investigación es un análisis cuantitativo, ya que se elaboró una investigación de tipo: estudio de caso, donde gracias a los estudios y la recopilación de información se obtendrán resultados que conforman la base de la investigación, con el propósito de mejorar el desempeño logístico en la cadena de suministro del banano.

### **Fases y Actividades Metodológicas**

**Fase I:** El primer objetivo hacer el diagnóstico este será desarrollado con la investigación de fuentes secundarias con la finalidad de mostrar los problemas más recurrentes de la cadena de suministro del banano, así como también valores estadísticos que permitan soportar los bajos índices producción comparándolas con otros productores

de banano de Colombia y el extranjero, finalizando con el mapeado de la información de cadena de suministro del banano en la región del Magdalena que permitirá identificar los problemas más recurrentes en los distintos eslabones que componen la cadena de suministro del banano.

**Fase II:** Con la información brindada por el diagnóstico se buscará los mejores referentes bibliográficos de modelaciones matemáticas aplicadas en la logística de abastecimiento que permitan resolver esos problemas, posteriormente se procederá al desarrollo del modelo matemático basado en información primaria, que permitirá construir un modelo que satisfaga las necesidades reales, planteando un modelo que responda mejor a los procesos de diagnóstico.

**Fase III:** Concluyendo con la validación del modelo a través de la comparación el antes y el después de haberse aplicado el modelo, mirando si los indicadores productivos como de costo fueron mejores con la aplicación del modelo.

**Objetivo del Específico 1: Diagnosticar los diferentes escenarios actuales que se producen dentro de la cadena de suministro del banano en el Magdalena**

Las fincas productoras de banano en el municipio zona bananera del Magdalena son diversas en su distribución y su tipo de banano, puesto a que están ubicadas en once localidades compuestas por pueblos y corregimientos donde las empresas, clientes o pequeños comerciantes llegan directamente a los cultivos a comprar las diversas variedades del banano. Según la (FAO, 2022). La cadena de suministro del banano se ha visto afectada por el aumento de los costos de producción y la gran escasez de productos agroquímicos frente una demanda relativamente estable en el mercado. Dicho esto, y con la información ilustrada en la figura 3 y 4 el valor de mayor incidencia en la cadena suministro del banano son los sectores productores de banano (fincas) y transporte de materia prima y del producto ya cosechado a sus distintas áreas de comercialización.

Siendo las fincas el principal pilar de la cadena de suministro del banano las cuales han presentado problemas de abastecimiento de productos agroquímicos y otros elementos para el desarrollo óptimo del banano y las diversas clases de banano lo que ha ocasionado insatisfacción en la demanda del mercado internacional y competitividad en el mercado nacional por pérdidas, la cual está reflejada en cifras otorgadas por José Francisco Zúñiga Cotes presidente de Asbama en una entrevista con (Iguarán, 2021). Expresó su preocupación por la baja productividad del banano describiendo las cifras de la siguiente manera; De 100% de la producción del banano solo un 53,33% se exportaron alrededor de 864.464 toneladas de banano, el 46,67% restante queda en las plantaciones, es decir 406.298 toneladas se tiende a perder en promedio 10% a 30%, es decir 250.00 toneladas,

siendo estas ese 30% el punto más crítico que puede tener una finca en pérdidas ya que estas pérdidas solo dos escenarios las pueden ocasionar, uno de ellas son las malas prácticas agrícolas y la otra es no tener compradores para ese tipo de banano producido, así mismo se generan pérdidas a las utilidades del productor. Por otro lado el otro valor que afecta el rendimiento de la productividad es el transporte, tanto de materia prima como el transporte del producto hacia el comercializador, los cuales están en un margen entre el 15% a 35% según cifras brindadas por la (FAO, 2022) y artículos de investigación de la insatisfacción debido a las malas prácticas de transporte (Mai Al-Dairi, 2021) la cuales ascienden a \$20.000 millones de pesos por los errores cometidos a la hora del transporte, cierre de vías, mal estado de vías nacionales, y también al aumento del precio progresivo de los combustibles. Para el sector bananero la importancia del transporte es vital para sus operaciones ya que, sin insumos los cultivos pueden perderse, no habría quien los llevara al comercializador haciendo que las cifras de perdida crecieran más del 10% al 30% mencionado ya que la mayor parte están realizadas por las distintas clases conformadas de camiones, aviones, ferrocarril o barco los cuales tienen como objetivo garantizar la calidad de dicho producto.

A raíz de la información brindada por las distintas fuentes como la FAO, Min.agricultura, información de revistas y periódicos de la zona del Magdalena, se realizó en conjunto al semillero de investigación el planteamiento de tres escenarios los cuales son críticos, aceptables y buenos de las fincas y transportadores, estos escenarios serán fundamentales para llevar a cabalidad el modelo, teniendo en cuenta que estos porcentajes se reflejan en las utilidades, es decir entre mayor sea ese porcentaje de perdida menor van

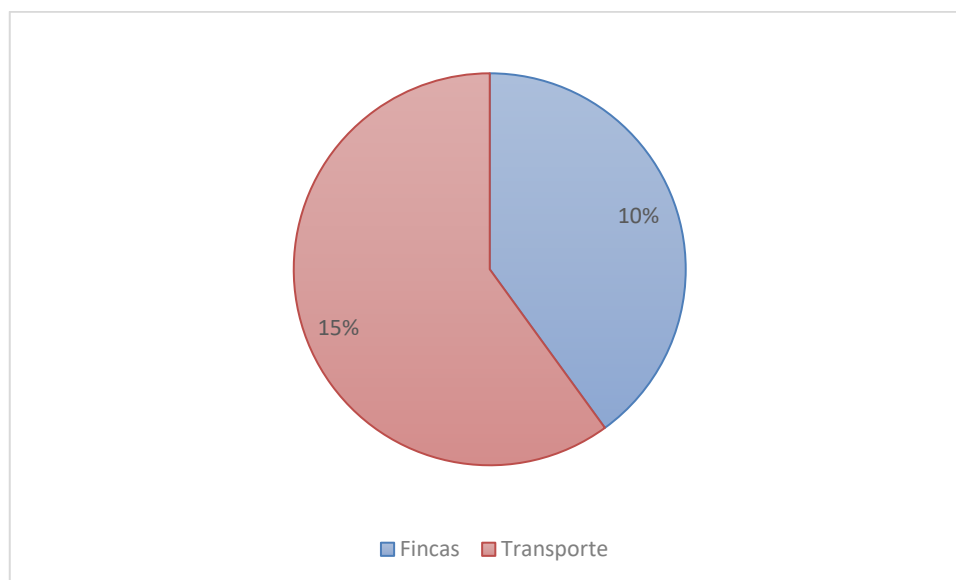
a ser las ganancias, en ese orden de ideas en la tabla 3 y figura 7 se observará el primer escenario (crítico) el cual los datos que se encuentran plasmados son otorgados por la (FAO, 2022) y cifras de (DIAN, 2022) estableciendo las pérdidas en las fincas productoras 30% y transporte de un 35%. Para el siguiente escenario (medio) evidenciado en la tabla 4 y figura 8 se estableció que el promedio de las pérdidas en las fincas fue de un 20% y para transporte 25%. Se establece como referente a un posible punto de equilibrio debido a que no está ganando pero tampoco se está perdiendo, este escenario puede variar ya que puede aumentar en el transcurso de manipulación del producto y envíos o simplemente disminuir, de esta manera se finaliza con el último escenario (bueno) donde se estableció con las cifras más bajas dadas por (FAO, 2022) que son para las fincas de 10% y en el transporte de 15% como se muestra en la tabla 5 y figura 9 así como los demás escenarios este puede disminuir o aumentar ya que la variabilidad de estos está sujeta a los factores mencionados en la investigación.

**Tabla 2** escenario crítico con respecto a la producción y transporte del banano  
(crítico)

| <i>Desechos producidos por malas prácticas agrícolas y de transporte</i> |                   |
|--|-------------------|
| <b>Fincas</b>  | <b>Transporte</b> |
| <b>30%</b>   | 35%               |

*Nota.* Resultados de pérdidas de FAO y DIAN

**Figura 7 Diagrama de desperdicios escenario (crítico)**



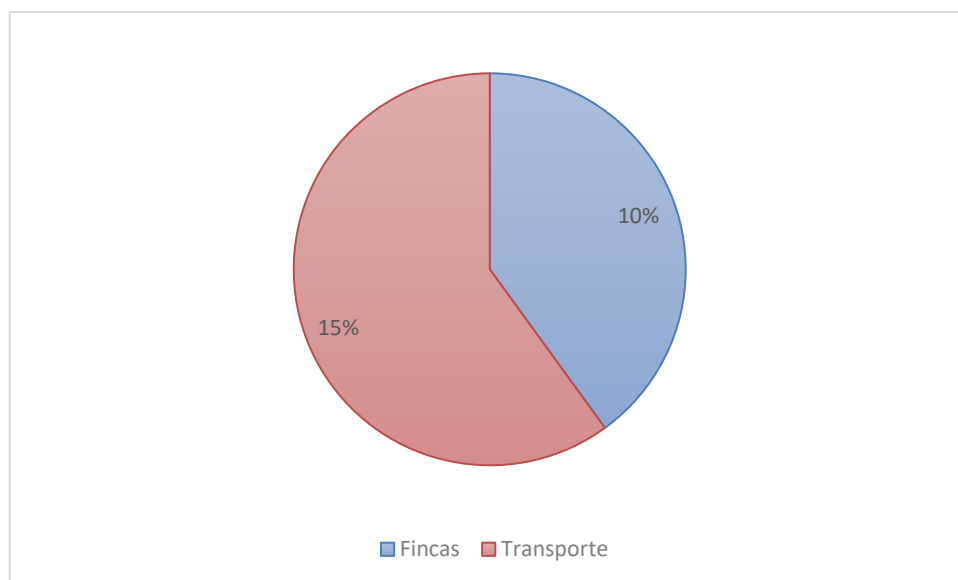
*Nota.* Resultados de FAO y DIAN

**Tabla 3 escenario crítico con respecto a la producción y transporte del banano (medio).**

| <i>Desechos producidos por malas prácticas agrícolas y de transporte</i> |                   |
|--|-------------------|
| <b>Fincas</b>  | <b>Transporte</b> |
| <b>20%</b>   | <b>25%</b>        |

*Nota.* Resultados de FAO y DIAN

**Figura 8 Diagrama de desperdicios escenario (medio)**



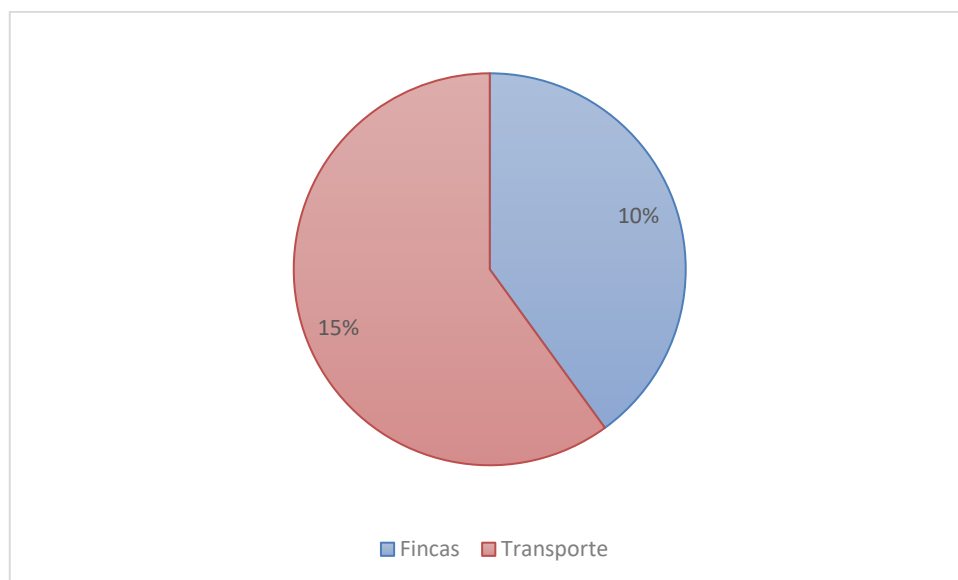
*Nota.* Resultados de FAO y DIAN

**Tabla 4 escenario crítico con respecto a la producción y transporte del banano (medio).**

| <i>Desechos producidos por malas prácticas agrícolas y de transporte</i> |                   |
|--|-------------------|
| <b>Fincas</b>  | <b>Transporte</b> |
| <b>10%</b>   | <b>15%</b>        |

*Nota.* Resultados de FAO y DIAN



**Figura 9 Diagrama de desperdicios**

*Nota.* Resultados de FAO y DIAN

**Objetivo del Específico 2: Diseñar un modelo matemático adecuado para optimizar el desempeño logístico de la cadena de suministro del banano garantizando la integridad del producto hasta el centro de acopio**

### **Diseño del modelo matemático**

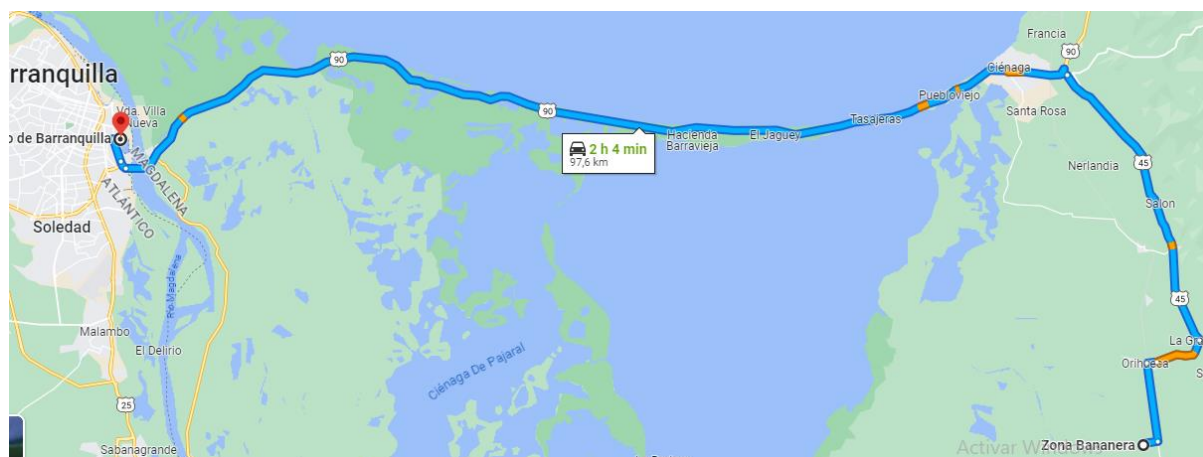
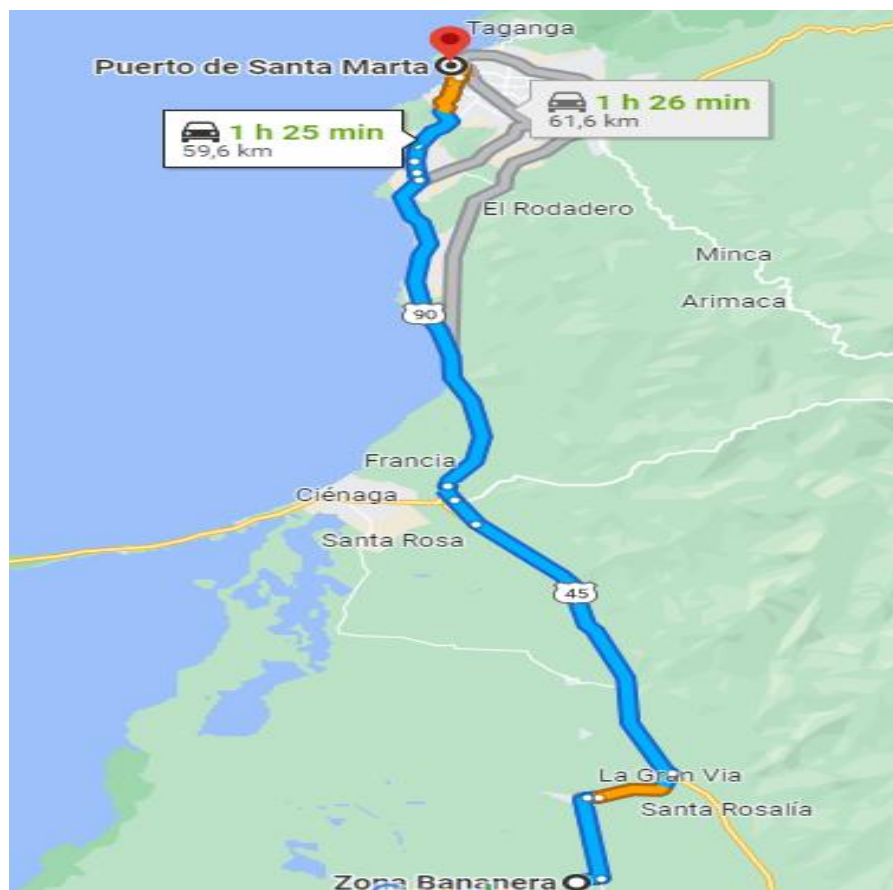
En la búsqueda e investigación teórica de modelos matemáticos aplicados a la maximización de los desempeños logísticos se encuentra un modelo que permitió la toma de decisiones estratégicas relacionadas a ubicación- elección de instalaciones en este caso a fincas y a la cantidad de producción de cada planta (finca-Localización) Como se muestra en la figura 10, con la finalidad de cumplir la demanda de los comercializadores (clientes) la cual llevó a optar por un modelo matemático de modelación lineal entera binaria-mixta.

**Figura 10. Ubicación de fincas productoras de banano del Magdalena**



*Nota.* Tomada de Google Maps MyMaps

**Figura 11. Tiempo y distancia aproximada de los puertos de la ciudad de Santa Marta y Barranquilla.**



*Nota.* Tomada de Google Maps MyMaps

El modelo representaba un sistema de producción, ubicación, distancia y tiempo aproximado a los puertos más cercano que en este caso sería el puerto de la ciudad de Santa Marta y Barranquilla. de las fincas en el departamento Magdalena, así como se evidencia en la figura 11. Se presentó un modelo integrado por un conjunto de fincas donde cada una tiene una capacidad de producción limitada dependiendo de su hectárea, así como la variedad de banano que produce (exportación, banano criollo, banano baby, banano morado-rojo). Algunas consideraciones del modelo son:

El modelo representa las utilidades producidas por los distintos productores de la zona en la cadena de suministro del banano en el departamento del Magdalena, en el cual se involucran cada una de las partes interesadas y de las cuales arrojan información, considerando tres eslabones de la cadena como fincas (proveedores), transporte, hacia el comercializador y comercializadoras (centro de acopio) logrando una mejor integración entre las partes a mejorar y poder tomar decisiones dependiendo del tipo de producción y necesidad del comercializador.

#### **Modelo de maximización.**

El siguiente modelo de programación lineal entera binaria-mixta está basado en un modelo propuesto por el equipo del semillero de investigación en conjunto con la sede de Santa Marta y Bogotá DC. Por medio del cual se busca crear una serie de restricciones que permitan a los campesinos elegir al comercializador, así como, garantizar la calidad y qué tipo de banano debería producir para tener una mayor rentabilidad eliminado la mayor cantidad de desperdicio descrita en el diagnóstico, lo que permitirá mejorar las utilidades

de la producción de banano y disminuir las pérdidas en el transporte, garantizando la demanda del comercializador. Para el modelo que concierne a esta investigación se tienen tres tipos de fincas productoras y cuatro tipos de transportes, dependiendo de las necesidades que tenga el comercializador, así como los escenarios de desperdicios en la producción y transporte. Los datos para que sostienen los tres escenarios de desperdicios por malas prácticas agrícolas y de transporte fueron otorgados por la (FAO, 2022) y (Finagro) y las distancias como el tiempo aproximado de llegada a los comercializadoras está basada en Goole Maps, donde se encuentran la latitud y longitudes de cada finca registrada, donde también se investigó las capacidades en toneladas y precios de los tipos de vehículos para el transporte del producto.

### **Identificación de parámetros, variables y restricciones.**

Basado en los resultados de la investigación e información obtenida de (Finagro) y (FAO, 2022) sobre las fincas productoras de la zona bananera del Magdalena y con encuestas hechas por la asociación bananera del Magdalena se logró establecer un modelo matemático el cual maximiza las regalías de las fincas productoras y disminuye los costos de producción y transporte ocasionados por las malas prácticas. Luego, se establecieron supuestos del modelo, las funciones del modelo, conjunto, índice, parámetros, variables de decisión, función objetivó sus respetivas restricciones.

### **Supuestos del modelo.**

- Cada finca tiene la capacidad de producir una o las cuatro clases de banano.

- El precio de los insumos puede variar dependiendo de las necesidades de las fincas, así como su mano de obra.
- El precio de venta varia de las negociaciones del cliente, aunque dependiendo el tipo de caja los precios son estándares.
- El envío del tipo de banano desde las fincas se realiza dependiendo de la capacidad máxima camión, el cual tiene un solo tipo de banano a la vez.

### **Funciones del modelo.**

#### **Capacidad de fincas:**

- Capacidad de producción de cada finca.
- Asignación de la finca a un comercializador.
- Costo fijo y varíeles por cada finca.

#### **Producción:**

- Costo de insumo.
- Costo de mano de obra.
- Cantidad de producción de caja de la finca a cada comercializador.
- Costo de producción por unidad de pesos para cada instalación.

#### **Conjunto.**

$\Omega = \{B\} \cup \{C\} \cup \{F\}$  Es el conjunto de todas las posibles localizaciones de la finca y Comercializadores y Tipo de banano.

B: Es el conjunto de los tipos de productos- banano. (Producto)

C: Es el conjunto de los comercializadores. (clientes)

F: Es el conjunto de las posibles ubicaciones de las fincas. (localidad)

### Índice.

f: Finca.

C: Comercializador.

TB: Tipo de banano.

### Parámetros.

$\omega_{CTB}$ : Precio de venta del tipo de banano TB para el comercializador C.

$\varphi_f$ : Costo fijo de la ubicación de la finca f.

$\tau_{fTB}$ : Costo total de insumos requeridos por el tipo de banano TB en la finca f.

$\sigma_{fTB}$ : Costo de producción del tipo de banano TB producido en la finca f.

$\rho_{fC}$ : Costo fijo por envío desde la finca f al comercializador C.

$\pi_{fC}$ : Tiempo de transporte por envío desde la finca f al comercializador C.

$\vartheta_{fC}$ : Costo de transporte por unidad de tiempo por envío desde la finca f al comercializador C.

$D_{CTB}$ : Demanda total del comercializador C por el tipo de banano TB.

$C_{fTB}$ : Capacidad total de la finca f para producir el tipo de banano TB.

$(kc)_{fTB}$ : Costo de compra de materia prima del tipo de banano TB para la finca f.

$(tc)_{fTB}$ : Costo de transporte de la materia prima del tipo de banano TB para la finca f.

$$\tau_{fTB} = (kc)_{fTB} + (tc)_{fTB}$$

### Variables de decisión.

$\psi_f$ : Variable binaria que es igual a 1 si la finca  $f$  es seleccionada, 0 en otro caso.

$\beta_{fCTB}$ : Cantidad de producción del tipo de banano  $TB$  para el comercializador  $C$  en la finca  $f$ .

### **Función objetivo.**

Función objetivo: Maximizar las regalías de las fincas, disminuyendo los márgenes de desechos ocasionados por la producción la cual se genera por la manipulación del producto y del transporte debido a sus malas prácticas, así como también permitir la toma de decisiones del tipo de transporte y la facilidad que puede tener producir una o más clases de banano, cumpliendo con la demanda requerida del comercializador.

$$\begin{aligned} & \text{Maximizar } Z = \\ & \sum_{f=1}^f \sum_{C=1}^C \sum_{TB=1}^{TB} \omega_{CTB} \beta_{fCTB} - \\ & \left( \sum_{f=1}^f \varphi_f \psi_f + \sum_{f=1}^f \sum_{C=1}^C \sum_{TB=1}^{TB} ((\tau_{fTB} + \sigma_{fTB}) \beta_{fCTB} + (\rho_{fC} \right. \\ & \quad \left. + \pi_{fC} \vartheta_{fC}) \frac{\beta_{fCTB}}{Z_{TB}}) \right) \end{aligned}$$

**Sujeto a:**

$$\sum_{f=1}^f \sum_{TB=1}^{TB} \beta_{fCTB} = \sum_{TB=1}^{TB} D_{CTB} \quad \forall p \quad (1)$$

$$\sum_{f=1}^f \sum_{C=1}^C \beta_{fCTB} = \sum_{C=1}^C D_{CTB} \quad \forall k \quad (2)$$

$$\sum_{f=1}^f \beta_{fCTB} = D_{CTB} \quad \forall jk \quad (3)$$



$$\sum_{C=1}^C \beta_{fCTB} = C_{fTB} \quad \forall_{ik} \quad (4)$$

$$\sum_{C=1}^C \sum_{TB=1}^{TB} \beta_{fCTB} \leq M\psi_f \quad \forall_i \quad (5)$$

$$\psi_f \in \{0,1\}$$

TODOS LOS PARÁMEROS  $\geq 0$

- Esta restricción garantiza que la cantidad total de los tipos de banano que se produce en todas las fincas para un comercializador en particular sea igual a la demanda total de la cantidad de los tipos de banano de ese comercializador.
- De manera similar a la (1), esta restricción garantiza que la cantidad total de un tipo de banano en particular que se produce en todas las fincas para todos los comercializadores sea igual a la demanda total del tipo de banano de todos los comercializadores.
- Considera la demanda de cara tipo de banano de cada comercializador individualmente.
- Restricción de capacidad. Es decir, la cantidad total de un tipo de banano que se produce en una finca en particular para todos los comercializadores es menor o igual a la capacidad de la finca para este tipo de banano en particular.
- Asegura que una finca este ubicada si y solo si hay demanda.

**Objetivo del Específico 3: Validación del modelo matemático en función de los indicadores económicos claves del proceso actuales respecto a los obtenidos**

En los resultados obtenidos, en los cuales se propone el uso del modelo matemático para maximizar las regalías de los productores, así como la reducción de costos en insumos y mano de obra, brindando la mejor calidad del producto al comercializador. En cada anotación se tendrá como referencias costos netos productivos dados por (SAC, 2022) comparándolos con los costos establecidos por los parámetros del modelo para la producción ya que estos costos están sometidos al dólar estadounidense y a la accesibilidad de los insumos de una producción de banano contra los costos establecidos en las variables del modelo con la finalidad de saber cuánto valor produce una hectárea de banano y en consecuencia mirar la influencia que tienen los desechos en las regalías y productividad en dichas fincas permitiendo cumplir con las restricciones establecidas por el modelo enfocados a la calidad del producto permitiendo satisfacer las expectativas del comercializador.

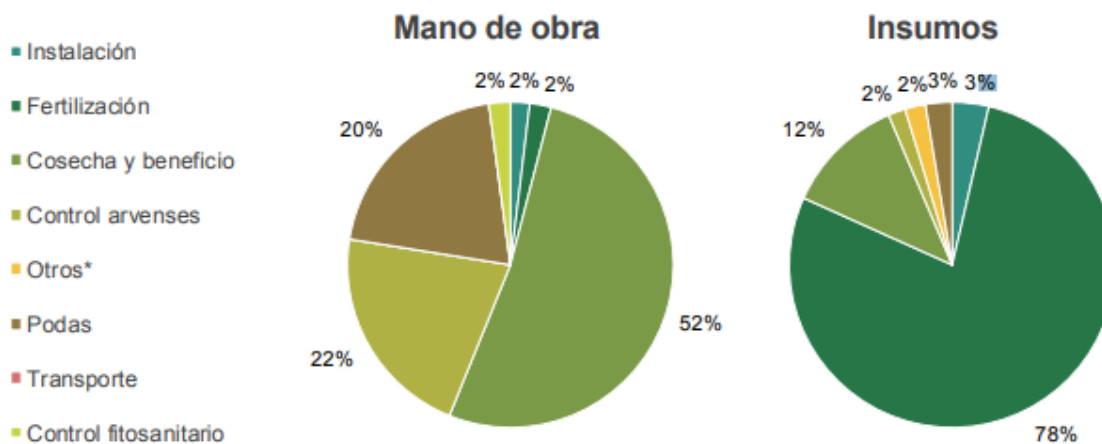
El desarrollo de este objetivo se estableció por tres anotaciones.

### **Anotación 1**

En la anotación 1 se toman en cuenta los costos generales contra los planteados por el modelo, cabe resaltar que los valores dependen de la cantidad de hectáreas que produzcan, así como la clase de banano que se comercialice, ya que tanto el mercado nacional como internacional buscan la mejor calidad del producto. Uno de los factores más importantes a tener en cuenta son los costos de transporte, los cuales varían dependiendo de la cantidad de cajas de un tipo de banano (SAC, 2022). Los costos netos para la producción de hectárea de banano que están alrededor \$17,000,000 a \$20,000,000 millones y que llevar una mata a producción le cuesta en un promedio \$6,000 a \$7,000 mil pesos que sería el costo de

producir un racimo, es decir que si el racimo pesa 15 kilogramos le estaría saliendo el racimo a \$400 pesos, (figura 12) tomada de (Finagro) la participación de estos costos está entre el 78% al 52% del valor de la producción por una hectárea sin contar con los gastos de servicios, impuestos, imprevistos, insumos para empacar los diferentes tipos de banano, el valor de transporte que varía dependiendo del peso y número de viajes, solo se tiene en cuenta la inversión inicial de los racimos más no los valores mensuales o anuales que se necesitan para su manutención descritos, mano de obra, fertilización y valor de la semilla, lo que genera el desinterés del campesinado de la siembra del banano en la zona del Magdalena.

**Figura 12. Participación de los costos de producción del banano**



*Nota.* Descripción participativa de los costos producción. Tomado de: Finagro. Banano.p.03

## Anotación 2

Para esta anotación se puso en marcha la aplicación del modelo frente a los escenarios evidenciados en el diagnóstico y con sus respectivas cifras dadas por la (FAO, 2022) de

los valores porcentuales en los desperdicios de las fincas productoras debido a las malas prácticas agrícolas y del transporte. Para la implementación del modelo se deben llenar una serie de datos, ya que cada finca puede presentar costos diferentes por las necesidades que esta tenga, teniendo en cuenta que según (Minagricultura, 2021) el promedio productivo por una hectárea de banano está entre las 7Ton/ha el cual se espera que para el 2022 el promedio del rendimiento este 10 Ton/ha con resto al 2021 por ende, dentro de la aplicación del modelo se van a trabajar con una producción de 10 toneladas sobre la hectárea de una finca y los 4 tipos de bananos que se producen en esa zona, aplicándoles los distintos escenarios de los puntos críticos, finalmente reflejándose en las regalías.

Basado en la información otorgada anteriormente se hizo el estudio a una finca, la cual tenía un rendimiento productivo de 10Ton/ha producidas en los 4 tipos de banano, con un solo comercializador, teniendo en cuenta que se generaron tablas que describen los valores por mano de obra, insumos faltantes, cantidades producidas de bananos, a los cuales se les aplicarán los escenarios mencionados en el diagnóstico. Cabe resaltar que los costos anteriormente mencionados serán fijos para la producción de los tipos de banano, el único valor que cambiará es el de transporte ya que solo puede ir un tipo de banano por transporte. Dicho esto, se quiere determinar la cantidad de viajes que se requieren para cada tipo de banano, permitiendo así poder hacer una disminución en los precios de transporte.

**Tabla 3 descripción de productividad de la finca, comercializador y costos fijos de los servicios básicos para su funcionamiento**

|   |                   |
|---|-------------------|
| # de fincas                               | 1                 |
| #Hectareas                                | 1                 |
| # de comercializador                      | 1                 |
| Promedio productivo (Ton/ha)              | 10                |
| Ubicación                                 | Zona Bananera     |
| Valor de luz                              | \$ 250.000        |
| Valor de Agua                             | \$ 500.000        |
| <b>Total de costos fijo finca por mes</b> | <b>\$ 750.000</b> |

*Nota.* Estos costos pueden ser variables dependiendo la cantidad de hectáreas de la finca Tomado de: valor de servicios públicos de la zona bananera.

**Tabla 4 Costos de herramientas y fertilizantes**

| Herramienta                           | Unidad          | Numero de unidad | valor unidad     | Total               |
|---------------------------------------|-----------------|------------------|------------------|---------------------|
| Machete                               | Unidad          | 6                | \$ 6.500         | \$ 39.000           |
| Gurbia                                | Unidad          | 2                | \$ 7.600         | \$ 15.200           |
| Balde                                 | Unidad          | 7                | \$ 3.190         | \$ 22.330           |
| Rula                                  | Unidad          | 3                | \$ 5.600         | \$ 16.800           |
| Sable                                 | Unidad          | 4                | \$ 5.950         | \$ 23.800           |
| Lima                                  | Unidad          | 5                | \$ 2.700         | \$ 13.500           |
| Pala                                  | Unidad          | 6                | \$ 7.000         | \$ 42.000           |
| Deshajodara                           | Unidad          | 7                | \$ 12.550        | \$ 87.850           |
| <b>SUBTOTAL</b>                       |                 | <b>40</b>        | <b>\$ 51.090</b> | <b>\$ 260.480</b>   |
| Fertilizacion                         | Unidad          | Cantidad         | Precio           | Total               |
| Yeso                                  | Bultos/hectarea | 10               | \$ 9.000         | \$ 90.000           |
| Urea                                  | Bultos/hectarea | 10               | \$ 41.000        | \$ 410.000          |
| Potasio                               | Bultos/hectarea | 2                | \$ 34.000        | \$ 68.000           |
| Mezcla(15-4-23-4)                     | Bultos/hectarea | 3                | \$ 38.000        | \$ 114.000          |
| Borozinco                             | Bultos/hectarea | 3                | \$ 55.000        | \$ 165.000          |
| Materia organica                      | Bultos/hectarea | 4                | \$ 10.000        | \$ 40.000           |
| Bolsas Poly-D                         | Bolsas/hectaria | 2                | \$ 300           | \$ 600              |
| Hilo Royal                            | Metro           | 2                | \$ 3.000         | \$ 6.000            |
| Cinta plastica                        | Cineta/hectaria | 5                | \$ 10.710        | \$ 53.550           |
| Pega                                  | Gramos          | 6                | \$ 4.000         | \$ 24.000           |
| Alumbre                               | kiligrama       | 7                | \$ 2.000         | \$ 14.000           |
| Sellos                                | Unidad          | 8                | \$ 100           | \$ 800              |
| <b>SUBTOTAL para las dos jornadas</b> |                 | <b>62</b>        |                  | <b>\$ 1.971.900</b> |
| <b>Total (insumos)</b>                |                 |                  |                  | <b>\$ 2.232.380</b> |

*Nota.* Costo de insumos.

**Tabla 5 Costo de mano de obra**

| Horas destinadas para la labor |                      |                 |                   |           |               |                        |                     | 5 |
|--------------------------------|----------------------|-----------------|-------------------|-----------|---------------|------------------------|---------------------|---|
| Mano de obra                   | Unidad               | Ciclo /semestre | Cantidad veces en | Obrero    | Dias de labor | Total de hora laborada | Total               |   |
| Desmache sable                 | uds/jornal           | 4-5-10          | 3                 | 1         | 3             | \$ 72.495              | \$ 217.485,0        |   |
| Fertilizacion                  | uds/jornal           | 1               | 1                 | 1         | 2             | \$ 48.330              | \$ 48.330,0         |   |
| Fumigacion malezas             | uds/jornal           | 2               | 1                 | 1         | 5             | \$ 120.825             | \$ 120.825,0        |   |
| Chapeo                         | Ha/jornal            | 4               | 1                 | 1         | 6             | \$ 144.990             | \$ 144.990,0        |   |
| Limpieza canales tipo 2y 3     | metros lineal/jornal | 5               | 1                 | 1         | 4             | \$ 96.660              | \$ 96.660,0         |   |
| limpieza Cunetas               | metros lineal/jornal | 6               | 1                 | 1         | 7             | \$ 169.155             | \$ 169.155,0        |   |
| Recava canales tipo 2 y 3      | metros lineal/jornal | 7               | 1                 | 1         | 8             | \$ 193.320             | \$ 193.320,0        |   |
| Recava cunetas                 | metros lineal/jornal | 8               | 1                 | 1         | 5             | \$ 120.825             | \$ 120.825,0        |   |
| Embolse                        | Embolses/jornal      | 9               | 1                 | 1         | 3             | \$ 72.495              | \$ 72.495,0         |   |
| Desmane, desbacate y desflore  | Und/jornal           | 10              | 1                 | 1         | 2             | \$ 48.330              | \$ 48.330,0         |   |
| Amarre                         | Amarres/jornal       | 11              | 1                 | 1         | 1             | \$ 24.165              | \$ 24.165,0         |   |
| Repique, recoleccion, nylon    | Und/jornal           | 12              | 1                 | 1         | 3             | \$ 72.495              | \$ 72.495,0         |   |
| Deshoje y cirugia              | Ha/jornal            | 13              | 1                 | 1         | 4             | \$ 96.660              | \$ 96.660,0         |   |
| Otras labores                  | Jornales / semestres | 14              | 1                 | 1         | 5             | \$ 120.825             | \$ 120.825,0        |   |
| <b>Total mano de obra</b>      |                      |                 |                   | <b>14</b> | <b>58</b>     |                        | <b>\$ 1.546.560</b> |   |

*Nota.* Costos variables de mano de obra

**Tabla 6 Precios establecidos por las destinadas cajas de banano**

| Tipo de caja | Peso de caja | # tipos Banano | Tipo de banano      | Precio de venta |
|--------------|--------------|----------------|---------------------|-----------------|
| 22XU         | 20 kg        | 1              | banano exportacion  | \$ 38.430       |
| 208          | 14 kg        | 2              | Banano criollo      | \$ 25.620       |
| BB           | 7 kg         | 3              | baby banano         | \$ 6.000        |
| BM           | 7 kg         | 4              | Banano rojo- morado | \$ 5.000        |

*Nota.* Están esta tabla se reflejan dos varíales uno el peso de la caja con su respectivo precio en el mercado

**Tabla 7 Costos por transporte**

| Tipo camion        | Peso en Kg | Valor fijo de trasnporte |
|--------------------|------------|--------------------------|
| <b>furgon</b>      | 500 kg     | \$ 500.000               |
| <b>camion 1ton</b> | 1500 kg    | \$ 1.250.000             |
| <b>camiom 3ton</b> | 3000 kg    | \$ 1.500.000             |
| <b>camion 4ton</b> | 4000 kg    | \$ 2.000.000             |

*Nota.* Esta tabla refleja los costos fijos que tiene cada tipo de camión.

En la anterior tabla (6) y tabla (7) se establecen los costos fijos relacionando el precio de venta de un de tipo de banano en su respectivo empaque y del transporte el cual son valores que responden a los parámetros de  $\omega_{CTB}$  y  $\rho_{fC}$ , de esta manera las tablas (3), (4) y (5) responden a los costos variables de servicios, insumos y mano de obra, los valores que se establecieron en las tablas mencionadas son una finca para un mes de labor, estas variables dentro de las sumatorias estarán multiplicadas por los cuatro meses que dura la producción de la cosecha. En ese orden de ideas la última tabla establecida será la de producción ya que estará sometida a los escenarios de desperdicios, observando como estos pueden afectar las ganancias de una finca productora.

Para cada uno de los escenarios la finca de estudio tiene un rendimiento productivo de 10Ton/ha lo que estará dividido entra los cuatro tipos de banano producidos por la zona como se muestra en la tabla (8)

**Tabla 8 Producción de banano con un rendimiento de 10Ton/ha.**

| Tipos de banano     |              | 4             |                     |                  |                   |
|---------------------|--------------|---------------|---------------------|------------------|-------------------|
| Tipo de bano        | Tipo de caja | Valor de caja | producion en Ton/ha | Produccion en Kg | Cantiidad de caja |
| banano exportacion  | 22XU         | \$ 38.430     | 2                   | 2000             | 103 Cj            |
| Banano criollo      | 208          | \$ 25.620     | 2                   | 2000             | 148 Cj            |
| baby banano         | BB           | \$ 6.000      | 2                   | 2000             | 293 Cj            |
| Banano rojo- morado | BM           | \$ 5.000      | 2                   | 2000             | 293 Cj            |

*Nota.* Cabe resaltar que los valores de cantidad de cajas no están expuestos a los desperdicios.

### Escenario Critico

Para este se aplicó lo descrito en la tabla (2), mostrando como estos márgenes de desperdicio afectan la cantidad de cajas producidas y las pérdidas en el transporte por las malas prácticas.

**Tabla 9 Escenario critico**

|  | banano exportacion | Banano criollo | baby banano | Banano rojo-morado |
|--|--------------------|----------------|-------------|--------------------|
| Porcentaje de desperdicio produccion       | 30%                | 30%            | 30%         | 30%                |
| Porcentaje de desperdicio en el transporte | 35%                | 35%            | 35%         | 35%                |

| Tipos de banana     |                      |                  |                |                       |                  |                                   |                  |
|---------------------|----------------------|------------------|----------------|-----------------------|------------------|-----------------------------------|------------------|
| Tipo de banana      | produccion en Ton/ha | Produccion en Kg | Desperdicio Kg | Produccion total (Kg) | Cantidad de caja | perdidas por transporte recorrido | Cajas entregadas |
| banana exportacion  | 2                    | 2000             | 600            | 1400                  | 72 Cj            | 25                                | 47 Cj            |
| Banano criollo      | 2                    | 2000             | 600            | 1400                  | 104 Cj           | 36                                | 67 Cj            |
| baby banana         | 2                    | 2000             | 600            | 1400                  | 205 Cj           | 72                                | 133 Cj           |
| Banano rojo- morado | 2                    | 2000             | 600            | 1400                  | 205 Cj           | 72                                | 133 Cj           |

Como se observa en la tabla 9 las pérdidas en la finca por un escenario critico es de 600Kg con respecto a la producción el cual se traduciría a pérdidas como se muestra en la tabla 10



**Tabla 10 Perdida de caja en la producción y transporte para un escenario critico**

|                     | cajas sin perdidias | cajas con perdidas | Total de cajas producidas | perdidias de caja en transporte | Total de cajas entregadas | Total de Ton/ha al comercializ ador |
|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| banano exportacion  | 103                 | 31                 | 72                        | 25                              | 47 Cj                     | 910                                 |
| Banano criollo      | 148                 | 44                 | 104                       | 36                              | 67 Cj                     | 910                                 |
| baby banano         | 293                 | 88                 | 205                       | 72                              | 133 Cj                    | 910                                 |
| Banano rojo- morado | 293                 | 88                 | 205                       | 72                              | 133 Cj                    | 910                                 |
|                     |                     | <b>Total</b>       | <b>586</b>                | <b>205</b>                      | <b>381</b>                | <b>3,64</b>                         |
|                     |                     |                    |                           |                                 | <b>Perdidias</b>          | <b>6,36</b>                         |

Estas pérdidas en los diferentes eslabones de la cadena tanto productivo como de transporte se ven reflejadas en las regalías y la demanda establecida por el comercializador, es decir que si el rendimiento de la finca es de 10Ton/ha y por los márgenes tan altos de desperdicio no se podría cumplir con la demanda ya que solo estaría entregado 3,64 Ton al comercializador perdiendo en el proceso 6,36ton, estos valores de perdida estarán evidenciados en las regalías como se muestra en la siguientes tablas

**Tabla 11 Valores obtenidos del modelo**

| <b>Esenario planteado (critico)</b> |  |   |   |   |
|-------------------------------------|--|---|---|---|
| <b>Maximizacion del finca</b>       | <b>Valor de venta si no de tuvieran perdidas</b> | <b>ventas obtenidas por el numero de cajas entregadas al camion</b> | <b>Valor de cajas perdidas en el transporte</b> | <b>valor de regalias sin incluir las devoluciones del perdidas de cajas en el trasporte</b> |
| banano exportacion                  | \$ 3.941.538                                     | \$ 1.793.400  | \$ 965.677                                      | \$ 1.091.061  |
| Banano criollo                      | \$ 3.795.556                                     | \$ 2.656.889  | \$ 929.911                                      | \$ 946.609  |
| baby banano                         | \$ 1.759.531                                     | \$ 1.231.672  | \$ 431.085                                      | -\$ 523.933   |
| Banano rojo- morado                 | \$ 1.464.129                                     | \$ 1.024.890  | \$ 358.712                                      | -\$ 730.648   |
|                                     |  | <b>Total de ganacias</b>  | <b>\$</b>                                       | <b>783.090</b>  |

En ese orden de ideas las cifras aplicadas al modelo que se expresan en la tabla 11, se puede observar que los grandes márgenes de desperdicio tanto en el transporte como en las

fincas productoras no cumplen las expectativas en las ganancias, ya que las malas prácticas de estas no permitirían recuperar la inversión de \$8.418.620 millones de pesos.

### Escenario Medio

Para este se aplicó lo descrito en la tabla (3), mostrando como estos márgenes de desperdicio en un escenario promedio y analizando cómo esto afecta la cantidad de cajas producidas y la cantidad de cajas perdidas en tránsito debido a malas prácticas.

**Tabla 12 Escenario medio**

|  | banano exportacion | Banano criollo | baby banano | Banano rojo-morado |
|--|--------------------|----------------|-------------|--------------------|
| Procentaje de desperdicio produccion       | 20%                | 20%            | 20%         | 20%                |
| Porcentaje de desperdicio en el trasnporte | 25%                | 25%            | 25%         | 25%                |

| Tipos de banano     |                     |                  |                |                       |                  |                                   |                  |
|---------------------|---------------------|------------------|----------------|-----------------------|------------------|-----------------------------------|------------------|
| Tipo de bano        | producion en Ton/ha | Produccion en Kg | Desperdicio Kg | Produccion total (Kg) | Cantidad de caja | perdidas por trasnporte recorrido | Cajas entregadas |
| banano exportacion  | 2                   | 2000             | 400            | 1600                  | 82 Cj            | 21                                | 62 Cj            |
| Banano criollo      | 2                   | 2000             | 400            | 1600                  | 119 Cj           | 30                                | 89 Cj            |
| baby banano         | 2                   | 2000             | 400            | 1600                  | 235 Cj           | 59                                | 176 Cj           |
| Banano rojo- morado | 2                   | 2000             | 400            | 1600                  | 234 Cj           | 59                                | 176 Cj           |

Como se observa en la tabla 12 las perdidas en la finca por un escenario medio son de 400Kg por mal manejo del producto y en el transporte de 21 cajas con respecto a las de perdidas mencionado en la tabla 9. En las siguientes tablas se observará el impacto de estas pérdidas en las toneladas perdidas en todo el proceso descrita en la tabla 13 así como las afectaciones de ganancia que tiene este escenario.

**Tabla 13 Perdida de caja en la producción y transporte para un escenario medio**

|                     | cajas sin perdidias | cajas con perdidas | Total de cajas producidas | perdidas de caja en transporte | Total de cajas entregadas | Total de Ton/ha al comercializ ador |
|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| banano exportacion  | 103                 | 21                 | 82                        | 21                             | 62 Cj                     | 1200                                |
| Banano criollo      | 148                 | 30                 | 119                       | 30                             | 89 Cj                     | 1200                                |
| baby banano         | 293                 | 59                 | 235                       | 59                             | 176 Cj                    | 1200                                |
| Banano rojo- morado | 293                 | 59                 | 234                       | 59                             | 176 Cj                    | 1200                                |
|                     |                     |                    | <b>Total</b>              | <b>167</b>                     | <b>502</b>                | <b>4,8</b>                          |
|                     |                     |                    |                           |                                | <b>Perdidas</b>           | <b>5,2</b>                          |

**Tabla 14 Valores obtenidos del modelo**

| Esenario planteado (Medio) |   |  |  |  |
|----------------------------|---|--|--|--|
| Maximizacion del finca     | Valor de venta si no de tuvieran perdidas | ventas obtenidas por el numero de cajas entregadas al camion | Valor de cajas perdidas en el transporte | valor de regalias sin incluir las devoluciones del perdidas de cajas en el trasporte |
| banano exportacion         | \$ 3.941.538                              | \$ 3.153.231   | \$ 788.308                               | \$ 1.479.903   |
| Banano criollo             | \$ 3.795.556                              | \$ 3.036.444   | \$ 759.111                               | \$ 1.321.609   |
| baby banano                | \$ 1.759.531                              | \$ 1.407.625   | \$ 351.906                               | -\$ 350.775  |
| Banano rojo- morado        | \$ 1.464.129                              | \$ 1.171.303   | \$ 292.826                               | -\$ 587.033  |
|                            |   | <b>Total de ganancias</b>                                    | <b>\$</b>                                | <b>1.863.704</b>   |

Al igual que el escenario crítico, el baby banano y el banano rojo-morado sus utilidades son nulas, pero a diferencia del anterior este se encuentra en un punto de equilibrio permitiéndole ganancias de porcentaje mínimo de \$1.863.704 millones de pesos en todo el proceso. Este escenario puede mejorar las prácticas agrícolas y de transporte para los siguientes periodos de producción y determinar la mejor opción de banano a producir.

### Escenario bueno

Utilizando la descripción de la Tabla (4), con la diferencia que no se trabajara para las fincas un valor de pérdida 10% si no del 5% de esta manera también este porcentaje para el

transporte, siendo 10% el límite para que el escenario sea bueno mostramos cuánto de este desperdicio existe en un escenario bueno y analizamos cómo esto afecta la cantidad de cajas producidas y la cantidad de cajas perdidas en tránsito debido a malas prácticas.

**Tabla 15 Perdida de caja en la producción y transporte para un escenario bueno**

|  | banano exportacion | Banano criollo | baby banano | Banano rojo-morado |
|--|--------------------|----------------|-------------|--------------------|
| Procentaje de desperdicio produccion       | 5%                 | 5%             | 5%          | 5%                 |
| Porcentaje de desperdicio en el trasnporte | 5%                 | 5%             | 5%          | 5%                 |

| Tipos de banano     |                     |                 |                |                       |                   |                                   |                  |
|---------------------|---------------------|-----------------|----------------|-----------------------|-------------------|-----------------------------------|------------------|
| Tipo de bano        | producion en Ton/ha | Producion en Kg | Desperdicio Kg | Produccion total (Kg) | Cantiidad de caja | perdidas por trasnporte recorrido | Cajas entregadas |
| banano exportacion  | 2                   | 2000            | 100            | 1900                  | 97 Cj             | 5                                 | 93 Cj            |
| Banano criollo      | 2                   | 2000            | 100            | 1900                  | 141 Cj            | 7                                 | 134 Cj           |
| baby banano         | 2                   | 2000            | 100            | 1900                  | 279 Cj            | 14                                | 265 Cj           |
| Banano rojo- morado | 2                   | 2000            | 100            | 1900                  | 278 Cj            | 14                                | 264 Cj           |

**Tabla 16 Perdida de caja en la producción y transporte para un escenario bueno**

|                     | cajas sin peridias | cajas con perdidas | Total de cajas producidas | perdidas de caja en transporte | Total de cajas entregadas | Total de Ton/ha al comercializ ador |
|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| banano exportacion  | 103                | 5                  | 97                        | 5                              | 93 Cj                     | 1805                                |
| Banano criollo      | 148                | 7                  | 141                       | 7                              | 134 Cj                    | 1805                                |
| baby banano         | 293                | 15                 | 279                       | 14                             | 265 Cj                    | 1805                                |
| Banano rojo- morado | 293                | 15                 | 278                       | 14                             | 264 Cj                    | 1805                                |
|                     |                    | Total              | 795                       | 40                             | 755                       | 7,22                                |
|                     |                    |                    |                           | Perdidas                       |                           | 2,78                                |

**Tabla 17 Valores obtenidos del modelo**

| <b>Esenario planteado (Bueno)</b> |  |   |   |   |
|-----------------------------------|--|---|---|---|
| <b>Maximizacion del finca</b>     | <b>Valor de venta si no de tuvieron perdidas</b> | <b>ventas obtenidas por el numero de cajas entregadas al camion</b> | <b>Valor de cajas perdidas en el transporte</b> | <b>valor de regalías sin incluir las devoluciones del perdidas de cajas en el trasporte</b> |
| banano exportacion                | \$ 3.941.538                                     | \$ 3.744.462  | \$ 187.223                                      | \$ 2.049.553  |
| Banano criollo                    | \$ 3.795.556                                     | \$ 3.605.778  | \$ 180.289                                      | \$ 1.876.738  |
| baby banano                       | \$ 1.759.531                                     | \$ 1.671.554  | \$ 83.578                                       | -\$ 93.607  |
| Banano rojo- morado               | \$ 1.464.129                                     | \$ 1.390.922  | \$ 69.546                                       | -\$ 730.648   |
| <b>Total de ganancias</b>         |  |   |   | <b>\$ 3.102.036</b>   |

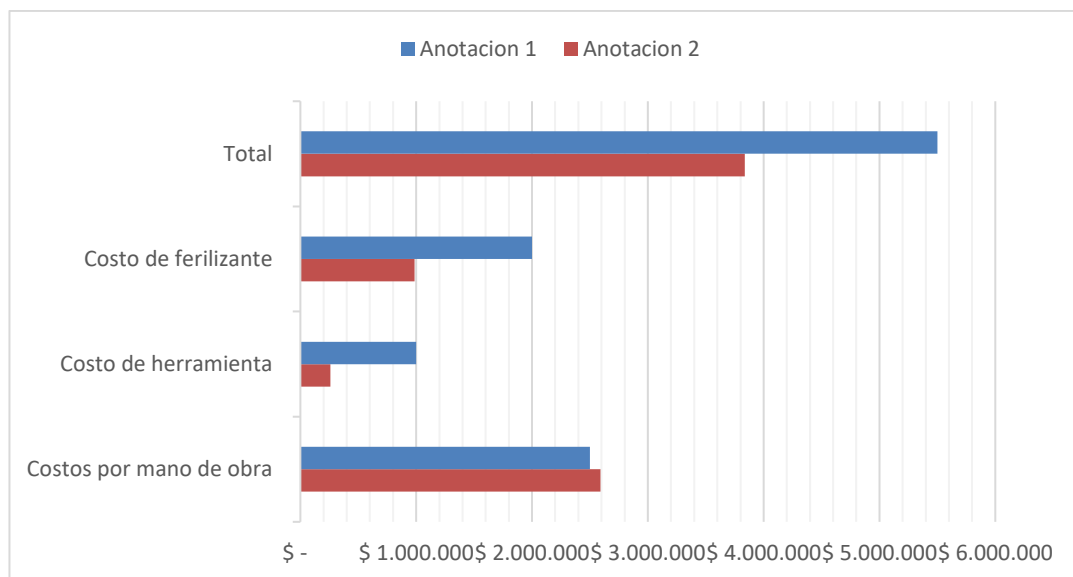
**Anotaciones 3**

En la siguiente tabla se observarán los costos que se tienen en cada una de las anotaciones y su costo mensual, como los costos de los cuatro meses de producción. Teniendo en cuenta que la anotación 1 es mucho más costosa que la anotación 2, ya que la primera anotación establece todos los costos que se necesitan más todos los escenarios sin ningún detalle que se puede presentar, por otra parte, lo que busca la segunda anotación es maximizar la productividad de las fincas y para esto se tuvo en cuenta tanto los gastos de las manos de obra, como los escenarios de fertilización en vista de que estas fincas no empiezan de cero su producción, y que también reciclan sus herramientas (machete, sables, chuchillas...etc.). En los siguientes numerales se observa el desempeño de cada escenario la cual permite al campesinado solucionar su problema de producción y así de esa manera obtener mayor rentabilidad maximizando las ganancias en producción, mejor manera de decidir qué tipo de banano cosechar, tipo de comercializador y tipo de transporte asegurando la integridad de su producto tanto en calidad como en eficiencia al comercializador.

**Tabla 18 Costo anotación 1 y 2**

|                                  | Anotacion 1          | Anotacion 2          |
|----------------------------------|----------------------|----------------------|
| <b>Costos por mano de obra</b>   | \$ 2.500.000         | \$ 2.590.488         |
| <b>Costo de herramienta</b>      | \$ 1.000.000         | \$ 260.480           |
| <b>Costo de fertilizante</b>     | \$ 2.000.000         | \$ 985.950           |
| <b>Total</b>                     | <b>\$ 5.500.000</b>  | <b>\$ 3.836.918</b>  |
| <b>Total Final de la cosecha</b> | <b>\$ 22.000.000</b> | <b>\$ 15.347.672</b> |

*Nota.* Comparativa de costo. Tomado de: Investigación Daniel Naizir

**Ilustración 2 Comparativa de costos anotación 1 y 2**

*Nota.* Investigación Daniel Naizir

En la anotación 2 se describieron las afectaciones que tienen cada uno de los escenarios frente a las regalías productoras, permitiendo establecer que los parámetros para productores generen las mayores ganancias en el banano de exportación y banano criollo como se evidencia en la tabla 11,14 y 17, para darle una solución a estos escenarios se

deben hacer en la segunda cosecha, ya que de los resultados para maximizar las ganancias están ligados a la manipulación del producto en postcosecha y cosecha lo que al hacer malas prácticas agrícolas afectará la producción teniendo pérdidas significativas. En la comparación de la tabla 17 del tercer escenario se evidencia que la mejora en las regalías y se comprueba que las mejores ganancias las tiene el banano exportación y el banano criollo.

### **Conclusiones**

La cadena de suministro de banano en la región del Magdalena específicamente en el municipio zona bananera tiene una gran diversidad tanto en su producción como su distribución, puesto a que muchas empresas grandes como pequeñas llegan directamente a las fincas productoras buscando satisfacer sus necesidades para el mercado tanto nacional como internacional, así mismo estas empresas tienen diversos tipos de transporte lo cuales en el 50% de los casos son inadecuados para el transporte del producto, causando pérdidas, mala manipulación y maltrato del producto, sobre todo los altos costos alrededor de la cantidad de viajes que debe hacer hacia el punto de acopio del comercializador, lo cual puede relentizar la distribución del producto ya que no existe ni un orden de planeación de cosecha ni la cantidad de tipo de banano producido, de igual manera afectando la distribución de producto hacia los diferentes tipos de comercializador o de ventas directas que se tengan en los mercados internacionales.

Teniendo en cuenta que de las 10.892 hectáreas destinadas al cultivo en la zona bananera puede llegar a tener sus propias complicaciones a la hora de abastecimiento y salida de los diferentes tipos de banano a los centros de distribución, en este caso las fincas deben ser abastecidas de insumos primordiales como fertilizantes puesto a que las herramientas son cambiadas cada cierto tiempo, pero al haber una mala capacitación del campesinado generan grandes vacíos a la hora de solicitar insumos esenciales para la producción óptima del banano, debido a la alta escases de productos agroquímicos que presenta el país así como los diferentes sistemas de inventarios que existen para evitar estos huecos en la postcosecha de banano. En cambio, en esta investigación se muestra como la implementación de un modelo matemático binario mixto de maximización puede llegar a mejorar el rendimiento productivo de las fincas, generando menores costos de mano de obra e insumos, así como también la mejor manera para decidir el tipo de camión por la cantidad producida de tipos de banano facilitando la distribución a los comercializadores garantizando su calidad e integridad del producto.

A través del modelo corriendo en Excel y volver se puede identificar principales que generan insatisfacción en los comercializadores y causan el desabastecimiento de la “cadena de suministro del banano en la región del Magdalena” para la adquisición de un servicio en este caso mano de obra y de productos relación insumos se le atribuye a los administradores o dueños de fincas ya que al desconocer el los métodos de inventario, distribución, transporte y perdidas del producto que estas características anterior generar, por lo cual a lo largo del tiempo se han realizado diversos estudios incluyendo este y las



diversas soluciones planteadas, como la selección de mercados electrónicos, en los cuales los comercializadores a través de las medidas productivas de la diferentes fincas pueden elegir el tipo de banano para satisfacer dichas de manas lo cual todo este proceso puede ser realizado por medio de la red, enviando en tiempo real la solicitud de compra del lote, hectárea, o unidades de cajas, planificando las ventas del producto a final de la cosecha y haciendo un promedio tiempo en la que el cliente recibirá su pedido. Hoy en día la planificación de abastecimientos suministro como de las rutas de distribución así los diferentes comercializadores pueden mejorarse aplicaciones por GPS y por los modelos matemáticos que se han desarrollado para disminuir los costos productivos, maximizando la producción de un producto generando mayores utilidades tanto para el dueño de la finca como el comercializador, así mismo a estos modelos se le han añadido diversas restricciones para adaptarse a la diferentes problemáticas mantenido la calidad del producto.

Teniendo en cuenta lo mencionado, una buena aplicación de este modelo matemático a la hora de ser aplicado en un conjunto de fincas reducirá las altas perdidas de banano la zona del Magdalena, teniendo en cuenta modelos como el del presente documento, se podría llegar aplicar a más zonas de Colombia con productos similares al banano, reduciendo así las malas prácticas de producción, abastecimiento, transporte y comercialización bajando perdidas del producto por su manipulación o cosechado.

### **Recomendaciones**

El modelo matemático propuesto puede dar buenos resultados para la maximización de las fincas, teniendo en cuenta la demanda de los tipos de banano por parte de los comercializadores minoristas como mayorista y las ubicaciones de cada una de estas, incluyendo los tipos de vehículos que pueden ser utilizados. Se tiene en cuenta los costos directos e indirectos, así como el número de hectárea que puede tener la finca.

Los resultados que se muestran en esta investigación, en primera instancia es la disminución de costos relacionados a la producción, insumos y transporte, así mismo el modelo muestra por medio de tablas dinámicas los costos variables de cada proceso durante los meses de postcosecha haciendo generando la muestra de utilidades al final de las ventas.

Las mejoras que se pueden implementar en el modelo matemático presente en el documento a futuro, son la de establecer costos de transporte por tiempo, ya que a distancias más largas los conductores tienden a dar vueltas afectando la calidad del producto, además otro factor que importante la demanda no siempre va hacer la mismo, utilizar un método para la solución de números de viajes que puede hacer un camión por unidad de tipo de banano, las cuales se pueden ver interrumpidas por la capacidad de carga.

Se recomienda realizar una investigación en cuanto a los tiempos de entrega oportunas suministro como las que puede realizar el comercializador, puesto a que esto puede generar un modelo con ventajas de tiempo, es decir entregas tempranas, en las horas estipuladas,

satisfacciones las necesidades de los suministros de las fincas como la demanda del comercializador.

### Bibliografía

- (s.f.).  
 ActividadesEconomicas. (s.f.). 5.1. Obtenido de Actividades económicas de Colombia:  
[https://actividadeseconomicas.org/actividades-economicas-de-colombia/#Exportaciones\\_de\\_Colombia](https://actividadeseconomicas.org/actividades-economicas-de-colombia/#Exportaciones_de_Colombia)
- American Psychological Association. (2010). *Manual de Publicaciones de la American Psychological Association* (6 ed.). (M. G. Frías, Trad.) México, México: El Manual Moderno.
- CADENAPRODUCTIVADELPLÁTANO. (2019). *Estudio economico Plantano*. Obtenido de  
<https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/Estudio%20economico%20Plantano%20%2B%2B.pdf>
- colombia, I. D. (s.f.). *Datos de exportaciones*. Obtenido de <https://www.dian.gov.co/CongresodelaRepublica>. (12 de 08 de 2011). *funcion publica*. Obtenido de Ley1480 de 2011:  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=44306>
- Cristina, A. P. (25 de 04 de 2021). Obtenido de  
<https://www.redalyc.org/journal/6078/607868325004/607868325004.pdf>
- DÁVILA VÉLEZ, J. G., & RAMÍREZ OTERO, L. F. (30 de 03 de 2011). Obtenido de  
<https://www.redalyc.org/pdf/478/47823946001.pdf>
- decreto3075de1997. (s.f.). Obtenido de  
[https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/DECRETO%203075%20DE%201997.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/DECRETO%203075%20DE%201997.pdf)
- DIAN. (2022). *Dirección Nacional de Aduanas de Colombia*. Obtenido de Las exportaciones de Colombia: <https://www.fao.org/3/cc1610es/cc1610es.pdf>
- Díaz Gamez, G. L., & Bernal Celemin, M. P. (04 de 02 de 2017). Obtenido de  
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/5244/DiazGamezGinaLizeth20?sequence=1>

- Díaz Jara, V. G., López Iglesias, S. A., & Caamaño Barcos, M. d. (14 de 11 de 2018).  
Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/45480>
- Distrital, S. J. (s.f.). *Decreto 263 de 2010 Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C.* Obtenido de  
Regimen legal de Bogota D.C:  
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=39990>
- DISTRITO, E. A. (15 de 08 de 2006). Obtenido de DECRETO 315 DE 2006:  
[http://www.saludcapital.gov.co/Normo/gsp/decreto\\_315\\_de\\_2006.pdf](http://www.saludcapital.gov.co/Normo/gsp/decreto_315_de_2006.pdf)
- Echeverri Agudelo, C. E., Londoño Moreno, C. C., Uribe Muñoz, S. P., & Gonzalez Aguirre, Y. (10 de 07 de 2017). Obtenido de  
<https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/handle/tda/133/Estudio%20de%20mercado?sequence=1>
- FAO. (2022). *Banano. Análisis del Mercado* . Obtenido de <https://www.fao.org/>.
- Finagro. (s.f.). Obtenido de Ficha de inteligencia banano tipo exportacion:  
[https://www.finagro.com.co/sites/default/files/node/basic-page/files/ficha\\_banano\\_version\\_ii.pdf](https://www.finagro.com.co/sites/default/files/node/basic-page/files/ficha_banano_version_ii.pdf)
- Gamboa Ocampo, J. J. (2012). Obtenido de La Referencia:  
[https://www.lareferencia.info/vufind/Record/CO\\_c7d81e8c89848248955311d57aadc65e](https://www.lareferencia.info/vufind/Record/CO_c7d81e8c89848248955311d57aadc65e)
- Hettiarachchi, D., Aluwihare, C. P., Weerasinghe, A. N., Kulatunga, A. K., Jayawardana, J., Dharmapriya, S., & Chandrasiri, C. (02 de 08 de 2022). Obtenido de  
<https://www.mdpi.com/2071-1050/14/19/12060/pdf>
- IBM. (17 de 08 de 2021). *Modelos lineales*. Obtenido de <https://www.ibm.com/>:  
<https://www.ibm.com/docs/es/spss-modeler/saas?topic=node-linear-models>
- Iguarán, A. (01 de 02 de 2021). *En 2021 se exportaron 864.464 toneladas de banano*, págs. <https://www.elheraldo.co/magdalena/exportacion-de-banano-en-2021-desde-la-region-caribe-se-exportaron-864464-toneladas-884021>.
- IGUARÁN, A. (23 de Nov de 2021). Demora en obras sobre puente del Río Frío genera pérdidas a bananeros. *EL Herald*, pág. 1.
- Machado Ramírez, G. C. (30 de 10 de 2014). Obtenido de  
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/12532/PROYECTO%20FINAL%20GLORIA%20C%20MACHADO%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mai Al-Dairi, P. B.-Y. (2021). *Mechanical damage of fresh produce in postharvest transportation: Current status and future prospects*. Obtenido de sciencedirect:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224422001480>
- Manualpracticodelogistico. (s.f.). Manual practico de logistica. En Pilot, *Manual practico de logistica* (pág. 9).
- MEJIA, D. C., & GARCÉS, J. P. (2013). Obtenido de  
[https://repository.eia.edu.co/bitstream/handle/11190/318/GaviriaDiana\\_2013\\_AnalisisCadenaSuministro.pdf?sequence=7&isAllowed=y](https://repository.eia.edu.co/bitstream/handle/11190/318/GaviriaDiana_2013_AnalisisCadenaSuministro.pdf?sequence=7&isAllowed=y)
- Mejía, G., Granados-Rivera, D., Jarrín, J. A., Castellanos, A., Mayorquín, N., & Molano, E. (31 de 12 de 2020). Obtenido de <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/4/1792/pdf>


- Minagricultura. (Diciembre de 2020). *Producción mundial de Banano*. Obtenido de CADENA DE BANANO :  
<https://sioc.minagricultura.gov.co/Banano/Documentos/2020-12-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Minagricultura. (12 de 2021). Obtenido de  
<https://sioc.minagricultura.gov.co/Banano/Documentos/2020-12-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Montaña Celis, J. D. (2020). Obtenido de  
[https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/14795/2020\\_Tesis\\_Jeison\\_Monta%20C3%B1a\\_Celis.pdf?sequence=1](https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/14795/2020_Tesis_Jeison_Monta%20C3%B1a_Celis.pdf?sequence=1)
- MORA, L. A. (2016). Obtenido de slideshare:  
<https://es.slideshare.net/AlbertoBalmaseda2/gestion-logisticaintegral-lasluisanibalmoragarcia>
- More, P. G., Behere, D. R., Housalmal, S. S., Khodke, S. U., Jadhav, S. B., & Kakade, A. S. (2015). *Assessment of vibration damage to banana bunches simulated by vibration tester*. Obtenido de cabdirect.org: <http://serialsjournals.com/archives.p...>
- Nariño, U. A. (s.f.). *uan.edu.co*. Obtenido de facultad de ingenieria-industrial:  
<https://www.uan.edu.co/facultad-de-ingenieria-industrial>
- OnlineIngenieriaIndustrial. (2 de julio de 2019). Obtenido de  
<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/>  
<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/logistica/indicadores-de-desempeno-logistico/>
- ONU. (2022). *17 objetivos para transformar nuestro mundo*. Obtenido de  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Palacios Díaz, C. A., & Peña Cardenas, A. (25 de 06 de 2019). Obtenido de  
<http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5449/Proyecto%20de%20exportaci%C3%B3n%20de%20pi%C3%B1a%20colombiana%20a%20Dub%C3%A1i.pdf?sequence=1&isAllowed=n>
- Peña-Orozco, D. L., Urueña-Villamil, J. F., & González-Valencia, L. A. (12 de 05 de 2015). Obtenido de  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1900-38032016000100020](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1900-38032016000100020)
- Peñaranda Peralta, J. L. (2019). Obtenido de Univalle:  
<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/19533/0604314.pdf?sequence=1>
- Redagícola. (02 de 09 de 2022). Obtenido de El reto es la sostenibilidad económica y también medioambiental del sector”: <https://www.redagricola.com/co/el-reto-es-la-sostenibilidad-economica-y-tambien-medioambiental-del-sector/>
- Reina, F. J. (s.f.). *Alimentos perecederos y no perecederos*. Obtenido de ingenieria de menu: <https://ingenieriademenu.com/alimentos-perecederos-y-no-perecederos-que-son-como-conservarlos/>
- Rivera Molina, A. F. (30 de 08 de 2017). Obtenido de  
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17800/Proyecto%20de%20grado%20Andres%20Rivera.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Roldan, P. N. (3 de 01 de 2019). Obtenido de economipedia:  
<https://economipedia.com/definiciones/modelo-matematico.html>
- SAC. (07 de 2022). *sac.org.co*. Obtenido de <https://sac.org.co/platano-estamos-bien-pero/>
- SALAS, F. A. (31 de 05 de 2022). Obtenido de  
[https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/57641/TESIS\\_OROZCO\\_SALAS\\_FREDDY\\_ANDR%C3%89S.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/57641/TESIS_OROZCO_SALAS_FREDDY_ANDR%C3%89S.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Sánchez, C. G., & Ríos, R. G. (01 de 2004). Obtenido de  
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4786712.pdf>
- semana, R. (2023). *No hay derecho: en Colombia se desperdicia el 34 % de los alimentos*. Colombia.
- ULLOA, I. J., & ROJAS, C. E. (01 de 01 de 2014). Obtenido de  
<https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/saber/article/download/1985/1487>

## Anexos

## Anexo 1 Diagnóstico de posibles modelos a aplicar para la cadena de abastecimiento

Tabla 19 Diagramas de modelos para la postulación del primer objetivo

| Fuente  | Teoría del Antecedente   | Dimensiones de análisis asociados a la investigación   | Objetivos  | Modelo  |
|---|--|--|--|---|
| <p><b>Fuente1:</b> (SALAS, 2022) “Planificación Integrada del Proceso de Armado de Contenedores en la Cadena de Suministro del Banano de Exportación”</p> | <p>(SALAS, 2022) “La cadena de suministro del banano de exportación puede variar entre países y empresas dependiendo del tamaño de la operación, los recursos disponibles y el nivel de integración entre los distintos entes en los eslabones de la cadena”</p> | <p>(SALAS, 2022) “El proceso inicia en las fincas productoras que suministran las cajas de banano; estas son apiladas en pallets y transportadas en contenedores refrigerados hasta el patio de almacenamiento de la empresa comercializadora donde, de ser necesario, se realizan transbordos de cajas entre contenedores para completar cada pedido”</p> | <p>El modelo tiene como objetivo proporcionar decisiones óptimas de cantidades de corte de fruta en las fincas y su posterior asignación a los contenedores, mientras se satisface la demanda y las restricciones operativas</p> | <p>(SALAS, 2022) distinción entre com</p>  <p>de una referenci<br/>y contenedores q<br/>llamados contened<br/>contenedores mixto<br/>los pedidos, y son l<br/>al proceso de toma d<br/>los flujos de fruta d<br/>su modelado frente</p> <p><i>Ilustración 2. E</i></p> |

|   |  |   |  |  |
|---|--|---|--|--|
| <p><b>Fuente2:</b> (Cristina, 2021)"Oportunidades para la transformación digital de la cadena de suministro del sector bananero basado en software con inteligencia artificial"</p> | <p>(Cristina, 2021) "La gestión de la cadena de suministro es clave para el éxito de las empresas y para la economía en general; tener precisión en la toma de decisiones ofrece una ventaja competitiva importante, sin embargo, existen muchos factores internos y externos que afectan el desempeño de la cadena de suministro. El sector agrícola y es especial el bananero, es significativo para la economía nacional y no está exento de los factores internos y externos que limitan el desempeño de su cadena de suministro. En los últimos años se ha demostrado que la Inteligencia Artificial (IA)",</p> | <p>(Cristina, 2021) "La cadena de suministro tradicional se caracteriza por flujos físicos que mueven productos, dinero e información entre todos los involucrados, desde la materia prima hasta la entrega a satisfacción de las solicitudes de un consumidor. El concepto de cadena de suministro inteligente varía y aun no se encuentra un consenso académico sobre la definición, como por ejemplo en proponen que la cadena de suministro inteligente es un sistema integrado construido dentro y entre empresas para combinar sistemas de gestión y tecnologías de información modernas para la intelectualización, digitalización, redes y automatización de la cadena de suministro"</p> | <p>(Cristina, 2021) "Este artículo tiene como objetivo identificar los impactos y oportunidades que puede ofrecer el software con inteligencia artificial para facilitar la operación y mejorar el desempeño de la cadena de suministro en el sector bananero de Colombia. La metodología de trabajo consta de seis pasos en donde se obtuvo un total de 72 investigaciones"</p>                             | <p>(Cristina, 2021) cadenas de suministro con los AG en el caso de las investigaciones de optimización de rutas de los productos permitiendo utilizar acuerdo al contexto costos y mejoramiento hecho propuestas para productos, optimización respecto al lugar de programación de órdenes de pedido</p>   |
| <p><b>Fuente 3:</b> (Machado Ramírez, 2014) "Estrategias logísticas para la exportación de perecederos en Colombia"</p>   | <p>Este trabajo desarrolló sus objetivos a partir de la identificación de los problemas generales existentes para los exportadores colombianos. En el desarrollo del mismo, se han planteado dos situaciones diferentes, una comercial y otra operativa; para Cárdenas (2007), la logística es parte esencial dentro de una organización que debe tenerse en cuenta</p>  | <p>En la primera fase metodológica (análisis cualitativo), se realizó una revisión rigurosa a través de la técnica de observación documental, la cual está basada en la obtención de información primaria, El objetivo es la búsqueda de las teorías existentes en relación con la logística internacional buscando conceptos, definiciones y documentos donde se visualizarán teorías e</p>  | <p>buscar la forma de lograr exportar los productos colombianos a menor costo, con el fin de ser más competitivos a nivel internacional. En la actualidad el tema de logística es un asunto tan importante que las organizaciones crean áreas específicas para su tratamiento, se ha desarrollado a través del tiempo y es un aspecto básico en la constante lucha por ser una empresa del primer mundo.</p> | <p>Los servicios logísticos en el sector privado, la injerencia demostró a través del crecimiento, el crecimiento de los ingresos de los consumidores de ellos tendría un TLCs y el estado puede reducir estos costos de logística es crear un aspecto claves: respectivos subcom debe tener en cuenta</p> |



|  |  |   |  |  |
|--|--|---|--|--|
|  | <p>para el proceso administrativo, en relación a que se debe planear y controlar el almacenamiento de las materias primas, productos en proceso y productos terminados ya que al final del proceso el objetivo es la satisfacción del cliente.</p> | <p>informes en relación con el tema en estudio. Para la segunda fase metodológica (síntesis), se establecieron dos mecanismos sintéticos. Uno la extracción del tema en forma resumida tomando factores claves explicativos enunciados en los diferentes conceptos planteados; el otro es el planteamiento con base en la revisión documental de las estrategias de mejoramiento en el uso de la cadena logística para los productos perecederos, el cual es el objetivo de la presente investigación y propósito del presente estudio.</p> |  | <p>turismo, Red de cer<br/>Red de terminales l<br/>transporte, Zonas d<br/>Para el software se p<br/>solamente par<br/>Almacenamiento, I<br/>cadena de frío<br/>Multimodal, Serv<br/>Certificado de Cali<br/>Digitación de Certi</p> |
|--|--|---|--|--|

*Nota.* Resultados de insatisfacción. Tomado de: Investigación Daniel Naizir 20

