

**Nota de Aceptación:**

**Proyecto de Diseño Aprobado**, en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana Cali para optar el título de Ingeniero Industrial.

P/ *Jorge Francisco Esteban*

---

HERNÁN CAMILO ROCHA NIÑO  
Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias



---

JORGE ENRIQUE ÁLVAREZ PATIÑO  
Director Carrera Ingeniería Industrial

  
CS Scanned with ComScanner


---

LUIS HERNANDO GARZON CANIZALES  
Director(a) Proyecto de Diseño



---

Daniel Morillo Torres  
Jurado 1



---

William Ocampo Duque  
Jurado 2



Profesor: **Alvaro Figueroa**

Cordial saludo.

Por medio de la presente doy AVAL al proyecto de diseño titulado “**Propuesta de integración de la cadena de abastecimiento del Aguacate Hass en Colombia**”. Como director del proyecto valido la información suministrada en el proyecto y confirmo que los objetivos propuestos fueron cumplidos conforme a los requisitos de la universidad.

Estudiantes:

Francisco Estrella Oliva  
Mateo Gonzalez Gutierrez  
Carlos Alberto Orejuela Montenegro  
Isabel Cristina Rosero Serrano

Cordialmente,

Luis Hernando Garzón  
Director de proyecto de diseño  
Departamento de Ingeniería Civil e Industrial  
Facultad de Ingeniería



# Propuesta de Integración de la Cadena de Abastecimiento del Aguacate Hass en Colombia

Francisco Estrella Oliva <sup>1 a,c</sup>, Mateo Gonzalez Gutierrez <sup>2 a,c</sup>, Carlos Orejuela Montenegro <sup>3 a,c</sup>,

Isabel Cristina Rosero <sup>4 a,c</sup> Luis Hernando Garzón <sup>b,c</sup>

<sup>a</sup>Estudiante de Ingeniería Industrial

<sup>b</sup>Profesor, director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Civil e Industrial

<sup>c</sup>Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia

<sup>d</sup>Entidad y área donde realizó el estudio

---

## Resumen en español

El aguacate Hass es el cuarto fruto tropical más importante del mundo y uno de los más exportados de Colombia, este presenta un incremento de consumo del 7% anual, por lo que el sector agroindustrial debe estar preparado para la creciente demanda extranjera. En este documento, se identifica el funcionamiento de la cadena de abastecimiento del Aguacate Hass en Colombia, donde se encuentra mayor dependencia hacia el modo carretero en el sistema de transporte de carga. Por lo que se evidencia una oportunidad de mejora que se centra en la deficiencia del modo carretero, debido a los costos logísticos elevados y problemas en el establecimiento de rutas. En este sentido, tras una investigación de la literatura se optó por un modelo de programación lineal mixta, con la combinación de dos modos de transporte, por lo que se presenta el diseño de una red intermodal que integra la cadena de abastecimiento del aguacate Hass. Los resultados se obtuvieron mediante el desarrollador GUROBI- (Plataforma NEOS). Se concluye que el modelo propuesto reduce costos logísticos en 1,08% respecto a la meta establecida de 0,2% (Política Nacional Logística). Consecuentemente, se incrementa la participación intermodal en la ruta crítica a un 26,2%. Mediante la variación del modelo en escenarios (Neutro-optimista-pesimista) para el costo por faltante, no hay cambios en los flujos y el modelo prefirió no dejar demanda insatisfecha para clientes con costos elevados. Adicionalmente, se verificó, que la variación de la capacidad del tren en la cantidad de vagones genera un cambio en el costo. El impacto ambiental se pronosticó con el software RStudio y simulación Montecarlo en el que se concluye que el modo carretero genera 11,901% veces más gCO<sub>2</sub> que utilizando el modo intermodal. Finalmente, también se obtiene un impacto social en el que se destaca el incremento de empleos directos e indirectos.

*Palabras claves: Agroindustria, Intermodalidad, Optimización.*

---

## Abstract

The Hass avocado is the fourth most important tropical fruit in the world and one of the most exported in Colombia, it presents an increase in consumption of 7% per year, so the agribusiness sector must be prepared for the growing foreign demand. In this document, the operation of the Hass avocado supply chain in Colombia is identified, where there is greater dependence on the highway mode in the cargo transportation system. Therefore, there is an opportunity for improvement that focuses on the deficiency of the highway mode, due to high logistics costs and problems in the establishment of routes. In this sense, after an investigation of the literature, a mixed linear programming model was chosen, with the combination of two modes of transport, which is why the design of an intermodal network that integrates the Hass avocado supply chain is presented. The results were obtained by the developer GUROBI- (NEOS Platform). It is concluded that the proposed model reduces logistics costs by 1.08% compared to the established goal of 0.2% (National Logistics Policy). Consequently, the intermodal share on the critical path increased to 26.2%. By varying the model in scenarios (Neutral-optimistic-pessimistic) for the cost per shortage, there are no changes in the flows and the model preferred not to leave unsatisfied demand for customers with high costs. In addition, it was verified that the variation of the train capacity in the number of wagons generates a change in the cost. The environmental impact was predicted with the RStudio software and Montecarlo simulation, in which it is concluded that the highway mode generates 11.901% more gCO<sub>2</sub> than using the intermodal mode. Finally, a social impact is also obtained in which the increase in direct and indirect jobs stands out.

*Key Words: Agroindustry, Intermodality, Optimization.*

I.	PROJECT CHARTER .....	3
II.	DEFINIR.....	4
A.	Contexto y Justificación (¿por qué?).....	4
B.	Grupos de interés (¿Quiénes son los actores interesados?).....	4
C.	Requerimientos.....	4
1)	Restricciones de diseño (Factibilidad).....	4
2)	Especificaciones de diseño (Características).....	4
3)	Leyes, normas y estándares (Buenas prácticas).....	4
III.	MEDIR.....	5
A.	Plan de recolección de datos.....	5
B.	Exploración del mercado.....	5
IV.	ANALIZAR .....	6
A.	Análisis de Oportunidad.....	6
B.	Revisión de literatura.....	6
C.	Exploración de ideas y selección de alternativa.....	6
D.	Objetivos.....	6
E.	Plan de trabajo (PdT).....	6
V.	DISEÑAR .....	7
A.	Desarrollo del diseño de la solución.....	7
B.	Validación del diseño propuesto.....	7
VI.	VERIFICAR.....	7
A.	Medición de los impactos.....	7
B.	Estandarización de la solución – POE’S (plan de control).....	7
C.	Conclusiones.....	7
D.	Recomendaciones.....	7
VII.	GLOSARIO.....	8
VIII.	REFERENCIAS.....	8
IX.	ANEXOS.....	8

## Índice de Tablas

TABLA I.	PAISES PRODUCTORES DE AGUACATE [2].....	7
TABLA II.	PARTICIPACIÓN POR MODO DE TRANSPORTE. MODIFICADO [7].....	8
TABLA III.	ESCALA DE CLASIFICACIÓN.....	9
TABLA IV.	CLASIFICACIÓN DE STAKEHOLDERS.....	9
TABLA V.	REQUISITOS, RESTRICCIONES, DISEÑO Y MARCO LEGAL DE DISEÑO.....	11
TABLA VI.	REQUISITOS, RESTRICCIONES Y MARCO LEGAL DE LAS ORGANIZACIONES REGULADORAS Y NORMATIVAS.....	13
TABLA VII.	INDICADORES DE DESEMPEÑO A MEDIR.....	15
TABLA VIII.	PARTICIPACIÓN PORCENTUAL DE LOS PUERTOS-2020 [10].....	15
TABLA IX.	TIEMPOS Y COSTOS DE TRANSPORTE DESDE CIUDAD A PUERTO. Modificado de [13].....	17
TABLA X.	CARGA ENVIADA (KG) A LOS PUERTOS DE EXPORTACIÓN. Modificado de [14]......	17
TABLA XI.	FLETES FERREOS. [16].....	18
TABLA XII.	COSTOS DE TRANSPORTE DESDE CADA CIUDAD A NODOS INTERMODALES. [17].....	19
TABLA XIII.	RESULTADOS DE INDICADORES DE DESEMPEÑO.....	21
TABLA XIV.	RESUMEN REVISIÓN DE LITERATURA.....	27
TABLA XV.	RESUMEN SOBRE ALTERNATIVAS.....	30
TABLA XVI.	PLAN DE TRABAJO.....	31
TABLA XVII.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	40
TABLA XVIII.	ENVÍO INTERMODAL RUTA CRÍTICA.....	41
TABLA XIX.	COMPARACIÓN DE TIEMPOS.....	41
TABLA XX.	VARIACIÓN DE CAPACIDAD DE TRENES (VAGONES).....	43
TABLA XXI.	COMPARACION DE AHORROS ENTRE TRENES CONTRA EL TREN DE REFERENCIA DE 45 VAGONES.....	44
TABLA XXII.	RESULTADOS DE PRONÓSTICOS gCO2/ Ton - Km.....	46
TABLA XXIII.	RESULTADOS DE EMISIONES ESTADO ACTUAL Y PROPUESTO [gCO2].....	46
TABLA XXIV.	NÚMERO DE EMPLEOS POR AÑO RELACIONADOS CON EL AGUACATE HASS [34].....	46
TABLA XXV.	ANEXOS.....	51

## TABLAS EN ANEXOS

### Anexo 1

TABLA XXVI. CLASIFICACIÓN DE PODER PARA INVOLUCRADOS. Modificado de [1]

TABLA XXVII. CLASIFICACIÓN DE INTERÉS PARA INVOLUCRADOS. Modificado de [1]

### Anexo 3

TABLA XXVIII. PLAN DE RECOLECCIÓN DE DATOS

### Anexo 4

TABLA XXIX PRONÓSTICO DE DEMANDA DE AGUACATE HASS

### Anexo 5

TABLA XXX. RESUMEN TIEMPO Y COSTO DE ORIGEN-DESTINO. Modificado de [14]

### Anexo 6

TABLA XXXI. MATRIZ DE CARGA EXPORTADO [KG] ENERO-JULIO/2019. Modificado de [15].

### Anexo 7

TABLA XXXII. MATRIZ DE CARGA EXPORTADO [KG] ENERO-JULIO/2020. Modificado de [15].

TABLA XXXIII. RESUMEN COMPARATIVO DE CARGA ENVIADA A PUERTOS 2019/2020. Modificado de [15].

### Anexo 9

TABLA XXXIV. MATRIZ FINAL COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS.

## Índice de Figuras

Fig. 1. Departamentos productores de aguacate en Colombia, año 2020 [1].....	7
Fig. 2. Matriz poder vs interés .....	11
Fig. 3. Mapa de rutas terrestres a puertos principales desde departamentos productores de Aguacate Hass año 2020. ....	16
Fig. 4. Contenedor de 40' .....	18
Fig. 5. Mapa de rutas terrestres y ferroviarias a puertos principales desde Medellín año 2020.....	19
Fig. 6 Análisis DOFA de la integración de intermodalidad en la cadena de suministros de Aguacate Hass. ....	20
Fig. 7. Estrategias para el análisis DOFA .....	20
Fig. 8. Árbol de problemas .....	22
Fig. 9. Extensiones carreteras en Colombia [20] .....	23
Fig. 10. Costos totales de exportar una mercancía en US\$ por contenedor [20] .....	24
Fig. 11. Estructura de costos operativos e indicadores, Colfecar año 2020 [21].....	24
Fig. 12. Modelo programación lineal entera mixta [27]. ....	26
Fig. 13. Modelo de simulación por agentes [28]. ....	26
Fig. 14. Técnica de ideación Scamper .....	29
Fig. 15. Árbol de objetivos.....	29
Fig. 16. Grafo de la red intermodal con los conjuntos principales ( ciudades origen, puertos y clientes finales). ....	33
Fig. 17. Grafo de conjuntos principales con inclusión de conjunto de terminales intermodales (Tebaida, Dorada y Felisa). ....	34
Fig. 18. Grafo para el conjunto T, con las ciudades que envían Aguacate por modo carretero. ....	34
Fig. 19. Grafo para el conjunto de nodos intermedios de la red, que reciben y envían Aguacate. ....	35
Fig. 20. Grafo de la red total con la representación de arcos entre todos los nodos. ....	35
Fig. 21. Variación del parámetro de costo faltante por escenario. ....	36
Fig. 22. Costos totales del modelo por escenario. ....	38
Fig. 23. Flujos de la variable M. ....	39
Fig. 24. Variable binaria para uso de nodos férreos. ....	39
Fig. 25. Número de vehículos usados que contabiliza la variable entera Z.....	39
Fig. 26. Variable que contabiliza la demanda insatisfecha. ....	39
Fig. 27. Variable de flujos entre cada nodo por cada escenario. ....	42
Fig. 28. Variable que contabiliza número de vehículos utilizados por escenario. ....	42
Fig. 29. Variable que contabiliza la demanda insatisfecha por escenario. ....	42
Fig. 30. Comparación de costos. ....	44
Fig. 31. Ahorro obtenido dependiendo de la capacidad de tren medido en porcentaje.....	45
Fig. 32. Ahorro obtenido dependiendo de la capacidad de tren medido en COP.....	45

## I.

## PROJECT CHARTER

Descripción ( <i>Business case</i> )				Planteamiento del problema ( <i>Problem statement</i> )		
El aguacate Hass es el cuarto fruto tropical más importante en el mundo y una de las frutas más exportadas de Colombia la cual presenta un incremento de consumo del 7% anual. Por esta razón, el sector agroindustrial debe estar preparado para las exigencias de la creciente demanda extranjera. En la situación actual de la cadena de abastecimiento del Aguacate Hass en Colombia, se evidencia una oportunidad de mejora al encontrar un deficiente sistema de transporte de carga. El problema se aborda con el diseño y la optimización de redes, específicamente, con la combinación de dos tipos de transporte para diseñar una red intermodal. Finalmente, se validó el modelo propuesto obteniendo como resultado una reducción en los costos de transporte.				Deficiencia en la red logística del aguacate Hass en Colombia por la dependencia del transporte carretero que influye en altos costos logísticos.		
Impacto de los actores ( <i>Stakeholder's business needs</i> )				Restricciones	Especificaciones	Marco legal
Gremios de aguacateros - Aumento de carga enviada				Falta de permisos para producción y distribución de mercancía.	Certificaciones para la comercialización del producto hacia los mercados	Resolución 344 del 21 de junio de 2011
Transportadores - Disminución en los costos logísticos				Falta de planeación de rutas para el transporte de aguacate en el país	Tiempo de entrega justo a tiempo (JAT).	Decreto 2092 de 2011 de Ministerio de transporte
Comercializadora - Aumento en el número de operaciones intermodales				Variación en los costos de transporte.	Precios que no superen la media de los servicios de exportación.	Decreto 2092 de 2011 de Ministerio de transporte
Indicadores de Desempeño ( <i>KPI's</i> )						
Variable		Actualidad			Meta	
Carga enviada de manera intermodal		El modo carretero cuenta con el 100% de participación en el envío de contenedores de Aguacate Hass hacia los puertos de exportación.			Alcanzar que el 21,6% de la carga enviada sea de modo intermodal.	
Costos logísticos (costos de transporte y operacionales)		El costo total de operación y transporte de la cadena de suministro es de \$ 4 960 269 682,70			Se espera que los costos logísticos reduzcan en un 0,2%.	
Objetivo general ( <i>Goal statement</i> )						
Elaborar una propuesta de integración de la cadena de abastecimiento del Aguacate Hass en Colombia a través del diseño de una red de transporte intermodal que mejore la eficiencia y disminuya los costos logísticos.						
Objetivos específicos ( <i>Project scope</i> )						
<ul style="list-style-type: none"> <li>Elaborar un diagnóstico de la cadena de abastecimiento del aguacate Hass en Colombia con énfasis en su red de transporte, a través de revisión bibliográfica y artículos científicos que se asemejen a la propuesta planteada.</li> <li>Describir el estado actual de la infraestructura de transporte de carga en Colombia, a través del mapeo de fuentes bibliográficas disponibles.</li> <li>Diseñar una red de transporte intermodal para el aguacate Hass en Colombia mediante un modelo de optimización para redes.</li> <li>Validar el modelo propuesto mediante un análisis de los resultados obtenidos, verificando la disminución de los costos logísticos de acuerdo con la meta establecida.</li> </ul>						
Plan de Trabajo ( <i>Project Plan</i> )				Equipo de trabajo ( <i>Team members</i> )		
Actividad	Fecha Inicio	Fecha Fin	Área IISE	Nombre	Rol	
Revisión de literatura	15/01/2021	13/02/2021	Operations Research and Analysis	Francisco Estrella Oliva	Coordinador	
Realizar benchmarking contra otros proyectos	22/01/2021	16/02/2021		Isabel Cristina Rosero	Iniciadora	
Extensión de cada ruta	26/01/2021	29/02/2021	Transportation management	Carlos Orejuela Montenegro	Evaluador	
Nodos de conexión intermodal	29/01/2021	05/03/2021		Mateo Gonzalez Gutierrez	Dador de opinión	
				Isabel Cristina Rosero	Iniciadora	
				Carlos Orejuela Montenegro	Evaluador	
	02/03/2021	10/03/2021		Francisco Estrella Oliva	Coordinador	
				Isabel Cristina Rosero	Iniciadora	

VARIABLES DE DECISIÓN			Operations Research and Analysis	Carlos Orejuela Montenegro Mateo Gonzalez Gutierrez	Evaluador Dador de opinión
Función objetivo	11/03/2021	18/03/2021		Carlos Orejuela Montenegro	Evaluador
Restricciones del modelo	22/03/2021	29/03/2021		Francisco Estrella Oliva Carlos Orejuela Montenegro	Coordinador Evaluador
Modelo matemático	31/03/2021	10/04/2021		Francisco Estrella Oliva Isabel Cristina Rosero	Coordinador Iniciadora
Listado de softwares.	08/04/2021	16/04/2021		Carlos Orejuela Montenegro Isabel Cristina Rosero	Evaluador Iniciadora
Software seleccionado.	13/04/2021	17/04/2021		Francisco Estrella Oliva	Coordinador
Entradas. Para el software (AMPL): model, data,4 y comandos.	20/04/2021	22/04/2021		Francisco Estrella Oliva Isabel Cristina Rosero	Coordinador Iniciadora
Solución del modelo.	27/04/2021	30/04/2021		Francisco Estrella Oliva Isabel Cristina Rosero Carlos Orejuela Montenegro Mateo Gonzalez Gutierrez	Coordinador Iniciadora Evaluador Dador de opinión
Resumen de datos obtenidos	11/05/2021	18/05/2021		Mateo Gonzalez Gutierrez	Dador de opinión
Informe sobre el análisis de comparación	18/05/2021	20/05/2021	Francisco Estrella Oliva Isabel Cristina Rosero Carlos Orejuela Montenegro Mateo Gonzalez Gutierrez	Coordinador Iniciadora Evaluador Dador de opinión	

II.

DEFINIR

A. Contexto y Justificación (¿por qué?)

Colombia se caracteriza por contar con tierras fértiles adecuadas para el crecimiento de los diferentes productos agroindustriales, esto le permite tener una amplia variedad de cultivos tales como son el café, el plátano, el cacao, la caña de azúcar, el aguacate, entre otros. En el panorama mundial del cultivo del aguacate, Colombia se ubica como el cuarto productor con un total de 544 933 toneladas y en tercer lugar con respecto al área cosechada registrando un total de 54 427 hectáreas [1], la TABLA I permite visualizar los países productores en cuanto a las toneladas de aguacate producidos para el año 2019.

TABLA I.  
PAISES PRODUCTORES DE AGUACATE [2]

	País	Producción (Ton)
1	México	2 172 757
2	República Dominicana	691 551
3	Perú	553 703
4	<b>Colombia</b>	<b>544 933</b>
5	Indonesia	326 284
6	Brasil	209 176
7	Kenia	188 368
8	Estados Unidos	184 714
9	Chile	146 981
10	Otros	1 511 533

En consecuencia, el cultivo de aguacate en Colombia representa una importante participación en la exportación de frutas tropicales a nivel mundial. Cabe resaltar que, según la encuesta nacional agropecuaria (ENA) en el año 2019 la producción de frutas en Colombia fue de 6 712 167 toneladas lo cual corresponde al 15% de la producción agroindustrial a nivel nacional [1]; con respecto a la contribución departamental, es necesario aclarar que 7 de los 32 departamentos no cosechan aguacate de ningún tipo. No obstante, los mayores participantes son los departamentos de Tolima con 125 036 toneladas y Antioquia con 112 645 toneladas tal cómo se observa en la Fig. 1. De esta manera, se evidencia que la producción del Aguacate es clave en la agroindustria, cuya participación departamental, refleja el interés hacia el cultivo pues es un fruto atractivo para clientes extranjeros.

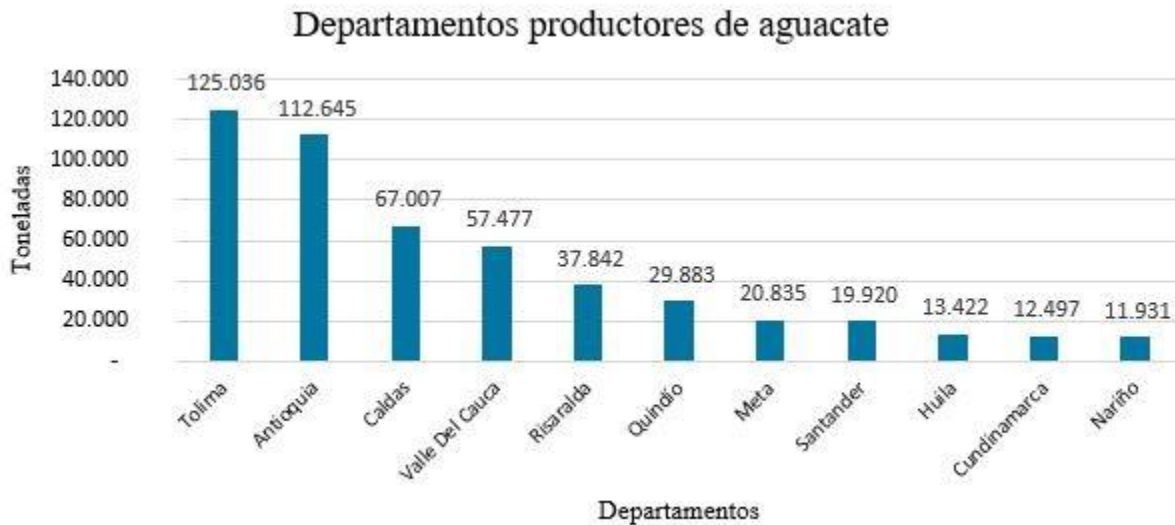


Fig. 1. Departamentos productores de aguacate en Colombia, año 2020 [1]

Para el caso de Colombia, aproximadamente el 75% del área sembrada corresponde a los tipos de aguacates pieles verdes, criollos o antillanos y el 25% restante se encuentra establecida en la variedad Hass [2]. Específicamente, el tipo de aguacate seleccionado corresponde al fruto del árbol Persea Americana pertenecientes a la variedad "Hass" ya que es la quinta fruta tropical más importante



en el mundo, medida en términos de volumen y área cultivada [3]. Desde el año 2019, la dinámica productiva y comercial del aguacate Hass fue tan relevante a tal punto que se incrementaron en 48% las exportaciones respecto al año 2018. Dicho incremento requiere que toda la cadena de suministro del aguacate Hass esté en constante crecimiento para satisfacer la creciente demanda extranjera.

Antiguamente, las empresas trabajaban por departamentos, o por secciones, es decir, el área de compras bajo sus restricciones, el área de finanzas bajo sus indicadores, el área de logística bajo sus requerimientos, etc. El concepto atribuido a esas actividades no era cadena de suministro sino operaciones logísticas [4], la empresa seccionaba su meta por áreas, lo que provocaba que no se diera una respuesta eficaz y eficiente al cliente; por esta razón, nace el concepto de cadena de suministro. La definición de cadenas de suministro se refiere a la implementación de procesos en el que todas las partes involucradas se unen y se enfocan sobre una meta común con respecto a la ejecución de tareas y así mismo la empresa evidencia en sus resultados el aumento en cifras de eficiencia y mejoría de la calidad, permitiendo un flujo continuo de material y de información [5].

Debido a que Colombia es un país agroindustrial que trata de potencializar sus productos, ya no solo existe el reto de integrar una cadena de suministros sino acudir al concepto de integración de cadenas de suministro agroindustriales, este concepto hace referencia a la relación entre, producción, alistamiento del producto, almacenamiento, transporte y distribución que impliquen variables asociadas con el producto agrícola y su comercialización [6]. Puesto que en una cadena de suministro agroindustrial el producto a transportar es perecedero (en la mayoría de los casos), los factores y variables que usualmente pueden afectar su funcionamiento son: el manejo de cosecha y postcosecha de los cultivos, el grado de madurez del producto, los costos de producción, el uso de medios de transporte eficientes y los tiempos de entrega, entre otros [4].

Teniendo en cuenta lo anterior, uno de los factores que afectan estas cadenas, es el uso de medios de transporte y sus interacciones en actividades comerciales; en Colombia la mayoría de las actividades relacionadas al transporte se llevan a cabo de manera monomodal, es decir, solo un modo de transporte se encarga de hacer las respectivas entregas y/o despachos. La movilización del flujo de productos colombianos se encuentra contenido entre un 70% a 90% en el modo carretero [7] tal como se observa en la TABLA II. Se evidencia que, el uso de otros modos de transporte en el país es menor con respecto al modo carretero, lo cual implica un retroceso en la competitividad comercial a nivel internacional. Aunque la implementación de transporte multimodal en Colombia es un tema nuevo, el uso de vías férreas y transporte marítimo representa una disminución en los costos logísticos y aumento de la eficiencia de la cadena.

*TABLA II.  
PARTICIPACIÓN POR MODO DE TRANSPORTE. MODIFICADO [7]*

<b>Participación por modo de transporte para movilización de carga</b>	
Modo carretero	73,50%
Modo férreo	23,60%
Modo fluvial	1,50%
Cabotaje	1,30%
Modo aéreo	0,10%
<b>Con exclusión del carbón y petróleo</b>	
Modo carretero	97%
Modo férreo	0,10%
Modo fluvial	0,90%
Cabotaje	1,90%
Modo aéreo	0,10%

Por lo tanto, es imprescindible el estudio de la interacción de modos de transporte denominado intermodalidad, término referido al movimiento de productos desde un lugar determinado a un destino que incluye el uso de dos o más modos de transporte, cada uno operando en el área con mejores condiciones de mercado sin interrupciones de la movilización de carga. Lo anterior se fundamenta en que, el modo carretero es el más representativo, pero no el más eficiente; Colombia presenta fallas en las vías y accesos deficientes a las ciudades, sin contar la difícil geografía que afecta la seguridad de los transportadores. Todo esto influye en la congestión en el

ingreso a las ciudades, lo cual genera que se deba reducir la velocidad de 50 km/h a 10 km/h en la entrada a las ciudades comerciales, esto conlleva a retrasos en las entregas de productos a los puertos y a la disminución en la calidad del producto perecedero, ocasionando pérdidas de alrededor del 2% del Producto Interno Bruto (PIB) al año, es decir, 16 billones de pesos [7].

Actualmente, Colombia presenta un 13,5 % de costos logísticos sobre las ventas, del cual el 35,2% corresponde a costos de transporte y un 46,5% a costos de almacenaje [8], estos costos disminuyen la productividad de las empresas, debido a retrasos de entrega por limitaciones de transporte, aumento en tiempos de recorrido y en tiempos de almacenamiento. Por esta razón, Colombia debe establecer mecanismos de mejora especialmente en su red de transporte debido a la creciente demanda internacional para no perder su posición en el mercado, en comparación a países como México, República Dominicana, Perú, Indonesia, entre otros.

Los beneficios potenciales de abordar este proyecto se fundamentaron en la generación de ventajas competitivas en mercados internacionales, logrando un aumento de la participación por movilización de carga del modo de transporte férreo. En consecuencia, se establecieron mejores condiciones para el desenvolvimiento de las industrias hacia la transacción y manejo de productos por efecto de los costos de transporte y a su vez los costos logísticos operacionales [7]. Cabe resaltar que, la información suministrada y los posibles beneficios enunciados están soportados bajo el marco de la política nacional logística vigente.

En síntesis, se evidencia que en Colombia existe una dependencia en el transporte terrestre, teniendo en cuenta los problemas anteriormente mencionados que acarrearán este modo, y apoyándose el proyecto bajo la actual política nacional logística [1] se identificó una oportunidad de mejora en la integración de otros modos de transporte (férreo) para la cadena de abastecimiento de Aguacate Hass en el territorio colombiano cuyo enfoque principal sean las zonas productoras del eje cafetero occidental y centro, con lo cual, se planea satisfacer la creciente demanda extranjera con menores costos de transporte.

#### B. Grupos de interés (¿Quiénes son los actores interesados?)

Los stakeholders o grupos de interesados son los individuos u organizaciones que intervienen de manera activa en el proyecto o aquellos cuyos intereses pueden resultar afectados como consecuencia del desarrollo de este. Inicialmente, se realizó una revisión de la cadena de suministro del aguacate Hass en la que se identificaron los involucrados con el proyecto en áreas como producción, transformación, comercialización y consumo. Posteriormente, para determinar la importancia de cada uno se implementó la matriz poder/interés, la cual permite diseñar las acciones estratégicas a seguir para facilitar la actuación con los stakeholders [9]. La clasificación fue realizada determinando el rol de cada involucrado en el proyecto [ver Anexo 1]. A partir de esto, se procedió a calificar los involucrados teniendo en cuenta la escala presentada en la TABLA III. Finalmente, se presenta en la TABLA IV la descripción de los grupos de interés con su correspondiente calificación que sirve para graficar la matriz poder/interés. Cabe resaltar que, la variable “Poder” califica la influencia y el interés como el beneficio que el stakeholder puede recibir del proyecto.

TABLA III.  
ESCALA DE CLASIFICACIÓN

ESCALA	
1	Muy bajo poder o interés
2	Bajo poder o interés
3	Medio poder o interés
4	Alto poder o interés
5	Muy alto poder o interés

TABLA IV.  
CLASIFICACIÓN DE STAKEHOLDERS

CLASIFICACIÓN	STAKEHOLDER	GRUPO DE INTERÉS	DEFINICIÓN	INTERÉS	PODER
Actores Directos	1	Comercializadora Internacional	Entidad encargada de la comercialización y distribución de productos nacionales en mercados internacionales o locales.	3	4
	2	Proveedores de insumos	Persona o empresa encargada de abastecer con productos necesarios a un fabricante o productor.	2	2
	3	Agricultores	Conjunto de personas dedicadas al cultivo y extracción de recursos provenientes de la tierra.	3	3

	4	Transportadores	Conjunto de personas encargadas de movilizar cantidades de producto a lugares determinados.	3	4
	5	Puertos	Sitios ubicados a orillas de mares, con la infraestructura necesaria para realizar operaciones de embarque y desembarque, además de operaciones aduaneras.	2	4
	6	Cliente	Persona o entidad extranjera que adquiere productos regularmente, bajo estándares establecidos.	2	3
	7	Equipo de trabajo	Grupo de personas organizadas, que trabajan juntas para lograr una meta común.	4	5
	8	Universidad	Institución de enseñanza superior formada por diversas facultades y que otorga distintos grados académicos.	4	5
Actores Indirectos	9	Organizaciones reguladoras y normativas	Organismos públicos que tienen como fin desarrollar políticas y regulaciones ambientales, coordinar proyectos en el sector agropecuario, hacer cumplir las Hortofrutícola y aduaneras, implementar normas de calidad, entre otros.	1	5
	10	Gremios de aguacateros	Sociedades dedicadas al desarrollo de la industria agrícola.	4	5

## Actores Indirectos

### 9. Organizaciones reguladoras y normativas:

- **Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible:** Encargados de la gestión ambiental, recursos renovables y regular el ordenamiento ambiental.
- **Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR):** Formulación de los proyectos que requieren el desarrollo del sector Agropecuario.
- **Ministerio de transporte:** Encargado de formular y adoptar las políticas, programas, proyectos y regulación económica del transporte, el tránsito y la infraestructura, en los modos carretero, marítimo, fluvial, férreo y aéreo del país.
- **Dian:** Obligaciones tributarias, aduaneras y cambiarias que tengan los colombianos serán objeto de su administración y control.
- **Instituto colombiano agropecuario (ICA):** Previene y controla los riesgos que puedan afectar la producción agropecuaria, forestal, pesquera y acuícola de Colombia.
- **Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (Invima):** Es una entidad que regula y vigila las prácticas de empresas que fabrican productos para el consumo humano.
- **Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC):** Normalización, la certificación, y la gestión de la calidad en todos los proyectos en Colombia.

### 11. Gremios de aguacateros:

- **Asociación hortofrutícola de Colombia (ASOHOFRUCOL):** Su objetivo principal es mejorar y controlar las condiciones laborales de los productores del territorio colombiano.
- **Federación nacional de productores de aguacates (FEDEAGUACATES):** Asociaciones de los departamentos productores de aguacate más importantes, están enfocados en estructurar la producción y exportación del producto.
- **Corporación de productores y exportadores de aguacate Hass en Colombia (CORPOHASS):** Tiene como objetivo principal orientar y proyectar la producción y comercialización de aguacate Hass hacia los mercados nacionales e internacionales, priorizando el bienestar del productor y del exportador.

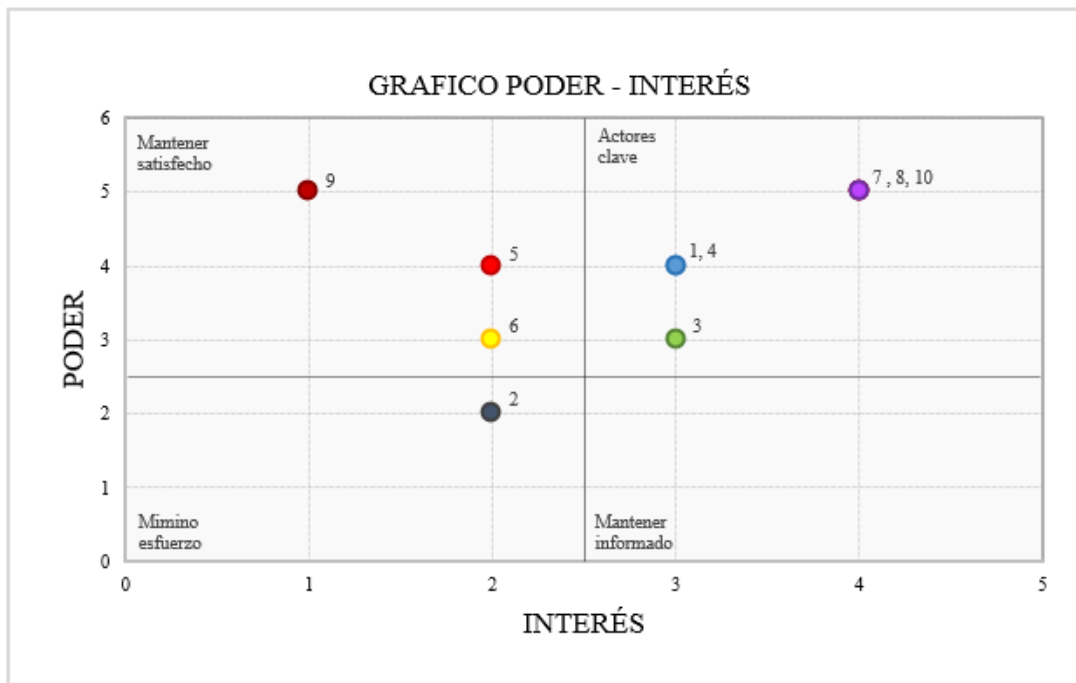


Fig. 2. Matriz poder vs interés

Teniendo en cuenta la matriz poder/interés (ver Fig. 2), los actores claves corresponden al 60% de todos los interesados lo cual indica la importancia del proyecto para los involucrados, estos son: comercializadora internacional, agricultores, transportadores, equipo de trabajo, universidad y gremios; en ese sentido, se hace necesario la participación de estos en la toma de decisiones. En la esquina inferior izquierda, se encuentran los proveedores los cuales tienen bajo interés y poder en el proyecto, en este caso, se les debe hacer un constante monitoreo para evaluar si la influencia y poder de estos cambia. Por último, en el cuadrante superior izquierdo se aprecian las organizaciones gubernamentales, los puertos y los clientes los cuales se deben mantener monitoreados y satisfechos, para que así no se vean obligados a influir negativamente en el proyecto y aumente su interés.

### C. Requerimientos

A continuación, se presentan los requerimientos que se deben satisfacer para el correcto funcionamiento del proyecto, es decir, corresponden a los resultados que esperan los grupos de interés relacionados con el diseño del sistema. Los requisitos de los involucrados se determinaron a partir de la voz del cliente, la cual fue recopilada mediante una entrevista con un involucrado directo de un proyecto similar que aún no es público [ver Anexo 2]. Adicionalmente, los requerimientos se plantearon a partir de un conjunto de restricciones y especificaciones de diseño, finalmente se presenta el marco legal en donde se establecen leyes, normas y estándares a nivel nacional. El detalle de toda la información se puede observar en las TABLAS V y VI.

TABLA V.  
REQUISITOS, RESTRICCIONES, DISEÑO Y MARCO LEGAL DE DISEÑO

CLIENTE	REQUISITOS	RESTRICCIONES DE DISEÑO	ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	LEYES, NORMAS Y ESTÁNDARES	INFLUENCIA DE LEYES, NORMAS Y ESTÁNDARES
Comercializadora Internacional	Puntualidad en la entrega de productos.	Limitaciones por tiempos de inspección.	Garantizar que el tiempo de inspección no genere retrasos en la exportación.	Procedimientos internos.	Medición con indicadores de Gestión. Medir los tiempos de inspección de los aguacates Hass.
		Retrasos aduaneros.	Planes de contingencia.		Opciones adicionales en caso de presentarse problemas aduaneros.
	Rentabilidad en el comercio del aguacate Hass.	No se tiene una estructura de costos operacionales completa	Precios que no superen la media de los servicios de exportación.	Decreto 2788 del 31 de agosto de 2004 de Ministerio hacienda	Reglamento de registro único tributario. Se establecen pautas para cada individuo comerciante en el país.

		Variación en los costos de transporte.		Decreto 2092 de 2011 de Ministerio de transporte	Se fija la política tarifaria y los criterios que regulan las relaciones de transporte terrestre automotor de carga y se establecen disposiciones.
		No existencia de acuerdos de la comercializadora	Garantizar el comercio en los mercados internacionales.	TLCs	Tratados de libre comercio.
Proveedores de insumos	Entrega del pedido en el tiempo estipulado.	Factores que interrumpen comunicación entre proveedor y agricultor.	Establecimiento de cronogramas y rutas de distribución.	No aplica.	No aplica.
Agricultores	Herramientas y prácticas para cosecha y producción.	Limitaciones de capacidad.	Garantizar la calidad del producto y establecer relaciones fuertes con las partes involucradas.	NTC 1248-2	Buenas prácticas, especificaciones de empaques para frutas frescas.
				NTC 1248-3	Buenas prácticas, especificaciones de almacenamiento y transporte para frutas frescas.
				NTC 2479	Buenas prácticas, Embalajes e indicaciones para el manejo de artículos.
		Plagas.	Cumplir con las normativas locales e internacionales.	Decreto 1843 de 1991	Reglamentación sobre uso y manejo de plaguicidas.
Transportadores	Establecimiento de rutas óptimas para entregar el aguacate Hass a tiempo.	Falta de planeación de rutas para el transporte de aguacate en el país	Tiempo de entrega justo a tiempo (JAT).	Decreto 2092 de 2011 de Ministerio de transporte	Se fija la política tarifaria y los criterios que regulan las relaciones de transporte terrestre automotor de carga y se establecen disposiciones.
	Cumplimiento de la normativa sanitaria para el transporte de alimentos.	No se cuenta con el equipo adecuado para satisfacer la normativa hacia el transporte.	Cumplir con los estándares sanitarios.	Resolución 3929 del 10 de octubre de 2013	Requisitos sanitarios que deben cumplir las frutas que se procesen, empaquen, transporten, importen y comercialicen en el territorio nacional.
		Ausencia de conocimiento sobre regulaciones ambientales para el transporte de la carga,	Cumplir con las normativas ambientales.	Ley 1931 de 2018	Directrices para la gestión del cambio climático.
Puertos	Rentabilidad en el uso de infraestructura y maquinaria para la inspección y envío de la mercancía.	Deficiencia en la planeación del servicio de recepción de carga en el puerto.	Los puertos deben contar con la tecnología e infraestructura necesaria, contar con eficacia en términos de trámites aduaneros favorables para los tiempos de entrega de producto al importador.	TLCs	Tratados de libre comercio. Manejo de indicadores de Gestión.
				Ley 01 de 1991	Estatuto de Puertos Marítimos.
Cliente	Calidad en los aguacates.	Exigencias de calidad.	Cumplir las normativas nacionales de calidad.	Estándares internos.	Exigencias establecidas por la entidad que compra el producto.
	Puntualidad en la entrega de producto.	Deficiencia en la ejecución de las actividades realizadas en cada eslabón de la cadena	Acuerdos de plazos de entrega.	No aplica.	No aplica.
	Precios.	Variación de costos asociados a la producción y distribución	Precios no superiores a los del mercado.	Ley 1480 de 2011	Ley de protección al cliente, respetando la dignidad y los derechos económicos de los clientes.

Equipo de trabajo	Cumplimiento de los objetivos y metas, disposición de trabajo en equipo, respeto y responsabilidad.	Restricción de tiempo (1 año)	La implementación de la cadena de suministro por parte del equipo de trabajo debe ser factible, debe mejorar la problemática que se presenta por medio de todas las herramientas de ingeniería industrial. Cumplir con los objetivos para que sea un proyecto de diseño.	Norma establecidas por los integrantes del grupo, normas internas del curso. Norma de presentación de trabajos escritos.	Establece los lineamientos que cada integrante del grupo debe cumplir para mantener la armonía del grupo, además de establecer la forma de planeación y ejecución del proyecto en cada etapa.
Universidad	Entrega del proyecto en el tiempo establecido con las normativas de calidad, respeto por las normas establecidas por la institución en el código estudiantil.	Restricción de tiempo (1 año)	Establecer las normativas y objetivos para el desarrollo de un proyecto diseño, además de un continuo seguimiento por los asesores expertos en la temática y la elaboración de proyecto.	Reglamento estudiantil.	Establece las normas que cada integrante debe cumplir, para evitar faltas graves, tales como: plagios o falsificaciones.
Gremios	Disposición de colaborar entre los actores de la cadena para asegurar el crecimiento de todo el sector relacionado al aguacate Hass.	Falta de comunicación entre los gremios y los involucrados de la cadena de suministro.	Cumplir con los lineamientos establecidos por los gremios productores.	Reglamentos internos de los gremios.	Determina las normas consensuadas entre los gremios para fortalecer los lazos y fomentar la productividad de la industria.

**TABLA VI.**  
**REQUISITOS, RESTRICCIONES Y MARCO LEGAL DE LAS ORGANIZACIONES REGULADORAS Y NORMATIVAS**

CLIENTE	REQUISITOS O VoC	RESTRICCIONES DE DISEÑO	ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	ENTE	LEYES, NORMAS Y ESTÁNDARES	INFLUENCIA DE LEYES, NORMAS Y ESTÁNDARES	
Organizaciones reguladoras y normativas	Control y seguimiento de la producción y exportación de aguacate en el país.	Falta de conocimiento sobre normas asociadas a las actividades ambientales.	Garantizar: <ul style="list-style-type: none"> <li>Desarrollo de actividades amigables con todo relacionado al medio ambiente y la comunidad involucrada.</li> <li>Desarrollo agropecuario de la región productora y del país en general.</li> </ul>	Instituto colombiano agropecuario (ICA)	Resolución 448 de 2016	En este artículo se establecen los requisitos necesarios para la producción de vegetales de exportación en fresco y registro ante el ICA. Para realizar un registro como predio productor se debe cumplir.	
		Baja capacidad de los recursos para la adquisición de productos de control de plagas.					
		Falta de información acerca de controles sobre los desechos.	Certificaciones: <ul style="list-style-type: none"> <li>Certificaciones para la comercialización del producto hacia los mercados internacionales.</li> <li>Certificaciones relacionadas a buenas prácticas de manufactura, controles de calidad.</li> <li>Certificación como productor agrícola en el país.</li> <li>Certificaciones con requisitos establecidos por el gobierno, para producción de aguacate Hass.</li> </ul>	DIAN	Decreto 1165 de 2019	Certificaciones de origen para exportación de productos, obligaciones de exportador e importados, estatutos aduaneros y arancelarios.	
		Posibles actividades ilícitas en la comercialización y distribución del producto.				Decreto 390 de 2016	Regulación aduanera, permanencia, traslados, almacenamiento y salidas de producto.
		Falta de permisos para producción y distribución de mercancía.			Ministerio de Comercio, Industria y Turismo	Resolución 344 del 21 de junio de 2011	Se establecen disposiciones para operar como exportador autorizado.
		Limitaciones o falta de documentación					Gobierno nacional

		en el proceso de aduanas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brindar confianza al importador.</li> </ul>			Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
		La no Autorización para la comercialización de productos.			Ley 9 de 1979	Código sanitario nacional.
					Ley 101 de 1993	Ley General de Desarrollo Agropecuario y Pesquero.
					Ley 388 de 1997	Código nacional para el desarrollo territorial, establecimiento de terrenos aptos para actividades agrícolas en el país.
					Ley 811 de 2003	Organizaciones de cadenas en el sector agropecuario, pesquero, forestal y acuícola.
				Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible	Resolución 1023 de 2005	Establecimiento de guías ambientales como instrumento de autogestión y autorregulación.
		Decreto 1076 de 2015			Expedición de un único decreto relacionado a las gestiones del ambiente y las normativas de uso de los recursos naturales renovables.	
		Invima		Resolución No. 2674 del 22 de julio de 2013	Requisitos para registro sanitario, notificación y permiso sanitario de alimentos.	
				Resolución 3929 del 10 de octubre de 2013	Requisitos sanitarios que deben cumplir las frutas que se procesen, empaquen, transporten, importen y comercialicen en el territorio nacional.	

### III.

### MEDIR

#### A. Plan de recolección de datos

Mediante el Plan de recolección de datos, se especifican las variables para realizar la búsqueda de información adecuada. En este caso, el primer paso fue hacer una revisión completa de los requisitos de todos los involucrados y establecer las variables necesarias para medir el estado actual de la cadena de Aguacate Hass en Colombia. De acuerdo con los resultados de la clasificación de los involucrados, la comercializadora, agricultores, transportadores, equipo de trabajo, universidad y gremios son clasificados como actores clave; los puertos y clientes como actores que se deben “mantener satisfechos”, también se encuentran las entidades gubernamentales que enmarcan las normativas que corresponden al proyecto. Por último, están los proveedores, los cuales presentaron una calificación de bajo poder/interés por lo que no se tuvieron en cuenta sus requisitos para la selección de las variables. Teniendo en cuenta el enfoque del proyecto, los involucrados para la medición de variables son: la comercializadora, los transportadores, los puertos y los gremios.

Los puertos fueron seleccionados debido a su enfoque hacia la rentabilidad en el uso de su infraestructura; para el proyecto es importante saber de qué manera trabaja el último eslabón de la cadena teniendo en cuenta que es donde zarpa el aguacate Hass a los destinos internacionales. Para esto, es imprescindible identificar la información correspondiente a la carga que se envía a cada puerto. Así mismo, se seleccionan los transportadores puesto que su requisito está relacionado a entregar el producto a tiempo, en ese sentido se convierten en un involucrado imprescindible para el proyecto debido a que, a partir de la medición de tiempos de transporte del Aguacate, se podrá establecer un estado actual de toda la cadena y analizar su funcionamiento en el que se incluyen las rutas, las ciudades, y los puertos que participan en el proceso de transporte.

En el caso de los gremios, su requisito está orientado hacia una colaboración constante entre todos los involucrados de la cadena para lograr un crecimiento en conjunto de todo el sector aguacatero. Por esta razón, los gremios se convierten en la parte involucrada base del proyecto puesto que a partir de su colaboración con información y respaldo se obtendrá una mejor visión acerca del funcionamiento de cada eslabón participante y su influencia en la cadena. Por otro lado, fue seleccionada la comercializadora ya que su requisito abarca la rentabilidad en el comercio del Aguacate Hass. Mediante este requisito, es pertinente tener en cuenta los fletes asociados al transporte desde las ciudades principales hasta los puertos seleccionados para identificar el costo de las rutas y reconocer el flujo de la cadena de Aguacate Hass en la actualidad. Además, identificar los fletes asociados a las rutas férreas disponibles como el costo de intercambio de un modo de transporte a otro. Lo anterior con el fin de establecer una base de datos consolidada para posibles soluciones alternativas de integración.

Una vez identificados los requisitos y las variables para trabajar, se elabora el plan de recolección de datos PRD [ver Anexo 3]. Debido a las restricciones de la contingencia vivida actualmente a causa del virus COVID-19, las fuentes de información consultadas son fuentes de datos secundarias, es decir, la mayoría de información encontrada son registros históricos, documentos corporativos o publicaciones de revistas de entidades como del DANE y la DIAN. Además, se obtuvieron datos suministrados por la Corporación de productores y exportadores de aguacate Hass (CORPOHASS), como también por entidades encargadas de promover la exportación en Colombia como PROCOLOMBIA y el apoyo en información por parte de la Agencia Nacional de Infraestructura ANI. A continuación, se presenta en la tabla VII los indicadores de desempeño a medir.

TABLA VII.  
INDICADORES DE DESEMPEÑO A MEDIR

Variable	Objetivo	Descripción	Indicador
Tiempos de transporte del Aguacate Hass desde la recepción hasta puerto.	Recolectar los tiempos de transporte de las rutas actuales desde las ciudades principales hasta los puertos de exportación permite determinar cómo se encuentra el flujo de la carga en la cadena de aguacate Hass con los actuales modos de transporte utilizados.	Los tiempos serán extraídos en las bases de datos del Ministerio de transporte y Procolombia. Esto será responsabilidad de un estudiante el cual debe investigar a profundidad la variable en la teoría o comunicarse directamente con las entidades.	$Tiempo\ crítico = \max(tiempos\ de\ transporte, 0)$
Proporción de carga enviada de manera intermodal	Es útil determinar la proporción de carga que se envía actualmente a los puertos de exportación de manera intermodal para identificar si existe o no dependencia en la red logística de un modo de transporte.	La información será recopilada en las bases de microdatos del DANE y la DIAN.	$Proporción\ de\ carga\ envío\ intermodal = \frac{\sum Contenedores\ en\ envío\ intermodal}{\sum Contenedores\ enviados}$
Costos logísticos (costos de transporte y operacionales)	Es útil para cuantificar la participación de los costos logísticos actuales en la rentabilidad de la cadena de suministro del Aguacate Hass y contrastarlo con los fletes de un modelo propuesto.	Consulta de los fletes en páginas de transportadoras colombianas u operadoras logísticas.	$Costo\ total = \sum fletes\ de\ transporte + Costo\ por\ rentar\ vehículos + Costo\ Faltante$

### B. Exploración del mercado

Los datos fueron recolectados teniendo en cuenta nodos que corresponden al origen-destino de la carga del Aguacate Hass. Debido a la restricción en el acceso a la información de fuente primaria, se asume para los orígenes que las ciudades principales representan el departamento al que pertenecen; esto se logra después de analizar la viabilidad del proyecto, pues abordar las fincas específicamente implica el ruteo exhaustivo y la elaboración de múltiples nodos. Para la identificación de los destinos se tuvo en cuenta la participación de los puertos en las exportaciones del Aguacate Hass y se obtuvieron los siguientes porcentajes, ver TABLA VIII.

TABLA VIII.  
PARTICIPACIÓN PORCENTUAL DE LOS PUERTOS-2020 [10].

Puerto	Cantidad exportada de aguacate Hass [Kg]	Participación porcentual [%]
Cartagena	28 030 214	63,6%
Santa Marta	13 538 698	30,7%
Turbo	1 736 404	3,9%
Buenaventura	487 396	1,1%
Barranquilla	311 379	0,7%

Posteriormente, haciendo uso de la herramienta Google Maps se trazan las rutas terrestres por las cuales se transporta el aguacate Hass desde las ciudades principales en los departamentos productores hasta los puertos de exportación. Cabe resaltar que, el 70% de la



cantidad corresponde al que se envía para exportación [10]. Se tuvo en cuenta a Estados Unidos, Países Bajos y España como los clientes extranjeros, tomándolos como el destino final de los Aguacates Hass, para los cuales se pronosticó la demanda, con la implementación de un modelo de predicción de mínimo del error medio con el uso del programa R Studio y la función ARIMA, se obtuvo la demanda de Aguacate Hass para el 2021 en toneladas, el código desarrollado en R se encuentra adjunto [ver Anexo 4]. En la Fig. 3. Se presenta de manera consolidada el sistema actual de transporte del aguacate Hass en Colombia.

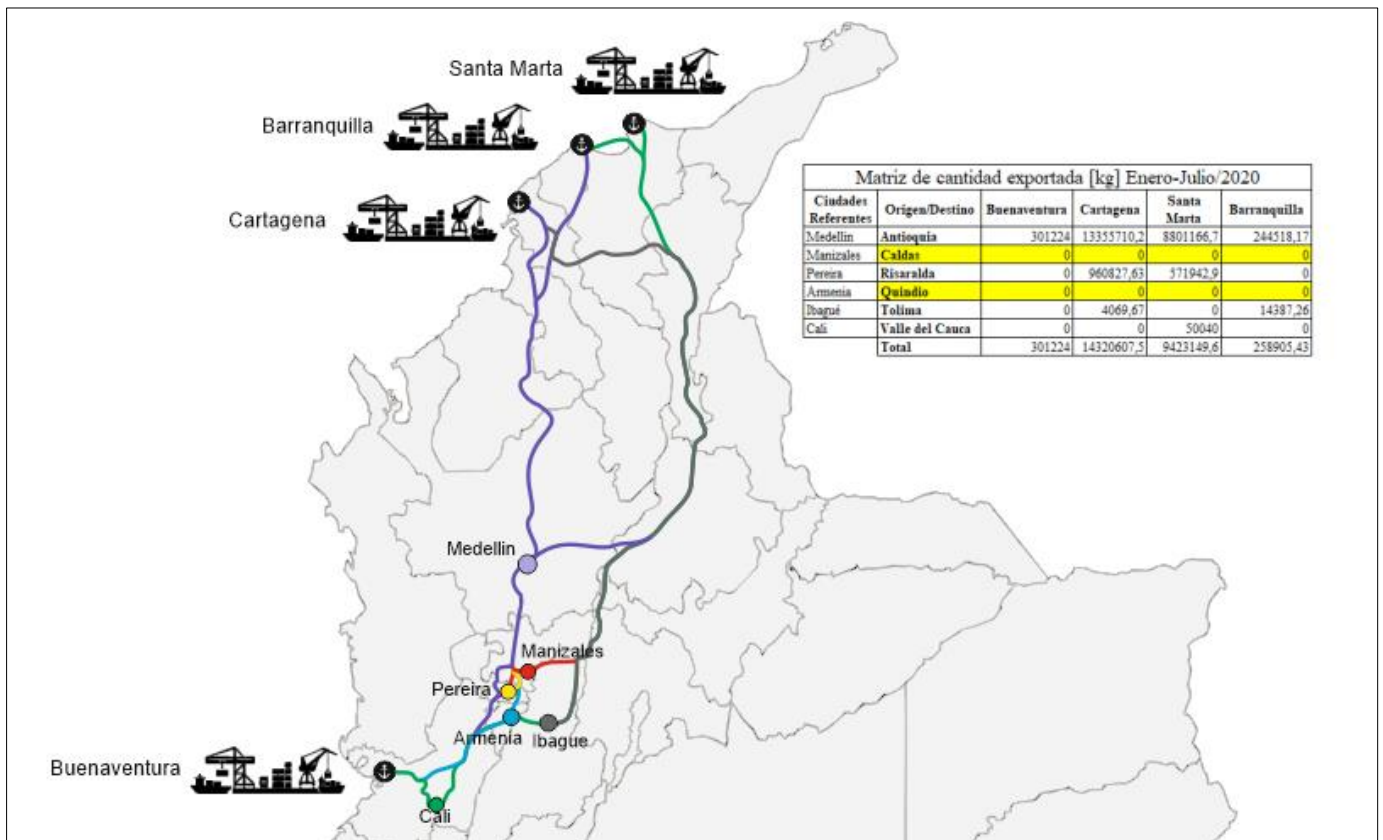


Fig. 3. Mapa de rutas terrestres a puertos principales desde departamentos productores de Aguacate Hass año 2020.

A continuación, se definen y explican las variables del PRD, así como su estado actual. Primeramente, se procede a realizar la estimación de los tiempos totales y el análisis de costos de transporte en la cadena de suministro. Para tal efecto, se usó información extraída del portal logístico con bases de datos provenientes del Ministerio de Transporte; para poder obtener la información se hizo una configuración general en el portal para cada ruta desde cada ciudad principal hacia cada destino. Se establece la configuración con tractomulas de semirremolque de tres ejes con tipo de carga refrigerada, puesto que el Aguacate necesita un control de temperatura para su conservación. Finalmente, cada vehículo cuenta con una capacidad máxima de 34 toneladas. La información completa se puede observar en la TABLA IX. Así mismo, para obtener los datos con mayor precisión se incluyen como parámetros los tiempos de carga y descarga los cuales corresponden a tiempo de espera para descargar 3,6 horas y espera en cargar 3,8 horas; por otro lado, el tiempo para cargar es de 3,3 horas y el de descarga 2,6 horas según la encuesta nacional logística [12].

Con respecto a los **tiempos de transporte de la cadena de suministros**, la mayoría de los tiempos de transporte incluyendo las esperas y actividades para carga y descarga de los vehículos, superan las 30 horas de viaje y otros superan las 40 horas. Además, los tiempos promedio de los procesos y actividades en los eslabones son alrededor de 13,3 horas adicionales al viaje desde la ciudad de origen hasta el puerto, lo que podría generar retrasos y/o pérdida del Aguacate. Por otra parte, los tiempos solo de transporte entre las ciudades a puertos superan en su mayoría las 20 horas, esto se debe a las distancias y zonas de recorrido diversas ya que todos los vehículos deben pasar por tres tipos de zonas: zonas planas, onduladas y montañosas. Por lo general en las zonas planas se registra una velocidad promedio de 56,25km/h mayor a las velocidades promedio en las zonas onduladas y montañosas, para zona ondulada se registra una velocidad promedio de 33,16 km/h y en la zona montañosa una de 23,57 km/h, esto implica que al reducir la velocidad se elevan los tiempos de transporte en dichas zonas [ver anexo 5].

Así mismo, los **costos logísticos (costos de transporte y operacionales)** se extrajeron del portal logístico como se mencionó anteriormente; para el cálculo del costo total, el consumo de combustible se midió con el valor de ACPM a \$8 347. Teniendo en cuenta que esta variable mide costos tanto fijos (sueldo de los conductores, impuestos sobre el vehículo, seguros sobre el vehículo), como variables, para estos últimos fue necesario extraer los valores para peajes, llantas, lubricantes, filtros, mantenimiento, reparación, y

lavado o engrase [ver Anexo 5], la TABLA IX, muestra los costos obtenidos por tonelada y costos por viaje totales para cada ruta. En los datos se evidencia que los costos por viaje oscilan entre dos y seis millones, y el mayor costo por tonelada registrado es desde Cali al puerto de Santa Marta.

**TABLA IX.**  
**TIEMPOS Y COSTOS DE TRANSPORTE DESDE CIUDAD A PUERTO. Modificado de [13]**

Origen	Destino	Tiempo total con carga y descarga	Costo x ton	Costo / Contenedor
Cali	Buenaventura	18,65	\$47 038,15	\$1 364 106,35
	Cartagena	43,33	\$192 087,73	\$5 570 544,17
	Santamarta	42,76	\$198 297,93	\$5 750 639,97
	Barranquilla	44,09	\$197 489,60	\$5 727 198,40
Armenia	Buenaventura	20,46	\$60 705,22	\$1 760 451,38
	Cartagena	40,68	\$173 582,43	\$5 033 890,47
	Santamarta	39,36	\$168 311,07	\$4 881 021,03
	Barranquilla	41,42	\$178 191,44	\$5 167 551,76
Pereira	Buenaventura	21,12	\$63 995,64	\$1 855 873,56
	Cartagena	38,35	\$159 048,43	\$4 612 404,47
	Santa Marta	38,29	\$166 809,15	\$4 837 465,35
	Barranquilla	39,12	\$164 812,22	\$4 779 554,38
Ibagué	Buenaventura	24	\$77 552,27	\$2 249 015,83
	Cartagena	36,11	\$164 557,1	\$4 772 155,90
	Santa Marta	35,29	\$152 713,6	\$4 428 694,40
	Barranquilla	37,74	\$167 513,1	\$4 857 879,90
Medellín	Buenaventura	29,59	\$107 067,41	\$3 104 954,89
	Cartagena	32,39	\$127 949,98	\$3 710 549,42
	Santa Marta	34,73	\$148 490,50	\$4 306 224,50
	Barranquilla	33,16	\$132 329,52	\$3 837 556,08
Manizales	Buenaventura	23,15	\$75 593,93	\$2 192 223,97
	Cartagena	37,41	\$152 495,02	\$4 422 355,58
	Santa marta	36,47	\$156 383,53	\$4 535 122,37
	Barranquilla	38,17	\$157 937,53	\$4 580 188,37

Los datos para la **carga de Aguacate Hass enviado desde las ciudades principales a los puertos seleccionados** se obtuvieron a partir de la base de microdatos del DANE; primero se realizó una filtración para recopilar las cantidades enviadas desde cada departamento a cada puerto correspondientes para el periodo Enero-Julio 2019 [ver anexo 6], Estos valores son tomados como la cantidad que se produce en cada ciudad como parámetro y luego se comparó con el mismo periodo en el año 2020 [ver anexo 7]. Los resultados son los presentados en la TABLA X.

**TABLA X.**  
**CARGA ENVIADA (KG) A LOS PUERTOS DE EXPORTACIÓN. Modificado de [14].**

	Buenaventura	Cartagena	Santa Marta	Barranquilla	Total
<b>Total 2019</b>	88	521	262	3	873
<b>Total 2020</b>	10	494	325	9	838
<b>Var%</b>	-88,19%	-5,18%	24,21%	238,81%	<b>-4,00%</b>

Se evidencia que la cantidad exportada tuvo una disminución considerable en el puerto de Buenaventura y mínimamente en el puerto de Cartagena. Se observa que, a pesar de la contingencia generada por la pandemia, el puerto de Santa Marta presenta un incremento en la cantidad que llega para ser exportada, así mismo, el incremento del puerto de Barranquilla es superior con respecto a la cantidad enviada en 2019, esto debido al tipo de contrato para exportación que existe en estos puertos. En términos generales, se observa que hasta Julio del año 2020 no se había alcanzado la cantidad registrada el año anterior, por lo que existe una disminución de 4% en la carga. Una de las razones a este acontecimiento es el estado de emergencia decretado por el gobierno Nacional a causa de la pandemia, lo cual implicó que las exportaciones sin contratos a término fijo se vieran afectadas negativamente.

Actualmente, la única operación intermodal para la exportación de Aguacate Hass fue realizada en febrero de 2020 donde varios operadores logísticos lograron que un contenedor con origen en el municipio de Armero (Tolima) saliera por vía terrestre en una tractomula a gas, luego continuara su viaje en tren con trasbordo en La Dorada (Caldas) y finalmente terminara en el puerto de Santa Marta para su exportación, hacia su destino en Rotterdam [15]. En resumen, se esperaría que las operaciones intermodales para las exportaciones del Aguacate Hass se incrementen puesto que solo se ha realizado una al momento de la redacción del proyecto.

Además, Colombia cuenta con dos corredores ferroviarios en funcionamiento que tienen conexión con las zonas portuarias del Atlántico y Pacífico. Es importante resaltar que el corredor del Pacífico consta de tramos ferroviarios desde los municipios de La Tebaida y La Felisa hasta el puerto de Buenaventura, por otra parte, el corredor del Atlántico o corredor central consta de un tramo ferroviario desde el municipio de La Dorada hasta el puerto de Santa Marta. Los municipios mencionados anteriormente son los nodos de conexión intermodal, es decir, en donde se realiza el cambio de modo de transporte, de carretero a modo ferroviario. Cabe resaltar que por información proporcionada por la Agencia Nacional de Infraestructura se obviarán los costos de transbordo en los nodos de cambio modal debido a que se encuentran inmersos en los fletes férreos [ver Anexo 8]. Dichos fletes fueron calculados con el portal Online Freight & Cargo Shipping Marketplace – SEARATES [16] con la configuración para contenedor de 40' refrigerado a transportar por modo férreo FWL (Full Wagon Load) de tipo vagón abierto debido a que en la práctica se realiza de esta manera tal como se muestra en la Fig. 4.



Fig. 4. Contenedor de 40'

En la tabla XI se presentan los fletes férreos desde los nodos de conexión hasta los puertos de exportación.

TABLA XI.  
FLETES FERREOS. [16]

\$/Contenedor	Santa Marta	Buenaventura
<b>La dorada</b>	\$2 000 000	-
<b>La Felisa</b>	-	\$1 639 090
<b>La Tebaida</b>	-	\$1 015 564

Se presenta la red para el caso de Medellín (ver Fig. 5) donde se especifican los nodos de interconexión existentes y las rutas férreas anteriormente mencionadas para exponer el alcance del proyecto, el cual analizará los posibles envíos que se realizan desde los orígenes para suplir la demanda extranjera para lo cual se propondrá una red multimodal que minimice el costo de la red y determinar si para el caso de Colombia, es justificable promover operaciones logísticas multimodales que potencializan la industria y el desarrollo.

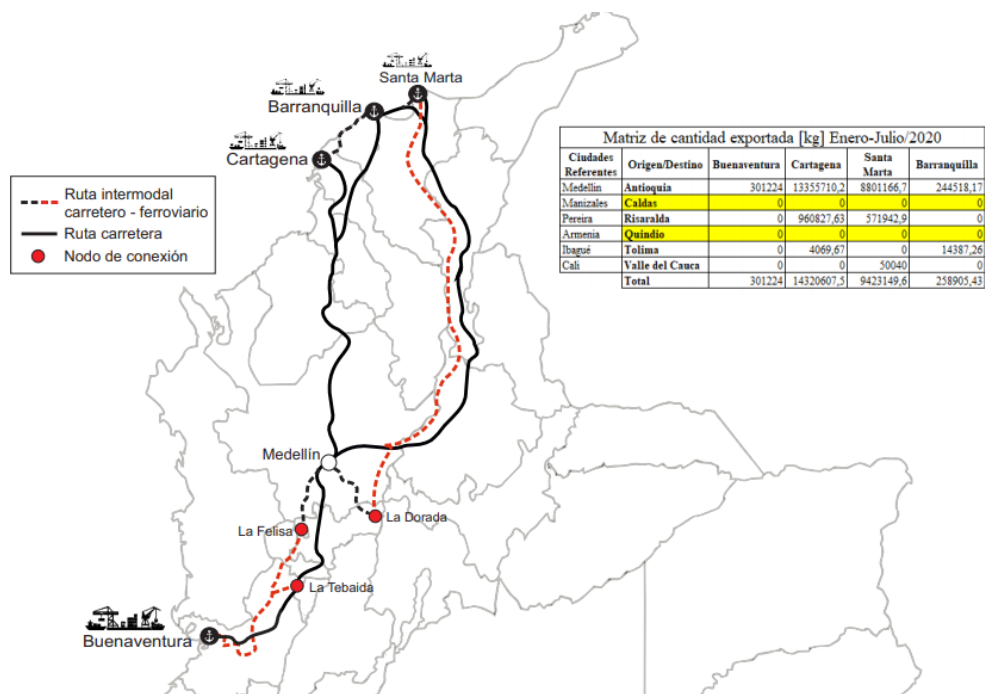


Fig. 5. Mapa de rutas terrestres y ferroviarias a puertos principales desde Medellín año 2020

Los fletes por modo carretero desde las ciudades hasta los nodos de intercambio modal se presentan en la TABLA XII, es importante resaltar que dichos costos asociados al transporte son complejos de estimar debido a la pandemia del COVID, sin embargo, para la obtención de estos datos se hizo uso del estimador de carga *World Freight Rates*, el cual se configuró bajo el tipo de carga FCL, con contenedor de 40' refrigerado, en este sentido, se obtuvieron los costos de transporte correspondientes a cada ruta, teniendo en cuenta que el estimador entregaba el costo entre un límite inferior y superior, se procedió a calcular el promedio de cada ruta para el costo total.

TABLA XII.  
COSTOS DE TRANSPORTE DESDE CADA CIUDAD A NODOS INTERMODALES. [17]

Origen	Destino	Rango de Costo		Costo total del viaje (US)	Costo total del viaje (COP)
		Limite inf	Limite Sup		
Manizales	La Dorada	111,63	123,38	117,505	436 524,0247
	La Felisa	157,47	174,05	165,76	615 788,4544
	La Tebaida	74,63	82,49	78,56	291 845,6864
Medellin	La Dorada	158,67	175,37	167,02	620 469,2788
	La Felisa	85,68	94,7	90,19	335 050,4386
Pereira	La Tebaida	191,51	211,67	201,59	748 894,7546
	La Dorada	143,91	159,06	151,485	562 757,6859
	La Felisa	62,85	69,46	66,155	245 761,8557
Armenia	La Tebaida	157,47	174,05	165,76	615 788,4544
	La Dorada	163,88	181,14	172,51	640 864,2994
	La Felisa	108,26	119,66	113,96	423 354,5624
Ibagué	La Tebaida	86,52	95,63	91,075	338 338,1605
	La Dorada	113,01	124,91	118,96	441 929,2624
	La Felisa	160,76	177,68	169,22	628 642,1468
Cali	La Tebaida	68,32	75,51	71,915	267 159,9101
	La Dorada	281,34	310,95	296,145	1 100 160,9063
	La Felisa	194,9	215,42	205,16	762 157,0904
	La Tebaida	107,12	118,39	112,755	418 878,0597

Posterior al resumen de datos, para verificar la oportunidad identificada, se realiza un análisis del entorno con la herramienta DOFA, la cual contiene cuatro parámetros (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) con los que se logra la identificación del comportamiento del entorno alrededor de la cadena de suministros del Aguacate Hass como se observa en la Fig. 6.

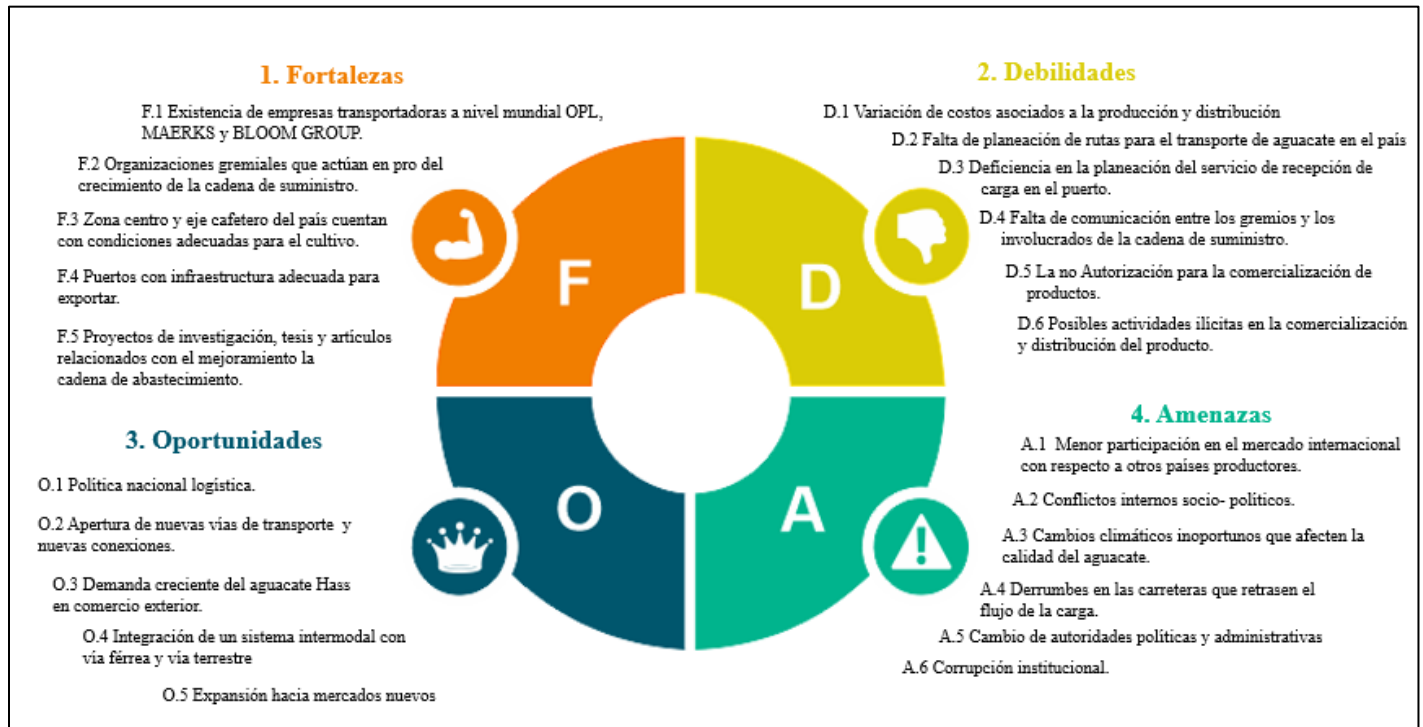


Fig. 6 Análisis DOFA de la integración de intermodalidad en la cadena de suministros de Aguacate Hass.

Consecuentemente, en la Fig. 7. Se determinan las siguientes estrategias propuestas en función de potencializar las fortalezas y las oportunidades:

		Factores externos	
		Oportunidades	Amenazas
Factores internos	Fortalezas	Estrategias de ataque	Estrategias de defensa
		(F.1 - O.4 & O.2) Optimizar la red vial y férrea para acceder a los puertos, con el propósito de desarrollar una mejor logística de envío.	(F.2 - A.1 & A.5) Suministrar la información encontrada a los gremios y al público colombiano con el propósito de dar a conocer la importancia de la exportación del aguacate Hass para Colombia, y así poder promover una mayor participación en el mercado internacional.
		(F.3 - O.3) Se debe promover el fortalecimiento de la producción de aguacate Hass, para que así tanto los pequeños como los grandes productores aumenten la participación de la cosecha de esta fruta en el país.	(F.3 - A.4) Establecimiento de acuerdos comerciales que permitan holguras en la entrega de la carga hacia los puertos de exportación del aguacate Hass.
	(F.2 - O.5) Identificar otros mercados internacionales para la exportación del Aguacate Hass para satisfacer la demanda e incrementar el volumen de exportaciones		
	(F.5 - O.1) Recolectar información de proyectos investigativos de los actores participantes en la cadena de suministro del aguacate Hass, con el fin de maximizar los tiempos de entrega y utilización de modos de transporte.		
	Estrategias de refuerzo	Estrategias de retirada	
Debilidades	(O.4 - D.2) Establecimiento de mecanismos de integración logística con rutas intermodales para mitigar los tiempos de retraso en caso de posibles derrumbes u otros factores. Para así satisfacer y promover la demanda internacional y disminuir la falta de comunicación entre los actores de la cadena.	(D.4 & D.5 - A.5) Concientización de los actores de la cadena en el manejo de la información y establecer mecanismos y tecnologías para mejorar la comunicación en los actores de la cadena.	

Fig. 7. Estrategias para el análisis DOFA

En resumen, en la TABLA XIII se presentan los resultados sobre el comportamiento en la actualidad de los indicadores de desempeño (Kpi's), así como también el establecimiento de metas de acuerdo con objetivos a largo plazo de la política nacional logística, siendo ajustados a objetivos de corto plazo y expectativas de crecimiento proyectadas por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo, Procolombia, gremios y documentos de investigación relacionados con la cadena de suministro.

*TABLA XIII.  
RESULTADOS DE INDICADORES DE DESEMPEÑO*

<b>Variable</b>	<b>Actualidad</b>	<b>Meta</b>
Tiempos de transporte del Aguacate Hass desde recepción hasta puerto.	El tiempo crítico sin actividades de carga y descarga es de 21,47 horas para la ruta Medellín - Santa Marta, y tomando en cuenta las actividades el tiempo asciende a 34,77 horas.	Reducción el 30% en los tiempos de transporte para la ruta crítica.
Proporción de carga [Contenedores] enviada de manera intermodal	Los contenedores de Aguacate Hass son enviados en su totalidad por modo carretero; la intermodalidad tiene una participación en 0%.	Aumentar la participación de la intermodalidad en las operaciones logísticas a un 26,1%
Costos logísticos (costos de transporte y operacionales)	El costo total de operación y transporte de la cadena de suministro es de \$ 4 960 269 682,7	Se espera que los costos logísticos reduzcan en un 0.2%.

IV.

ANALIZAR

A. Análisis de Oportunidad

Con el propósito de conocer a mayor profundidad la oportunidad de mercado, se elaboró el árbol de problemas (ver Fig. 8.). El árbol de problemas es una técnica que permite identificar la situación del sistema actual de manera más detallada. Con esta herramienta, se exponen tanto las causas que generan el problema como sus efectos negativos, de esta manera se interrelacionan los tres componentes de una forma gráfica [18]. En el centro se encuentra el problema que genera una oportunidad en el mercado del Aguacate Hass en Colombia. Adicionalmente, se identifica los controladores correlacionados directamente con los requisitos del cliente y los cuales, son las causas presentadas en el árbol de problemas, estos se tendrán en cuenta para el diseño de una solución que mejore el flujo de la cadena de suministro en estudio ya que al abordarlos se estará planteando una propuesta que satisfaga las necesidades e intereses de los involucrados.

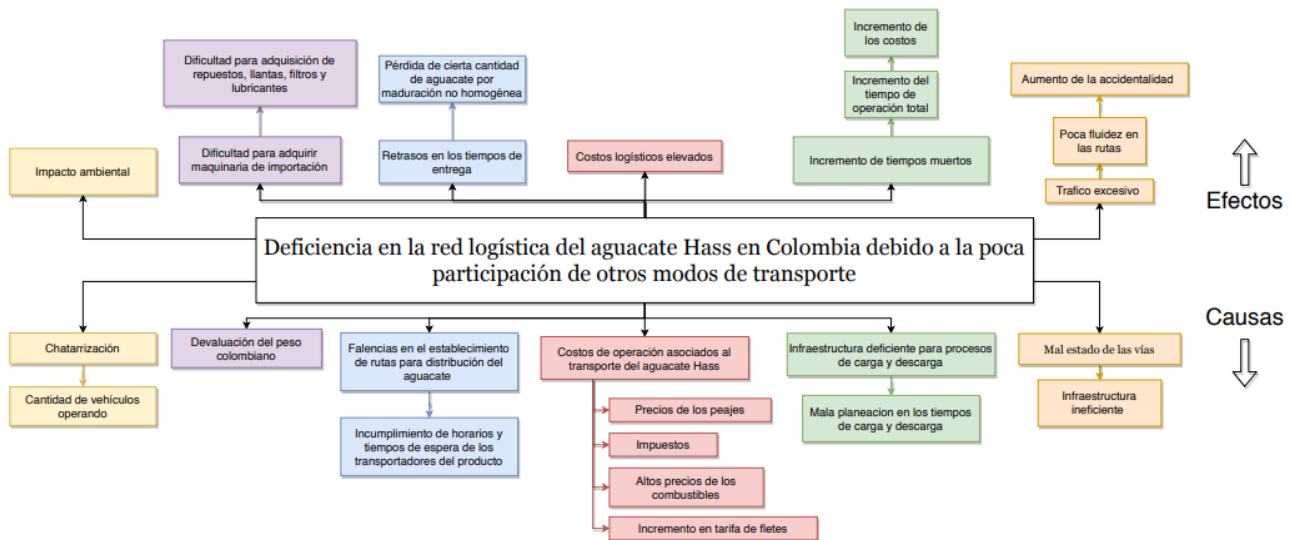


Fig. 8. Árbol de problemas

Teniendo en cuenta lo anterior, se aprecia las relaciones tipo causa-efecto presentes en el sistema actual cuyas falencias son notables. La chatarrización del parque automotor en Colombia está generando graves problemáticas relacionadas con la cantidad excesiva de vehículos en operación, actualmente, se estima que la edad promedio de la flota de vehículos de carga en Colombia se ubica en 21 años, cifra superior a la de países de la región, como Chile (11 años), Brasil (12 años) o México (16 años) [19], esto implica que los vehículos de carga en Colombia sean altamente riesgosos en términos de siniestros viales y deterioro al medio ambiente. Además, esta causa de afectación al sistema de transporte implica mayor inversión en mantenimientos y pruebas normativas de tránsito para los vehículos lo cual afecta el eslabón de los transportadores en la cadena de suministro del Aguacate Hass. Como es evidente, la chatarrización es un problema que va de la mano con la devaluación del peso colombiano con respecto a las monedas de los mercados internacionales, es decir, la variación de la moneda es un factor que influye negativamente en el transporte de aguacate Hass por modo carretero, debido a que se aumentan los precios de compra para cualquier tipo de pieza, repuesto o maquinaria de importación, dificultando así la adquisición de piezas claves para mantener en buen estado los vehículos de transporte y así disminuir el impacto ambiental. Por otra parte, la variación de la moneda dificulta estar a la vanguardia en términos de tecnología y maquinaria con respecto a los demás países de la región.

Otro punto a tener en cuenta, es que los transportadores recogen el producto en un lugar de depósito ubicado en las ciudades principales del país, normalmente los procesos de carga y descarga suelen realizarse bulto por bulto, o caja por caja de manera manual, esto representa un proceso poco eficiente, que a su vez genera deterioro en los aguacates a transportar [20], esto se debe a que generalmente no se cuenta con bahías de carga, es decir, no se cuenta con la infraestructura necesaria para agilizar el transporte de la carga. Aunque la mayoría de los puertos cuentan con bahías de carga, los cuellos de botella que se generan para el uso de las bahías son críticos, lo cual evidencia una mala planeación en el manejo de los tiempos de carga y descarga de los contenedores. Según datos de la encuesta nacional logística, un transportador pasa en promedio 11 a 12 horas realizando procesos de carga y descarga con sus respectivos tiempos de espera [13], esto genera que se eleven los costos de operación.

Si bien las causas relacionadas con la infraestructura deficiente para realizar los procesos de carga y descarga, la chatarrización de parque automotor y la devaluación del peso colombiano con respecto a los mercados internacionales, son factores que influyen negativamente en el transporte de aguacate Hass por modo carretero en Colombia, generando efectos como los impactos ambientales, la dificultad para adquirir maquinaria importada y el incremento de tiempos muertos en toda la cadena de abastecimiento. El enfoque del proyecto va encaminado a las falencias en el establecimiento de las rutas de distribución, los costos de operación asociados al transporte y la inadecuada infraestructura vial del país para la exportación de aguacate Hass en Colombia.

Por esta razón, es importante contextualizar como se encuentra actualmente Colombia en términos de logística, para esto existen indicadores a tener en cuenta como el índice de desempeño logístico (LPI), el cual es medido por el banco mundial, este índice es importante debido a que evalúa y compara a Colombia con respecto a otros países a nivel mundial sobre su comportamiento logístico, este índice evalúa infraestructura, aduanas, servicios, confiabilidad de la cadena de suministros, infraestructura, despachos, rastreo, y puntualidad. Se resalta que, “Colombia obtiene una calificación inferior a la de todos los países con los que limita, y sólo está mejor que Honduras, Bolivia, Guyana, Haití y Cuba. Teniendo en cuenta que la calificación más baja de Colombia se presenta en el componente de infraestructura (2,44)” [21], posicionando a Colombia en el puesto 94 hasta el año 2016, y actualmente ocupando el puesto 58 de 160 países en total, estos cambios se deben a las políticas actuales aduaneras y a la implementación de proyectos viales en el país, sin embargo, aún se presentan problemas referentes a la infraestructura vial.

Un efecto que se destaca es el retroceso logístico del país pues no cuenta con la infraestructura vial adecuada para transportar eficientemente las cargas, no solo de Aguacate sino de cualquier producto en general. Según el anuario Estadístico Sector Transporte, Colombia suma 204 855 km de carreteras (porcentaje pavimentado inferior al 7%, según IDB 2014), de las que únicamente el 8,5% corresponde a vías primarias y el restante 91,5% de kilómetros existentes corresponden a vías secundarias y terciarias. Según IDB, Colombia tiene una densidad de vías pavimentadas de 1,9 km/100 km<sup>2</sup>, menor al promedio de América Latina (2.5) para lo cual se evidencia el déficit existente en la infraestructura actual. Igualmente, Colombia está por debajo de la tendencia internacional en dotación de kilómetros de vías frente a su mismo PIB, ver Fig. 9.



Fig. 9. Extensiones carreteras en Colombia [20]

Con respecto al reporte de los costos de transporte terrestre y costos en eficiencias, ver Fig. 10. Se evidencia que los costos de transporte de Colombia representan más de la mitad del precio logístico de la carga de exportación. Además, se observa que Colombia presenta mayores costos totales con respecto a competidores directos como México, Chile y Perú. En comparación con Panamá, es cuatro veces más costoso. En consecuencia, el deficiente sistema de transporte terrestre existente influye negativamente en los costos logísticos del país generando desventajas competitivas. Cabe resaltar que, aunque se identifican bajos costos con respecto a la eficiencia en puertos, los costos correspondientes al control en la aduanas y preparación de documentos es superior a la mayoría de los países referentes por lo que existen otros factores que influyen en el incremento de los costos logísticos para exportar mercancía en general.



COLOMBIA TIENE LOS COSTOS DE TRANSPORTE MÁS ELEVADOS CON RESPECTO A PAÍSES DE REFERENCIA, SITUACIÓN QUE SE RÉPLICA EN EL CONTEXTO LATINOAMERICANO

■ Costos de transporte terrestre  
■ Eficiencia en puertos  
■ Eficiencia y control en las aduanas  
■ Preparación de documentos

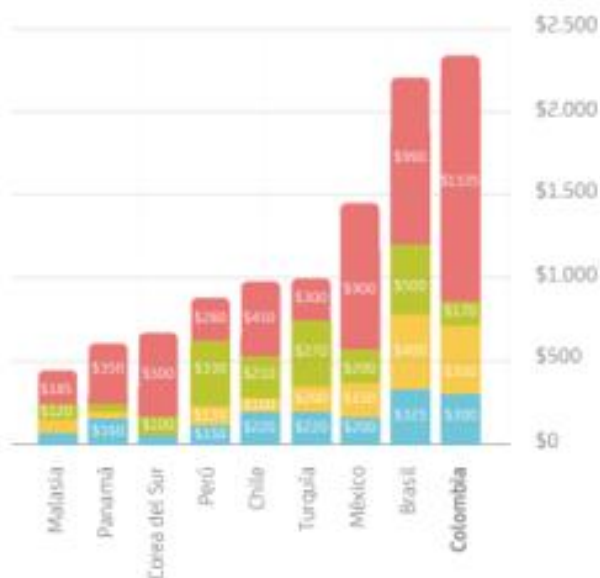


Fig. 10. Costos totales de exportar una mercancía en US\$ por contenedor [20]

Basados en datos de la Federación Colombiana de Transportadores de Carga, Colombia tiene actualmente un costo de combustible ACPM de \$8 338, cabe resaltar que el factor del combustible es el que tiene mayor representación en la estructura de costos con un 35,2%, seguido por 16,91% de salarios prestaciones y comisiones, 14,37% de costo capital, 7,90% de llantas y neumáticos y 7,08% mantenimiento y reparación, ver Fig. 11. Estos porcentajes representan alto costo de operación para los transportadores, sumado a esto, se debe tener en cuenta los costos elevados de los repuestos de los vehículos, como se mencionó anteriormente esto depende de la variación del peso, de manera que, se hace necesario buscar alternativas para mejorar los tiempos del transporte del aguacate Hass en Colombia.

Indicadores		Estructura de Costos Operativos Julio 2020 (Vehículo tipo tractocamión)			
<b>ACPM en Bogotá</b>		<b>Concepto</b>	<b>"Incremento %"</b>	<b>"Incidencia %"</b>	<b>Pond. %"</b>
ACPM Agosto 2020	8.238	Salarios, prestaciones y comisiones	3,25	0,56	16,91
Variación	0,00%	Combustibles	-7,11	-2,66	35,25
Acumulado del año	-10,63%	Llantas y neumáticos	4,32	0,33	7,90
Peso en la canasta de costos	35,25%	Costo de capital	2,51	0,32	14,37
<b>ICT (Índice de Costos al Transportador)</b>		Filtros	4,39	0,03	0,80
Julio 2020		Lubricantes	3,38	0,05	1,64
Índice ICT (Base dic 2016=100)	114,54	Mantenimiento y reparación	3,62	0,24	7,08
Variación ICT año corrido	-0,72%	Peajes	2,89	0,33	11,57
Variación ICT últimos 12 meses	-0,67%	Impuesto al vehículo	-0,67	0,00	0,37
		Seguros	-0,92	-0,02	2,01
		Garajes y lavado	5,33	0,04	0,75
		Otros	4,39	0,06	1,36
		<b>TOTAL MES</b>		<b>-0,72</b>	<b>100,00</b>

Fig. 11. Estructura de costos operativos e indicadores, Colfecar año 2020 [21].

Teniendo en cuenta lo anterior, una de las posibles soluciones sería construir vías óptimas para mejorar el flujo de la carga, pero, como lo asegura la asociación Nacional de Industriales (ANDI), un plan maestro de transporte no se debe reducir a construir infraestructura ya que esta implica considerable tiempo e inversión y claramente la demanda del aguacate Hass es independiente a esta problemática. Es decir, si se opta por construir infraestructura vial; el tiempo requerido será mucho mayor al crecimiento de la demanda por lo que se deben reactivar rutas de diferentes modos de transporte e integrar la cadena para que no dependa únicamente del transporte terrestre. En los últimos años, se han venido estableciendo políticas como por ejemplo el Plan Maestro Férreo, Plan Maestro fluvial,

estrategias con el Banco Interamericano de transporte (BID), y la actual política nacional logística, que trabajan en pro del desarrollo del país, que tienen como objetivo incrementar la economía nacional haciendo uso adecuado de los vehículos y rutas existentes.

Es necesario aclarar que, se define el Marketing mix como "el conjunto de herramientas tácticas controlables de mercadotecnia que la empresa combina para producir una respuesta deseada en el mercado meta. La mezcla de mercadotecnia incluye todo lo que la empresa puede hacer para influir en la demanda de su producto" [22]. Las conocidas 4P's son claves en la consecución de los objetivos corporativos de cada empresa, para este caso, no es necesario realizar un análisis en las variables: Principalmente, el mercado meta son todos aquellos consumidores extranjeros de Aguacate Hass colombiano. El producto es el aguacate Hass cultivado en Colombia, una fruta perecedera cuya maduración no es homogénea, de color verde oscuro y superficie corrugada. El precio siendo una de las principales variables que se fija el mercado al adquirir el producto, no es el enfoque principal del proyecto. La promoción, abarca todos los medios y canales de comunicación en el que se da a conocer el producto al público. No obstante, el proyecto se enfoca en la plaza, el cual refiere a la cadena de distribución y logística de los espacios que el producto (Aguacate) debe recorrer hasta el consumidor final.

En síntesis, el proyecto aprovechará la deficiencia del sistema actual del transporte terrestre para junto con políticas gubernamentales como la política nacional logística se diseñe un modelo de integración de la cadena de aguacate Hass a través del transporte multimodal que permita a este sector de la industria estar a la vanguardia y listo para la creciente demanda extranjera la cual presenta un incremento exponencial, esto se valida según datos del Ministerio de Agricultura, pues para el 2014 se registraron 1760 toneladas en comparación a las 28 487 toneladas de Aguacate Hass exportadas en 2017 [23].

### *B. Revisión de literatura*

A partir del problema ya especificado anteriormente, correspondiente al deficiente modo carretero, con las causas y las consecuencias que de este se generan, se procede a realizar la revisión bibliográfica a diferentes alternativas.

La modelación matemática es una de las herramientas a utilizar, en el primer artículo de la TABLA XV, aplican la modelación analizando la ubicación de nodos intermodales, con el objetivo de minimizar costo total de transporte de la mercancía; esta modelación matemática consiste en estudiar la relación del problema multimodal con un problema de mediana P, y su impacto en los costos (transporte previo, transporte entre nodos, transbordo) [24]. Así mismo, en el segundo artículo, el modelo encontrado con respecto a los productos perecederos es un modelo multiobjetivo, y al ser multicriterio, enlazan el modelo hacia programación con metas ponderadas, es debido a esto que el objetivo es incrementar utilidades y minimizar costos, por lo que empiezan con la realización de matrices de pago, y restricciones con pesos para cada componente [25].

También, se presenta la formulación de modelo carga multimodal, multi periodo y multiobjetivo, que abarca problemas de transporte de carga con el uso de varios modos de transporte en diferentes periodos de tiempo, y con el diferencial de incluir no solo operaciones para exportación sino también operaciones a nivel de importación, este planteamiento resulta útil para el proyecto puesto que la formulación entera mixta tiene en cuenta los principales factores que afectan el flujo de la carga en la cadena de suministros como lo es tiempo de tránsito, capacidades, demandas, puntos origen, y puntos destino [26].

Por la misma línea de programación entera mixta, se encuentra el artículo que fomenta el desarrollo de redes intermodales en Colombia, este caso, busca optimizar la red conectando los nodos origen-destino entre las principales ciudades del país y los puertos mediante la red fluvial, puesto que exponen como principal problema el abandono al transporte por ríos en Colombia, por la utilización de vías carreteras, resaltando que el uso de transporte fluvial representa menores costos por tonelada y kilómetro recorrido, así mismo reduce contaminación por la disminución de emisión de dióxido de carbono. Sin embargo, la utilización de vías fluviales se ha venido reduciendo por la utilización de vías terrestres, dejando solo un 2% al uso de vías de fluviales para transporte de carga [27]. El modelo planteado trabaja bajo el supuesto de que los flujos de carga solo se harán desde ciudades principales a ciudades costeras, suponen que entre nodos no hay operaciones de descarga y carga, bajo la configuración del uso de un solo vehículo y el tipo de carga general, sin especificaciones, como se puede observar en Fig. 12. Los nodos son las ciudades predefinidas por el artículo y el producto llega hasta las zonas costeras, pasando a través de las plataformas logísticas, y se hace el modelado con respecto a la red fluvial disponible en Colombia.

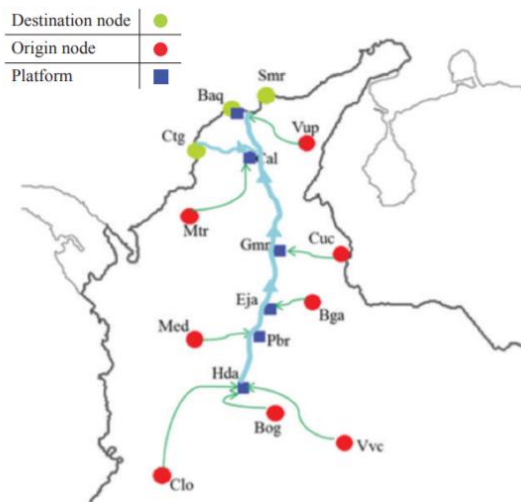


Fig. 12. Modelo programación lineal entera mixta [27].

El modelo planteado tiene como objetivo la minimización de costos de transporte y costos por uso de plataformas logísticas (nodo), con restricción de capacidad de uso de las plataformas, restricción para cumplimiento de la demanda de cada origen, restricciones para no ir en contra de establecimiento de la red, y de no negatividad para encontrar el resultado lógico, con el diferencial de que tienen plataformas intermodales fluviales y se busca la ubicación óptima de estos nodos.

De acuerdo con la investigación presentada, se puede evidenciar que la mayoría de las publicaciones son enfocadas hacia la modelación, ya sea de forma heurística, lineal, y/o metaheurística, o formulación matemática. Sin embargo, se encontraron publicaciones relacionadas a simulación con agentes, como lo indica el artículo publicado por el autor Vasco Reis, este artículo presenta la definición de cada uno de los componentes y así mismo el uso de cada uno de ellos en la simulación, tiene en cuenta criterios como el tiempo de tránsito, flexibilidad, fiabilidad y el factor precio del sistema en cuestión. Como bien lo indica el autor “El modelo basado en agentes se aplica a un servicio de transporte intermodal en funcionamiento y se utiliza para simular un servicio de transporte por carretera hipotético” [28]. La creación de agentes para esta simulación es uno de los factores más importantes para tener en cuenta ya que a partir de ellos se desarrolla el modelo y se evalúan las correspondientes variables, se deben tener en cuenta agentes para cada modo de transporte, los agentes que regularan las capacidades de modos o agente transitarios, y los agentes que regulen el tiempo entre salidas y/o despachos, A continuación, en la Fig. 13. se presenta el modelo planteado para este artículo.

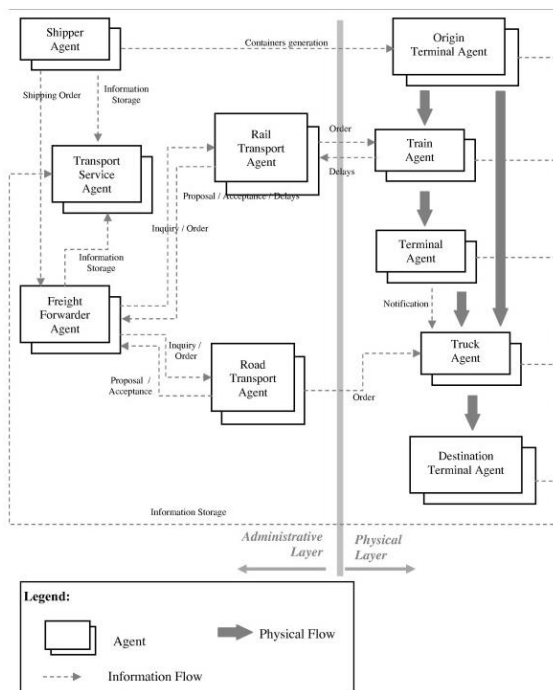


Fig. 13. Modelo de simulación por agentes [28].

La simulación es entonces, una herramienta útil, que permite imitar el sistema actual y contrastarlo contra una propuesta, por lo que no se incurre en costos, en caso de desear el replanteamiento en el modelo y añadir otras perspectivas, incluso tiene en cuenta la interacción existente entre agentes del modelo de manera física, debido a que la simulación se alimenta con datos sobre movimientos reales que ejercen los modos de transporte seleccionados. A continuación, se presenta un resumen de la investigación en la TABLA XIV.

TABLE XIV.  
RESUMEN REVISIÓN DE LITERATURA

Tipo	Título	Autores	Año	Industria	Objetivo	Método	Resultados	Aporte al Proyecto
Problemas de planificación estratégica	Optimal Rail-Road container terminal location on the European Network	S. Limbourg B. Jourquin	2009		Establecer la ubicación óptima de las terminales intermodales.	Optimización multimodal relacionada al problema de la mediana $p$ -hub.	Procedimiento iterativo basado en el problema de la mediana $p$ -Hub y en el problema de asignación multimodal obteniendo una red que optimiza costos. [24].	Se puede apreciar que la modelación matemática es una herramienta que puede contribuir al proyecto ayudando a minimizar costos, y a encontrar la localización óptima de nodos.
Planificación Estratégica	Distribución óptima del transporte intermodal: aplicación a la exportación de perecederos.	Juan Carlos Pérez Mesa & José Antonio Salinas Andújar	2010	Productos perecederos	Utilizar técnicas de programación multicriterio con el objetivo de minimizar el coste y el tiempo de tránsito.	Optimización multicriterio	Se aprecia que el coste del transporte intermodal es inferior en un 14% al terrestre (en promedio y para las rutas más viables). Sin embargo, el tiempo de tránsito total casi se dobla. El sector tendría que estar dispuesto a que el tiempo de entrega de la mercancía se incrementase un 80%, como punto positivo el coste de transporte se vería reducido en un 10%. Esto equivale a decir que el decisor tendría que valorar el factor coste 3,7 veces más que el factor tiempo. [25]	La aplicación de un modelo matemático aporta al proyecto una alternativa de proponer un modelo al transporte del Aguacate Hass con múltiples criterios teniendo en cuenta los conflictos que existen entre variables.
Estado del arte	Participación del ferrocarril en la cadena de frío. Perspectiva doméstica y global.	Carmen Guadalupe Morales Pérez	2011	Agrícola. Productos perecederos.	Identificar, documentar y reseñarla penetración del modo ferroviario en la cadena de frío de productos perecederos, en el mundo y en México.	Investigación bibliográfica y documental.	Ante las presiones medioambientales y económicas derivadas de la contaminación y el alto precio del combustible utilizado por el modo carretero, la alternativa ferroviaria nuevamente resulta atractiva y posible para el transporte de perecederos. No obstante, para lograr la meta es necesario realizar inversiones cuantiosas tanto en la infraestructura como en el equipo. [29]	Se evidencia que las rutas férreas son una alternativa limpia y económica para los intereses del proyecto. No obstante, el documento presenta casos más no modelos consolidados de operación ferroviaria.
Problema de planificación táctica	Análisis de las variables de elección de modo en el transporte de mercancías intermodal de corta distancia utilizando un modelo basado en agentes.	Vasco Reis	2014	Comercio en EU	Realizar una evaluación del rendimiento del modo de transporte competidor (intermodal) en diferentes escenarios de la demanda y considerando las distancias.	Simulación por agentes	Los resultados de la simulación muestran una clara ventaja para el transporte por carretera. El transporte intermodal sólo supera al transporte por carretera en unos pocos escenarios que se enfocan en la variable que estudian los precios y costos. Los resultados muestran que estas variables (ya sea individualmente o en conjunto) casi nunca justifican la elección de la intermodalidad por parte de un transportista. Es necesario seguir investigando los factores de éxito y las variables de elección a estudiar en los servicios intermodales de corta distancia. [28]	Es interesante conocer modelos preestablecidos como ABM y selección de modo cuyas suposiciones principales pueden ser la base de la solución del problema planteado. Tales como lo son, la definición del tamaño de carga a llevar, fijación de nodos, escogencia de una línea ferroviaria, y definición de la flota de transporte

								por carretera. (Tipos de vehículos a utilizar).
Problema de planificación táctica	A multi-objective sustainable load planning model for intermodal transportation networks with a real-life application.	Adil Baykasoğlu  Kemal Subulan	2016	Logística internacional	Presenta un modelo de programación matemática de enteros mixtos para un problema de planificación de carga sostenible de múltiples objetivos, modos y períodos considerando la importación / exportación. y así realizar flujos de carga para satisfacer las demandas de transporte de los clientes y muchos otros problemas relacionados.	Modelo de programación entera mixta	Se obtiene un modelo de programación matemática mixta para resolver un problema de planificación de carga multiobjetivo, y multietapa, donde se agregan subproblemas de selección de modo transporte y tipo de servicio, asignación periódica, y tiene en cuenta la consolidación de carga en puerto. Este modelo busca la minimización de costos totales de la red de transporte intermodal [26].	El modelo aplicado tiene múltiples objetivos como minimizar los costos generales de transporte, se busca la máxima satisfacción del cliente minimizando la carretera total, tiempos de tránsito marítimo y ferroviario, a través de los anteriores objetivos, se identifican metas probables para el modelo que se pueden abarcar y evaluar si son adaptables al modelo, también se identifican procedimientos para la optimización de objetivos múltiples con conflictos simultáneos.
Problemas de planificación estratégica	Logistic platform placement for harmonious development of the nation's intermodal network.	Rafael Arévalo Ascanio, Rafael Santofimio Rivera, Jair Eduardo Rocha González, Wilson Adarme Jaimes.	2018	Logística nacional	Proponer un modelo de programación mixto entero con el objetivo de minimizar los costos totales de transporte y operación de la nueva red intermodal en Colombia	Modelo de programación entera mixta	Los resultados obtenidos por los dos escenarios modelados evidencian claras diferencias con respecto a la reducción de los costos totales de transporte, realmente revela porque es importante establecer una red multimodal. [27]	El método utilizado tiene factores similares a la cadena de suministro, el modelo se basa en establecer nodos con el fin de reducir costos operacionales.

Para la identificación de la metodología que mejor se adecúa a la propuesta planteada, es necesario realizar benchmarking, en este caso y teniendo en cuenta la revisión de literatura, la modelación de redes es una técnica bastante útil para llevar a cabo el desarrollo del modelo, puesto que se cuentan con datos sobre el sistema actual, se procedería establecer los flujos, viajes y rutas como variables principales, y se tendrían en cuenta las restricciones por modo carretero y modo férreo, así como restricciones de capacidad de los nodos de origen y destino, para finalmente, optimizar el modelo buscando la minimización de costos.

### C. Exploración de ideas y selección de alternativa

El proceso creativo se basará en la técnica de ideación SCAMPER, la cual contiene preguntas sobre lo que podría abarcar el problema establecido, se dividen en 7 secciones: sustituir, combinar, adaptar, modificar, proponer, eliminar, y reordenar, mediante la utilización de esta técnica se busca realizar un filtro de ideas para la selección de alternativas teniendo en cuenta los intereses del proyecto [30]. A continuación, se presenta la estructura en la que se basa dicha técnica, Ver Fig. 14.

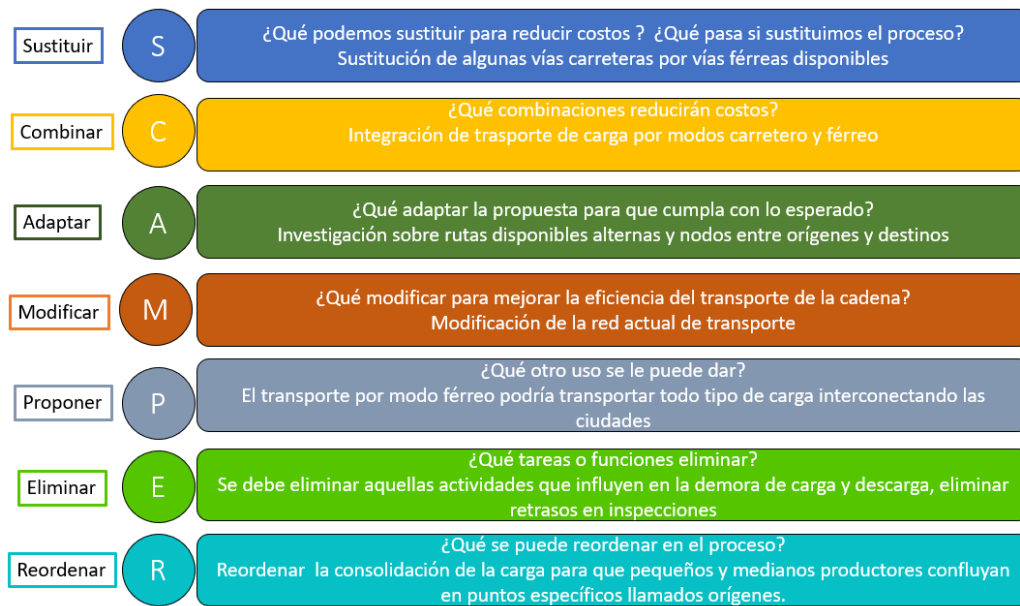


Fig. 14. Técnica de ideación Scamper

Con la técnica de ideación se obtiene una visión general sobre lo que está abarcando el problema, puesto que el proyecto trabaja en pro del cumplimiento de unos objetivos y la solución al problema planteado, que anteriormente se verificó en el árbol de problemas (ver Fig. 8). Se hace necesario, la construcción de un árbol de objetivos mediante el cual se pretende el establecimiento de alternativas de solución más específicas con respecto al objetivo que se busca, en este caso, es mejorar la eficiencia del transporte de aguacate Hass, con el diseño de una red intermodal, en ese sentido, el árbol de objetivos tiene en sus raíces los medios por los cuales se alcanzara el objetivo que se encuentra en el “tronco” del árbol, obteniendo los fines en las “ramas”, como se puede observar en la Fig. 15. Se identifica que las alternativas que más se adecuan para la resolución del proyecto, son simulación por agentes, simulación discreta, diseño de redes, heurísticas, e investigación bibliográfica para verificar como se aborda el proyecto en otros países.

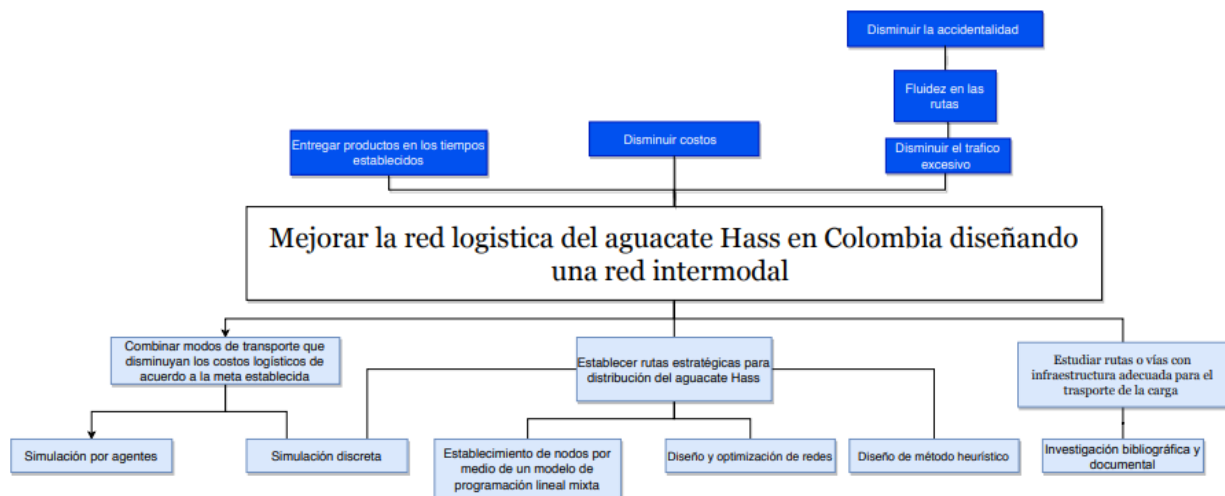


Fig. 15. Árbol de objetivos

Con el fin de realizar una delimitación del proyecto, el análisis de las alternativas permite evaluar si realmente las formas o estrategias son viables para cumplir con el proyecto a largo plazo. Consecuentemente, se debe clasificar dichas alternativas y descartar aquellas que no tengan injerencia en el resultado del proyecto. Como se mencionó anteriormente las 4P's son elementos clave en la obtención de los objetivos y como tal, las alternativas que se tienen como candidatas deben estar en función de las 4P's, sin embargo, el proyecto se enfoca en el área de la distribución y logística, concretamente en la integración de una cadena de abastecimiento del aguacate Hass en Colombia, por lo tanto, el factor plaza de las 4P's será tomado en cuenta para la selección de la alternativa.

TABLA XV.  
RESUMEN SOBRE ALTERNATIVAS

Alternativa	Descripción	Impacto en el proyecto
Método heurístico	Esta alternativa implica realizar un conjunto de pasos para identificar en el menor tiempo una solución eficaz para determinado problema o proyecto de mejora, los métodos heurísticos son eficientes para la resolución de problemas, sin embargo, a pesar de tener un alto grado de confianza no se puede comprobar solidez o su optimalidad en el resultado obtenido, es decir no es posible entregar resultados totalmente confiables.	Este método tiene impacto sobre el proyecto porque es un modelo rápido, efectivo, que ayuda a solucionar problemas de optimización de manera intuitiva, en la que dependiendo de la complejidad de la estructura del problema se aborda forma inteligente para obtener una buena solución.
Optimización multicriterio	Es una herramienta útil cuando se desean optimizar varios objetivos.	Esta alternativa es de relevancia para el proyecto porque por medio de esta estrategia se puede realizar la gestión conjunta de metas cómo son la disminución de costos, gestión de tiempos de entrega y optimización de las rutas establecidas de transporte dando como resultado un gran aporte para la eficiencia del transporte del aguacate Hass en Colombia.
Diseño y optimización de redes	El propósito de esta alternativa es optimizar los modelos actuales con el fin de cumplir objetivos o metas definidas por el grupo de trabajo, lo cual se puede realizar mediante modelos de programación lineales o en otro caso, diseño de redes de transporte.	El objeto principal del proyecto es diseñar un sistema de redes óptimo que permita minimizar los costos de transporte consiguiendo así un modelo de transporte más rentable para el sistema.
Investigación bibliográfica y documental	Sirve para obtener, seleccionar, organizar, interpretar y analizar información sobre un objeto de estudio.	Dado que el proyecto es netamente investigativo, es indispensable estar en una constante actualización de la información sobre proyectos que implementen la intermodalidad, así como también realizar revisiones periódicas a documentos bibliográficos, libros y registros audiovisuales con el fin de conocer, estudiar y controlar las variables y parámetros que se deben tener en cuenta para el correcto estudio de este proyecto.
Simulación por agentes	Es un tipo de modelo computacional que permite el estudio y simulación de acciones, relaciones e interacciones de distintos actores independientes dentro de un entorno de estudio, para así determinar qué efectos producen en conjunto dentro del sistema de estudio.	Aplicando esta estrategia, cada agente corresponderá a un componente a evaluar del proyecto para que así con la simulación se puedan poner a variar los agentes para estudiar cómo cambia el modelo.
Administración del transporte	Esta estrategia permite acomodar la eficiencia, estudiar y apoyar todo el ciclo de vida del transporte de la mercancía logrando total rendimiento del modelo.	Al implementar esta alternativa para el proyecto, sí se realiza de manera adecuada, se puede ofrecer un servicio excepcional de transporte del aguacate Hass, con una óptima eficiencia y control de costos operativos del proyecto.

Si bien, las alternativas listadas anteriormente en la TABLA XV tienen la capacidad de impactar de manera positiva los objetivos para lograr su consecución, se realizó el proceso de análisis jerárquico AHP por sus siglas en inglés, con el fin de priorizar las distintas alternativas en función de un conjunto de criterios establecidos a interés del proyecto. A continuación, se presentan los tres criterios definidos sobre los cuales se tomará la decisión.

- **Confiabledad:** Se refiere al grado de confianza o seguridad que tiene los posibles resultados de las alternativas a evaluar, realmente es necesario cuestionarse si los resultados pueden ser aplicados para cumplir los objetivos del proyecto.
- **Complejidad:** Se refiere al grado de dificultad que tiene la implementación de las alternativas a evaluar o que tan exhaustivo es desarrollar una solución con dicha alternativa.
- **Tiempo de ejecución:** Corresponde a la duración en que se ejecuta una posible alternativa de solución a evaluar, este criterio resulta importante debido que por lo general los proyectos cuentan con limitaciones de tiempo en su implementación.

Para elegir la mejor alternativa se utilizó la metodología visual la cual consta de posicionar los criterios en un grado de preferencia específico partiendo de un criterio inicial, el resultado para los criterios confiabilidad, tiempo de ejecución y complejidad fueron 65%, 14% y 21% en participación respectivamente. Aplicando la misma metodología se realizó el cruce entre alternativas dependiendo cada criterio, los resultados finales muestran que la mejor alternativa para abordar la problemática del proyecto es el **diseño y optimización de redes** con un 41% de participación [ver Anexo 9], a esto corresponde que en el diseño se deba implementar la modelación matemática con la identificación de nodos intermedios, combinaciones, cantidades óptimas a transportar, etc.

#### D. Objetivos

##### Objetivo general

Elaborar una propuesta de integración de la cadena de abastecimiento del Aguacate Hass en Colombia a través del diseño de una red de transporte intermodal que mejore la eficiencia y disminuya los costos logísticos.

##### Objetivos específicos

- Elaborar un diagnóstico de la cadena de abastecimiento del aguacate Hass en Colombia con énfasis en su red de transporte, a través de revisión bibliográfica y artículos científicos que se asemejen a la propuesta planteada.
- Describir el estado actual de la infraestructura de transporte de carga en Colombia, a través del mapeo de fuentes bibliográficas disponibles.
- Diseñar una red de transporte intermodal para el aguacate Hass en Colombia mediante un modelo de optimización para redes.
- Validar el modelo propuesto mediante un análisis de los resultados obtenidos, verificando la disminución de los costos logísticos de acuerdo con la meta establecida.

#### E. Plan de trabajo (PdT)

A continuación, se presenta en la TABLA XVI el plan de trabajo propuesto para el cumplimiento de los objetivos específicos. La planificación del desarrollo del modelo y la verificación de los resultados se presenta en el Project charter [ver Anexo 10]. Es necesario aclarar que, para facilidad de comprensión, el objetivo general está resaltado en amarillo y los objetivos específicos en naranja, por otra parte, los entregables se identifican con color azul. En resumen, se planea que la ejecución del proyecto inicie el 04/01/2021 y finalice el 27/05/2021 con una duración total de 104 días.

TABLA XVI.  
PLAN DE TRABAJO

Objetivo	Área IISE	Herramientas de Ingeniería Industrial	Actividad	Entregable (alcance)	Fecha entrega
Elaborar un diagnóstico de la cadena de abastecimiento del aguacate Hass en Colombia con énfasis en su red de transporte, a través de revisión bibliográfica y artículos científicos que se asemejen a la propuesta planteada	Operations Research and Analysis	Information Engineering	Revisión de literatura	Revisión de información relacionada a rutas en funcionamiento para transporte de carga	15/01/2021
			Realizar benchmarking contra otros proyectos	Listado de rutas disponibles	22/01/2021
Describir el estado actual de la infraestructura de transporte de carga en Colombia, a través del mapeo de fuentes bibliográficas disponibles.	Transportation management	Market analysis	Establecer los puntos de inicio y fin del trayecto	Extensión de cada ruta	26/01/2021
			Identificar los posibles nodos de interconexión para los diferentes modos de transporte	Nodos de conexión intermodal	29/01/2021
Diseñar una red de transporte intermodal para el aguacate Hass en		Investigación de operaciones	Establecimiento de las decisiones a tomar para cumplir los objetivos.	Variables de decisión	02/03/2021



Colombia mediante un modelo de optimización para redes.	Operations Research and Analysis		Identificar el objetivo principal para realizar el modelo.	Función objetivo	11/03/2021
			Identificar las restricciones para cada componente del modelo.	Restricciones del modelo	22/03/2021
			Realizar la construcción de un modelo basado en optimización de redes.	Modelo matemático	31/03/2021
		Information Engineering	Investigación sobre software de optimización	Listado de softwares.	08/04/2021
		Investigación de operaciones	Definición de software a usar que mejor se adecúe al modelo.	Software seleccionado.	13/04/2021
			Implementación de software con la identificación de inputs requeridos.	Entradas. Para el software (AMPL): model, data,4 y comandos.	20/04/2021
Resolver el modelo en el software seleccionado.	Solución del modelo.		27/04/2021		
Validar el modelo propuesto mediante un análisis de los resultados obtenidos, verificando la disminución de los costos logísticos de acuerdo con la meta establecida.	Operations Research & Analysis	Análisis de datos	Obtención de resultados del modelo	Resumen de datos obtenidos	11/05/2021
		Toma de decisión basada en datos	Validar el impacto comparando con la meta propuesta	Informe sobre el análisis de comparación	18/05/2021

## DISEÑAR

### A. Desarrollo del diseño de la solución

El diseño es un modelo de programación lineal, para solucionar un problema de transporte intermodal. (con uso de dos modos de transporte: Férreo y carretero). Tiene como principal objetivo minimizar costos totales de la red.

### SUPUESTOS

Para el desarrollo de cualquier modelo, es necesario el establecimiento de supuestos, los cuales se presentan con el fin de encontrar la solución adecuada al problema presentado y teniendo en cuenta los requerimientos y la Voc del cliente estipulados en la etapa definir, se fundamentará el desarrollo de restricciones y la función objetivo que se busca optimizar. Se establecieron los siguientes supuestos.

1. Los datos de entrada son conocidos y deterministas:
  - Las cantidades producidas en cada nodo origen.
  - Los fletes de transporte entre todos los arcos, tanto desde las vías del tren como los fletes por carretera.
  - Las demandas de clientes internacionales.
  - Capacidades mínimas y máximas del tren
  - Capacidad de los Camiones
  - Costo de rentar un vehículo
2. Un solo tipo de mercancía a llevar.
  - Aguacate Hass.
3. La unidad de carga seleccionada es medida en contenedores en todos los ítems del modelo:
  - Flujos de Aguacate entre nodos.
  - Cantidades producidas.
  - Demanda de cliente.
  - Carga en el tren.
  - Carga en camiones.
4. Se considera que no se acumula Aguacate entre arcos, es decir, una vez se realiza un envío; el contenedor es cargado en los nodos origen y no se abre sino hasta su destino final, son rutas con carga fija.

5. Se considera que el puerto de Santa Marta al ser un nodo que se conecta con un nodo férreo puede llevar Aguacate desde si mismo hacia los puertos adyacentes (Barranquilla, Cartagena) pero por modo carretero.
6. Se considera que no se hará uso de un mismo camión cuando se requiera, por lo que cada vez que sea requerido se contará la utilización de un nuevo camión.
7. Se asume que el conjunto de terminales que se utilizarán potencialmente para el transporte intermodal son: la Felisa, Dorada y Tebaida.
8. Se asume que un contenedor equivale a 29 toneladas.
9. El modelo plantea que puede quedar demanda insatisfecha puesto que se puede presentar demanda superior a la producción, por lo que se asociara un costo de faltante por contenedor a cada cliente internacional.
10. Se elimina la ciudad Ibagué como nodo productor debido a que tuvo una producción de cero y por ende esa ciudad no influiría en la solución.
11. Se considera que la capacidad máxima de los trenes son 45 vagones y la mínima equivalente a 1 teniendo en cuenta la revisión a la infraestructura férrea realizada [ver Anexo 11].
12. Para la medición de los escenarios se sostiene una probabilidad equivalente para cada uno de ellos, es decir, una probabilidad de 0,3333.
13. Para la variación porcentual en cada escenario y con el fin de verificar la funcionalidad de los escenarios, se tiene en cuenta un aumento del 25% en los costos faltantes, para el escenario pesimista y una disminución de 25% en los costos de faltantes para el escenario optimista.

### Establecimiento del Modelo

Se define el conjunto  $B$  para representar los nodos que corresponden a las ciudades productoras de aguacate Hass en el país, la producción de las ciudades denotada por  $Q_j$  busca satisfacer la demanda  $Dem_j$  de los nodos correspondientes a los clientes internacionales definidos por el conjunto  $D$ . Para lograr una conexión que permita el flujo de aguacate Hass desde el origen hasta el destino clientes internacionales, es necesario establecer los nodos intermedios de conexión, por ende, se define el conjunto  $C$  para representar los nodos correspondientes a los puertos marítimos Ver Fig. 16. Es importante resaltar que, dentro de la red de transporte intermodal las ciudades productoras manejan envío por contenedores directo a los puertos marítimos, esto se realiza por modo carretero en donde se utiliza vehículo de carga con una capacidad  $Capv$ , en donde cada vehículo utilizado tiene un costo  $Costov$  relacionado al alquiler del vehículo.

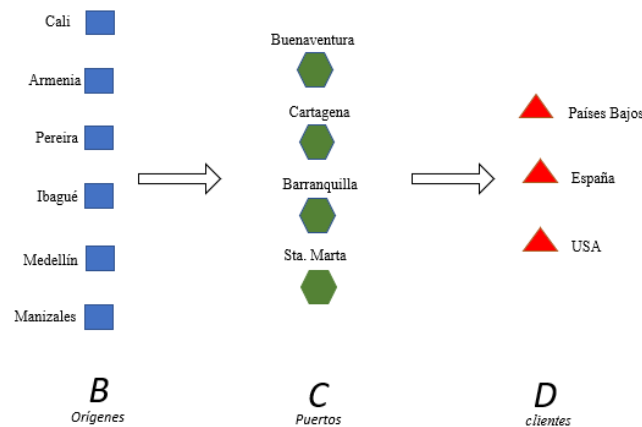


Fig. 16. Grafo de la red intermodal con los conjuntos principales ( ciudades origen, puertos y clientes finales).

Por otra parte, las ciudades productoras tienen la oportunidad de enviar los aguacates por ferrocarril combinando dos tipos de modos de transporte, en ese sentido se determinan las terminales intermodales que permiten realizar la transferencia de carga de modo carretero a modo férreo o viceversa, por lo tanto, se define el conjunto  $N$  para representar los nodos correspondientes a las terminales intermodales Ver Fig. 17. Para el uso de los corredores férreos se cuenta con la capacidad máxima  $Capmax$  y la capacidad de carga mínima  $Capmin$  de los trenes, la cual se refiere a la cantidad de contenedores necesaria para poder realizar un envío por el corredor férreo.

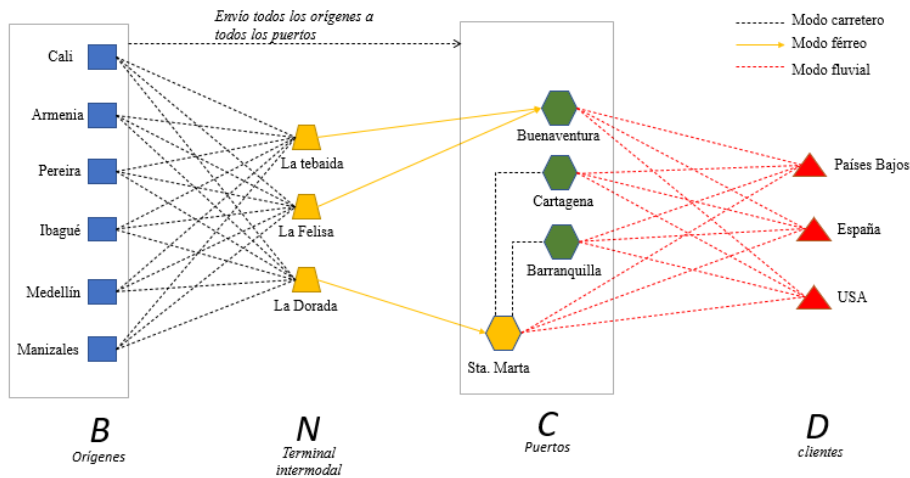


Fig. 17. Grafo de conjuntos principales con inclusión de conjunto de terminales intermodales (Tebaida, Dorada y Felisa).

Se define el conjunto T, para representar los nodos que tienen la posibilidad de enviar aguacate Hass a otros nodos por modo carretero, como se puede observar Ver Fig. 18. Las ciudades del conjunto B, envían aguacate Hass directamente a los puertos marítimos C, igualmente pueden hacerlo hacia las terminales intermodales N, donde se realiza el cambio de modo carretero a ferroviario, sin embargo, también es incluido el puerto de *Santamarta*, porque además de enviar carga al nodo de los clientes internacionales D, por modo marítimo, como los otros puertos, también puede realizar el intercambio intermodal de modo férreo (llegando de *La Dorada*) a carretero para enviar hacia los puertos de Barranquilla y Cartagena.

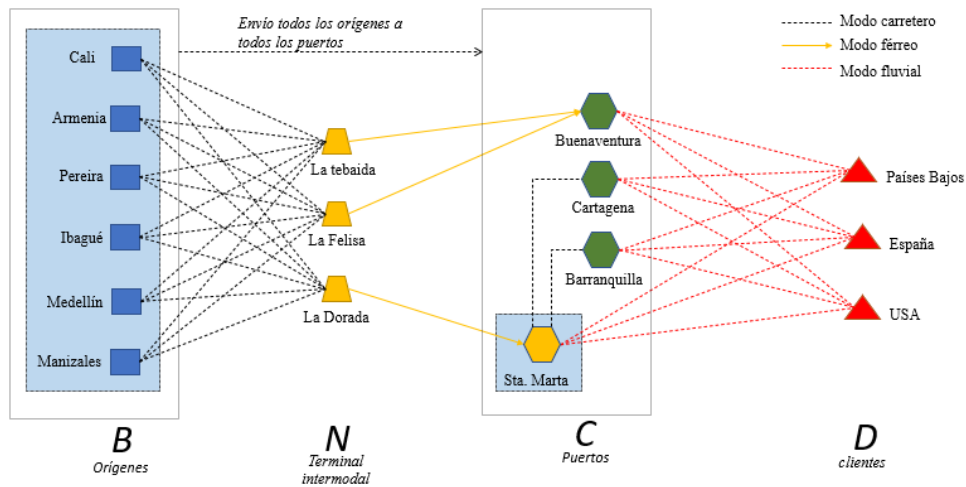


Fig. 18. Grafo para el conjunto T, con las ciudades que envían Aguacate por modo carretero.

Se define el conjunto K, para representar los nodos que tienen la posibilidad de recibir aguacate Hass provenientes de otros nodos, es decir, los nodos intermedios de la red, donde se encuentran los puertos y los nodos intermodales. Ver Fig. 19. Se realiza el cambio intermodal desde las ciudades productoras por modo de carretero a los nodos férreos del conjunto N, para continuar hacia los puertos marítimos C, por lo tanto, es denotado de la siguiente manera  $K = N \cup C$ , con el fin de unir los nodos anteriormente mencionados.

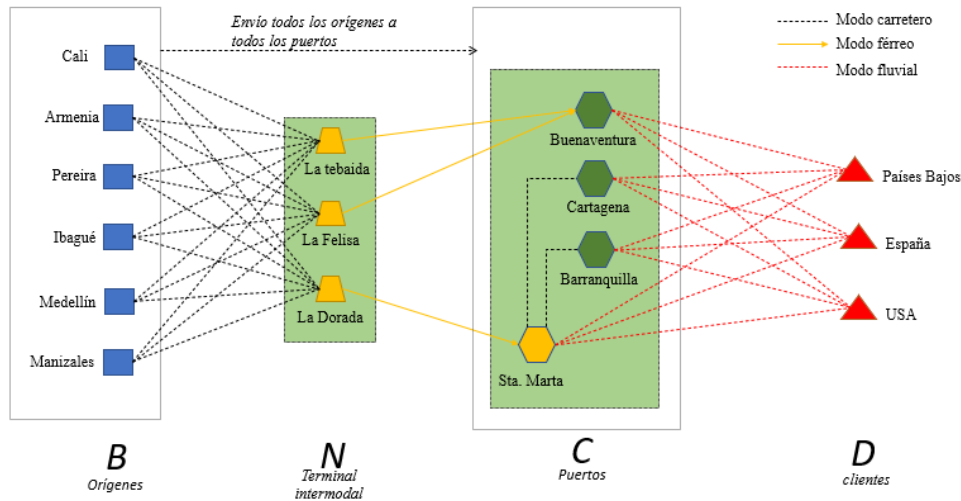


Fig. 19. Grafo para el conjunto de nodos intermedios de la red, que reciben y envían Aguacate.

A continuación, se establecen los conjuntos que van a consolidar los nodos de toda la red logística y los arcos, para los nodos se define el conjunto  $I = B \cup N \cup C \cup D$ , que comprende ciudades productoras  $B$ , conjunto de terminales intermodales  $N$ , conjunto de puertos marítimos  $C$  y conjunto de clientes internacionales  $D$ . Por otra parte, se define el conjunto de arcos  $A$ , en donde,  $A = B \times N \cup N \times C \cup C \times D \cup \text{Sta marta} \times (\text{barranquilla}, \text{cartagena})$ , es decir, son la representación de todos los flujos desde el punto de origen  $i$  al punto de destino  $j$ , como se puede observar. Ver Fig. 20. Se denota con  $B \times N$ , esto significa nodos pareados de la forma  $((\text{Cali}, \text{tebaida}), (\text{Cali}, \text{Felisa}), (\dots))$ , para cada una de las ciudades productoras  $B$  a las terminales intermodales  $N$ , del mismo modo son denotados los demás arcos de la red, que van acompañados de su respectivo flete  $flete_{ij}$ .

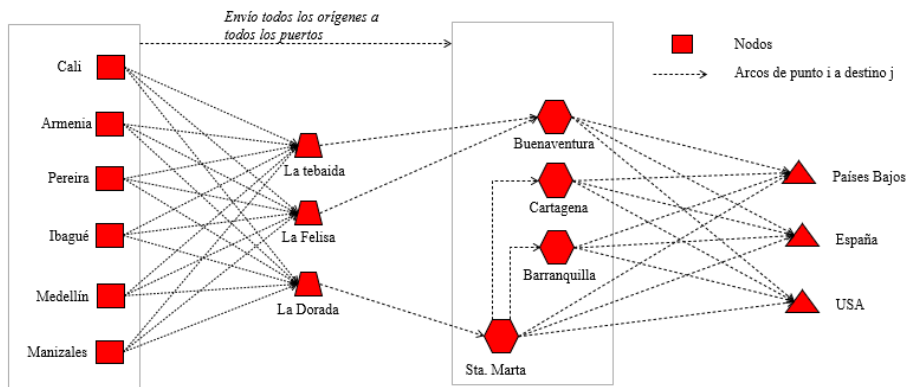


Fig. 20. Grafo de la red total con la representación de arcos entre todos los nodos.

Se define el conjunto Escenarios, para representar las variaciones del costo asociado a los faltantes  $Costofaltante_{js}$  de aguacate Hass por contenedor, es decir, se establecen tres escenarios posibles (PESIMISTA, NEUTRO, OPTIMISTA) Ver Fig. 21. En donde el escenario neutro es el costo normalizado sin ninguna variación, sin embargo, el escenario pesimista tiene un aumento del costo de faltante de 25% y el escenario optimista una disminución del 25%. Por otra parte, la probabilidad que ocurra estos escenarios está representada por el parámetro  $PROB_s$ , en donde todos los escenarios tienen la misma probabilidad de suceder. Para el costo del faltante [ver Anexo 4], a partir de la demanda exportada se toma como referencia el valor FOB PES en pesos para toda la demanda exportada por mes, se divide para calcular el valor por kg de aguacate para posteriormente hacer el cálculo por contenedor, con el fin de tener pronosticas mediante medias móviles los datos hasta el año 2021 para este costo de los faltantes.

param Costofaltante:			
	PESIMISTA	NEUTRO	OPTIMISTA:=
Paísesbajos	257578841.2	206063073	154547304.7
Usa	103744099	82995279.22	62246459.41
Espana	242141103.5	193712882.8	145284662.1;

Fig. 21. Variación del parámetro de costo faltante por escenario.

### Conjuntos

$B$  = Conjunto de nodo origen: Cali, Armenia, Pereira, Ibaguè, Medellin, Manizales.

$C$  = Conjunto de puertos: Buenaventura, Cartagena, Barranquilla, Santa Marta.

$D$  = Conjunto de clientes internacionales: Países bajos, Usa, España.

$N$  = Conjunto de nodos origen (terminales intermodales): La Felisa, La Dorada, La Tebaida.

$T$  = Conjunto de ciudades que consolidan carga: Cali, Armenia, Pereira, Ibaguè, Medellin, Manizales, Santa Marta.

$I$  = Conjunto de nodos,  $I = B \cup N \cup C \cup D$ .

$K$  = Conjunto de nodos de recepción de Aguacate Hass,  $K = N \cup C$ .

$A$  = Conjunto de arcos,  $A = B \times N \cup N \times C \cup C \times D \cup \text{Sta marta} \times (\text{barranquilla, cartagena})$

Escenarios

= conjunto para establecer escenarios en el parámetro de costos de faltantes. (Neutro, Pesimista, Optimista)

### Parámetros

$Q_j$  = Cantidad producida en ciudad [Contenedor],  $j \in B$ .

$Dem_j$  = Demanda de los clientes en mercados internacionales [Contenedor],  $j \in D$ .

$Capmax$  = Capacidad máxima de contenedores por tren carga [Contenedor].

$Capmin$  = Capacidad mínima de contenedores por tren de carga completa [Contenedor].

$Capv$  = Capacidad de vehículo [Contenedor].

$Costov$  = Costo de alquiler del vehículo  $\left[ \frac{\$}{\text{contenedor}} \right]$ .

$Flete_{ij}$  = Fletes de cada arco  $\left[ \frac{\$}{\text{contenedor}} \right]$ ,  $(i, j) \in A$ .

$Costofaltante_{js}$  = Costo de faltante por contenedor de cada cliente internacional  $\left[ \frac{\$}{\text{contenedor}} \right]$ ,  $(j \in D, s \in \text{Escenarios})$ .

$PROB_s$  = probabilidad asociada a cada escenario [Contenedor],  $s \in \text{Escenarios}$ .

### Variables de decisión

$M_{ijs}$  = Cantidad de aguacate a llevar [Contenedor];  $(i, j) \in A, s \in \text{Escenarios}$ .

$Z_{is}$  = Numero de vehículos alquilados en el lugar [entera];  $i \in T, s \in \text{Escenarios}$ .

$F_{js}$  = Cantidad de demanda insatisfecha [Contenedor];  $j \in D, s \in \text{Escenarios}$ .

$Y_j = \begin{cases} 1. & \text{Se decide utilizar nodo intermedio } n \\ 0. & \sim \end{cases}; j \in N$

$Cescenarios_s$  = Variable de costos logísticos por escenario [Contenedor];  $s \in \text{Escenarios}$ .

### Función objetivo

Se busca minimizar los costos totales de la red de transporte, es decir, la sumatoria de todos los fletes de transporte correspondientes a cada flujo entre los nodos, los costos por vehículo utilizado, representado por el CostoV, y los costos por faltante de la demanda insatisfecha de cada cliente internacional medida en contenedores. Debido a que se realizaran variaciones por escenario para el costo de faltante, se decidió añadir la variable Cescenarios multiplicada por cada probabilidad para mostrar individualmente el costo logístico total para el modelo por escenario, esto se logra mediante la conexión con la restricción siete, donde se calculan todos los costos.

Minimizar costo logístico =

$$\sum_{s \in \text{Escenarios}} (PROB_s * Cescenarios_s)$$

Restricciones.

**Nota.** Se realizarán variaciones en el modelo por cada escenario, por lo que cada variable estará asociada a dichos escenarios.

- 1. Producción.** El flujo de Aguacate provenientes de los nodos de las ciudades productoras (conjunto B) dependerá exclusivamente de la cantidad producida en cada ciudad puesto que son cantidades predeterminadas, teniendo en cuenta que el modelo puede dejar demanda insatisfecha y se asocia una penalidad a cada faltante, es posible que entre los flujos se pueda enviar una cantidad menor a la producida, dependiendo de las penalidades.

$$(1) \quad Q_j \geq \sum_{(j,i) \in A} M_{jis} \quad \forall j \in B, s \in Escenarios$$

- 2. Balance de flujos en toda la red.** Para este balance, de todos los arcos de la red se excluyeron los nodos de producción debido a que únicamente sale Aguacate de ahí, y también los nodos de los clientes internacionales puesto que de ellos no sale materia prima, solo llega. En esa lógica, los balances se realizaron para cada nodo perteneciente al conjunto K que contiene a Felisa, Tebaida, Dorada, Buenaventura, Santa Marta, Cartagena y Barranquilla, que son **nodos intermedios**.

$$(2) \quad \sum_{(i,j) \in A} M_{ijs} = \sum_{(j,i) \in A} M_{jis} \quad \forall j \in K, s \in Escenarios$$

- 3. Demanda.** Esta restricción obliga a que se satisfaga toda la demanda de los clientes internacionales pertenecientes al conjunto D, sin embargo, se agrega la disminución de la variable F, puesto que se puede presentar demanda insatisfecha, y esta variable contaría dichos faltantes, los que se tendrán en cuenta para la contabilidad y sumatoria de costos por faltantes (medidos en \$/contenedor) en la función objetivo, esto con el propósito de optimizar los costos, teniendo en cuenta que si un cliente presenta un costo de faltante menor respecto a otro cliente, puede preferir tener más faltantes que suplir la propia demanda.

$$(3) \quad \sum_{(i,j) \in A} M_{ijs} = Dem_j - F_{js} \quad \forall j \in D, s \in Escenarios$$

- 4. Capacidad Máxima.** Se debe restringir que los flujos de materia prima en contenedores sean menores a la capacidad máxima que provee el tren, con el fin de evitar que el problema sea de capacidad infinita, lo que es erróneo puesto que cada tren tiene una capacidad limitada, por lo que se proba la restricción en cada nodo N, correspondiente a los nodos férreos.

$$(4) \quad \sum_{(j,i) \in A} M_{jis} \leq Capmax * Y_j \quad \forall j \in N, s \in Escenarios$$

- 5. Capacidad Mínima.** En caso de usar algún nodo férreo, se cumpla que al menos un contenedor sea usado  $Capmin$ .

$$(5) \quad \sum_{(j,i) \in A} M_{jis} \geq Capmin * Y_j \quad \forall j \in N, s \in Escenarios$$

- 6. Capacidad de los vehículos.** Se restringe que los flujos de Aguacate en contenedores sean menores o iguales a la capacidad máxima de los vehículos rentados, puesto que cada vehículo tiene una capacidad limitada.

$$(6) \quad \sum_{(i,j) \in A} M_{ijs} \leq Capv * Z_{is} \quad \forall i \in T, s \in Escenarios$$

- 7. Cálculo de Costos totales.** Se prefirió calcular de manera independiente la función de costos, referida con la variable  $C_{Escenarios}$ , que es la sumatoria de todos los fletes usados en los arcos más los costos de alquilar un vehículo y añadiendo los costos por faltantes con las variables F que cuenta la demanda insatisfecha, por lo tanto, esta restricción activa la función objetivo para la minimización.

$$(7) \quad C_{Escenarios_s} = PROB_s * \left( \sum_{j \in D} (Costofaltante_{js} * F_{js}) + \sum_{(i,j) \in A} (fletes_{ij} * M_{ijs}) + \sum_{i \in T} (Costov * Z_{is}) \right)$$

- 8. Restricción de validación.** Con esta restricción se hizo la validación del modelo de tal manera que se limitó el modelo a usar los nodos férreos para identificar el estado de la red actual. Cabe resaltar que esta restricción se utilizó en validación del modelo, más no en la ejecución de la red intermodal propuesta.

$$(8) \sum_i^N Y_i = 1$$

### Análisis resultados

En este apartado se presenta la solución al modelo planteado. Los archivos con el código de programación son resueltos mediante el solver GUROBI en la plataforma NEOS, en el anexo se adjuntan los archivos correspondientes al modelo actual y modelo intermodal, teniendo en cuenta los escenarios [ver Anexo 12]. El resultado de la función objetivo es un costo total de la red de transporte representado en el modelo por la variable Cescenarios, como se puede observar en la Fig. 22 el costo total es un promedio ponderado debido a que el modelo fue calculado mediante escenarios con probabilidades, teniendo en cuenta que en este caso las probabilidades asignadas son iguales, se toma como referencia de costo total el costo entregado por el escenario neutro cual entrega un valor de \$ 4 906 902 236,5 COP anuales, sin embargo se puede evidenciar, que bajo un escenario pesimista, el costo total aumenta considerablemente y para el optimista disminuye en alrededor de \$ 900 000 000.

#### RESULTADOS MODELO PROYECTO DE GRADO

\*\*\*\*\*

```

COSTO TOTAL=      4901995334.2**

Cescenarios [*] :=
    NEUTRO  4906902236.5
    OPTIMISTA 4047262219.4
    PESIMISTA 5766542253.3
  
```

Fig. 22. Costos totales del modelo por escenario.

### Análisis de variables

De acuerdo con el problema planteado, la red entrega resultados sobre los flujos de contenedores necesarios a transportar desde cada ciudad productora hacia nodos intermedios, decidiendo si se utiliza la ruta férrea o transportar directamente por carretera desde las ciudades productoras hacia los puertos, y ya por último desde los puertos hacia clientes internacionales.

Como se puede observar en la Fig. 23. Se realizan envíos por carretera directos desde todas las ciudades productoras hacia el puerto de Buenaventura consolidando un total de carga de 611,5 contenedores, se tiene en cuenta que Medellín utiliza los nodos férreos, como se puede observar en Fig.24. la variable binaria de decisión indica uno, es decir, los tres corredores férreos fueron utilizados. En el caso de Medellín se utilizaron los nodos de *La Felisa*, y *La Tebaida* adicionando 90 contenedores, para un total de 701,4 contenedores enviados hacia el cliente internacional Países Bajos, supliéndole toda la demanda a este cliente. Por otro lado, Medellín también envía hacia el puerto de Santa Marta consolidando un total de 126,6 contenedores por modo carretero y haciendo uso del corredor férreo *La dorada*, con un total de 45 de contenedores, para un total de 171,6 contenedores, supliendo una parte de la demanda del cliente internacional España, dejando un total de 37 contenedores como demanda insatisfecha, es decir, contabilizados, como faltantes.

M [*,*]:=		
<b>Carretero</b>		
Armenia	Buenaventura	0,6
Cali	Buenaventura	64,2
Manizales	Buenaventura	15
Medellin	Buenaventura	184,4
Pereira	Buenaventura	347,3
Medellin	SantaMarta	126,6
<b>Ferreo</b>		
Medellin	Dorada	45
Dorada	SantaMarta	45
Medellin	Felisa	45
Felisa	Buenaventura	45
Medellin	Tebaida	45
Tebaida	Buenaventura	45
<b>Cientes internacionales</b>		
Buenaventura	Países bajos	701,5
SantaMarta	Espana	171,6

Fig. 23. Flujos de la variable M.

Y [*] :=	
Dorada	1.0
Felisa	1.0
Tebaida	1.0
;	

Fig. 24. Variable binaria para uso de nodos férreos.

Como se muestra en la Fig.25. Los resultados obtenidos para la variable Z, indican el número de vehículos rentados en los nodos de salida de contenedores, como variable entera, la ciudad de Medellín y la ciudad de Pereira son las ciudades con más tractomulas utilizadas debido al nivel de su producción, teniendo en cuenta que por vehículo la capacidad es de un contenedor.

Z:=		
Armenia	NEUTRO	1
Cali	NEUTRO	65
Manizales	NEUTRO	15
Medellin	NEUTRO	446
Pereira	NEUTRO	348
SantaMarta	NEUTRO	172

Fig. 25. Número de vehículos usados que contabiliza la variable entera Z.

La variable F, como se observa en la Fig.26. indica la demanda insatisfecha de contenedores, debido a que se solo se suple la demanda de Países Bajos y una parte de la demanda de España, se puede evidenciar que la demanda de Estados Unidos tiene toda la demanda por satisfacer, teniendo en cuenta que se registran altos costos de transporte hacia este cliente y el modelo se permite unidades faltantes por la restricción de producción.

F :=		
Espana	NEUTRO	37.0
Usa	NEUTRO	38.2

Fig. 26. Variable que contabiliza la demanda insatisfecha.



## B. Validación del diseño propuesto

En primer lugar, el diseño del modelo propuesto fue ejecutado a partir de los requisitos que expresaron los involucrados al inicio del proyecto para que directa o indirectamente las restricciones del modelo se enfoquen en cumplir los intereses individuales para que cada eslabón de la cadena se beneficie. En común acuerdo, todos los involucrados comparten la puntualidad en los envíos y la rentabilidad en las operaciones logísticas. No obstante, por revisión de literatura se identificó que son dos metas totalmente independientes, aunque eso no exime que al mejorar una la otra pueda tener buenos resultados. En todo caso, se relaciona las restricciones con los requisitos de los involucrados claves.

Uno de los requisitos de la comercializadora es la rentabilidad en el comercio del Aguacate Hass, para esta, la función objetivo se enfoca totalmente en que se minimicen los costos logísticos en el envío de la carga. Lo interesante del modelo es que la restricción (4) y (5) al incluir la variable binaria en que, si se puede o no usar un nodo férreo, está potencializando el uso de modo intermodal para el cual según la política nacional logística se obtienen menores costos. Para el caso del cliente extranjero, su requisito fundamental es la calidad del Aguacate, este requisito se tuvo en cuenta dado que los datos extraídos de los simuladores logísticos fueron con la configuración de contenedores 40' refrigerados que conserve el Aguacate debido a que es un producto perecedero y por lo tanto la maduración es fundamental en la percepción de los clientes. Además, los agricultores habían expresado un deseo en el aumento de la carga enviada a exportación, aunque este requisito tiene conflicto con la normativa y documentación requerida para exportar. Se realizará un análisis de sensibilidad en que la restricción (1) no limite la carga enviada a la capacidad de producción, sino que la carga incremente para determinar realmente cual es el aumento que deben tener las ciudades productoras para suplir ese requerimiento de los agricultores que inicialmente reconocen la necesidad de inversión en tecnología y capacitaciones para que el aumento de la capacidad sea notable.

En el análisis del cumplimiento de los indicadores se identifica que, para el KPi de costos logísticos, el costo de la red actual fue de \$ 4 960 269 682,7. Para la obtención de este indicador, se procedió a utilizar la restricción de validación de nodos férreos (8) igualándola a cero, lo cual indica en el modelo que no se harán uso de los nodos de cambio intermodal limitando así enviar toda la carga por vía carretera.

$$(8) \sum_i^N Y_i = 0$$

La comparación de los resultados obtenidos se refleja en la TABLA XVII en la que se identifica una reducción del 1,1% en los costos logísticos lo cual implica un ahorro de \$ 53 367 446,2 pesos para 12 meses de funcionamiento de la cadena en la que se buscó minimizar el costo logístico.

TABLA XVII.  
COMPARACIÓN DE RESULTADOS

	Año corrido	Mensual
<b>Costo actual</b>	\$ 4.960.269.682,70	\$ 413.355.806,89
<b>Costo intermodal</b>	\$ 4.906.902.236,50	\$ 408.908.519,71
<b>Reducción</b>	\$ 53.367.446,20	\$ 4.447.287,18
<b>% Reducción</b>	-1,076%	-1,076%

Además, teniendo en cuenta el KPI de la proporción de carga enviada por modo intermodal se realizó la comparación para el caso de la ruta crítica Medellín – Santa Marta ver TABLA XVIII. En este caso, la red actual envía la carga de Aguacate Hass por modo carretero, es decir, existe una dependencia modal. En contra parte, se identifica que al correr el modelo propuesto la ruta férrea tiene una participación del 26,2% en la carga enviada lo cual indica que se estarían realizando operaciones intermodales. La limitante de este proyecto es que se envía la misma cantidad de contenedores desde Medellín hasta Santa Marta y de Medellín a Buenaventura debido a la capacidad que tienen las ciudades productoras. No obstante, el modelo propuesto envía la misma cantidad de contenedores evadiendo la dependencia modal de manera que se integra el modo de transporte férreo a un menor costo. Para el caso de la ruta Medellín – Buenaventura la participación de la ruta férrea es de 32,8% en la carga enviada en contraste a la nula participación en la red actual.

TABLA XVIII.  
ENVÍO INTERMODAL RUTA CRÍTICA

Ruta Medellín - Santa Marta			Proporción de envío	
Modo	Actual	Intermodal	Actual	Intermodal
Carretero	171,6	126,6	1,000	0,738
Férreo	0	45	0,000	0,262
<b>Total</b>	<b>171,6</b>	<b>171,6</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Ruta Medellín - Buenaventura			Proporción de envío	
Modo	Actual	Intermodal	Actual	Intermodal
Carretero	274,4	184,4	1,000	0,672
Férreo	0	90	0,000	0,328
<b>Total</b>	<b>274,4</b>	<b>274,4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Por otro lado, para el Kpi de tiempo, se calcula a partir de la ruta que tiene mayor tiempo por modo carretero (ruta crítica), contando sus actividades de carga y descarga, una vez implementado el modelo se procede a comparar el tiempo crítico del modo carretero contra el modo intermodal, con el fin de analizar si se logra una reducción considerable en el tiempo de carga. La comparación de los tiempos obtenidos se refleja en la TABLA XIX, en la que se identifica una reducción de 18.18% en el tiempo de la ruta crítica Medellín – Santa Marta, lo cual implica un ahorro de 6 horas aproximadamente.

TABLA XIX.  
COMPARACIÓN DE TIEMPOS

Ruta crítica	
	Medellín-Santa marta
<b>Tiempo actual</b>	34.77
<b>Tiempo intermodal</b>	28.45
<b>Reducción</b>	6.32
<b>% Reducción</b>	18.18%

## VI. VERIFICAR

### A. Medición de los impactos

Con el fin de verificar el diseño propuesto de mejora, se procede a realizar el análisis de sensibilidad, mediante la variación de escenarios, como se observa en la Fig.27. Se obtuvieron flujos entre todos los nodos para cada escenario, sin embargo, se puede evidenciar que el comportamiento de estos flujos es el mismo para cada escenario, esto es debido a que, aunque los costos por faltantes están siendo tomados en cuenta, estos siguen siendo bastante elevados de acuerdo con cada cliente internacional, por lo que el modelo decide que lo mejor es no dejar demanda insatisfecha, puesto que también tiene en cuenta los fletes de transporte hasta cada cliente, lo que hace que la demanda de USA quede totalmente insatisfecha debido sus altos costos de transporte. Por otro lado, en el caso donde se presentarán costos de faltantes más reducidos en cualquiera de los escenarios, la variación tanto en los flujos como el costo total de la modelo sería bastante significativa, ya que, el modelo al buscar la minimización de costos optaría por la opción de dejar demanda insatisfecha puesto que es el camino que mas reduce costos.

M [*,*,NEUTRO]						[*,* ,OPTIMISTA]					
:	Buenaventura	Dorada	Espana	Felisa	Paisesbajos :=	:	Buenaventura	Dorada	Espana	Felisa	Paisesbajos :=
Armenia	0.6	0.0	.	0.0	.	Armenia	0.6	0.0	.	0.0	.
Buenaventura	.	.	0.0	.	701.4	Buenaventura	.	.	0.0	.	701.4
Cali	64.2	0.0	.	0.0	.	Cali	64.2	0.0	.	0.0	.
Felisa	45.0	.	.	.	.	Felisa	45.0	.	.	.	.
Manizales	15.0	0.0	.	0.0	.	Manizales	15.0	0.0	.	0.0	.
Medellin	184.4	45.0	.	45.0	.	Medellin	184.4	45.0	.	45.0	.
Pereira	347.3	0.0	.	0.0	.	Pereira	347.3	0.0	.	0.0	.
SantaMarta	.	.	171.6	.	0.0	SantaMarta	.	.	171.6	.	0.0
Tebaida	45.0	.	.	.	.	Tebaida	45.0	.	.	.	.
: SantaMarta Tebaida :=						: SantaMarta Tebaida :=					
Dorada	45.0	.	.	.	.	Dorada	45.0	.	.	.	.
Medellin	126.6	45.0;	.	.	.	Medellin	126.6	45.0	.	.	.

[*,* ,PESIMISTA]					
:	Buenaventura	Dorada	Espana	Felisa	Paisesbajos :=
Armenia	0.6	0.0	.	0.0	.
Buenaventura	.	.	0.0	.	701.4
Cali	64.2	0.0	.	0.0	.
Felisa	45.0	.	.	.	.
Manizales	15.0	0.0	.	0.0	.
Medellin	184.4	45.0	.	45.0	.
Pereira	347.3	0.0	.	0.0	.
SantaMarta	.	.	171.6	.	0.0
Tebaida	45.0	.	.	.	.
: SantaMarta Tebaida :=					
Dorada	45.0	.	.	.	.
Medellin	126.6	45.0	.	.	.

Fig. 27. Variable de flujos entre cada nodo por cada escenario.

Con respecto a la Fig. 28. Al igual que como se observaba en la variable de los flujos, la variable Z, que contabiliza el número de vehículos totales utilizados por ciudad, se puede evidenciar que, aunque los escenarios se variaron en un 25%, el número de vehículos utilizados es el mismo y no varía por escenario, debido a que son dependientes de la cantidad de Aguacate que se mueve entre nodos (variable M), por lo que no existe variación entre escenarios.

Z :=		
Armenia	NEUTRO	1.0
Armenia	OPTIMISTA	1.0
Armenia	PESIMISTA	1.0
Cali	NEUTRO	65.0
Cali	OPTIMISTA	65.0
Cali	PESIMISTA	65.0
Manizales	NEUTRO	15.0
Manizales	OPTIMISTA	15.0
Manizales	PESIMISTA	15.0
Medellin	NEUTRO	446.0
Medellin	OPTIMISTA	446.0
Medellin	PESIMISTA	446.0
Pereira	NEUTRO	348.0
Pereira	OPTIMISTA	348.0
Pereira	PESIMISTA	348.0
SantaMarta	NEUTRO	172.0
SantaMarta	OPTIMISTA	172.0
SantaMarta	PESIMISTA	172.0

Fig. 28. Variable que contabiliza número de vehículos utilizados por escenario.

Se puede observar en la Fig. 29. Que los tres corredores férreos son utilizados, esto muestra mediante la variable binaria Y, donde se obtiene el valor de 1 para los tres nodos intermodales (Dorada, Felisa, y Tebaida). Con respecto a la variable F se puede observar que en cada escenario se obtiene faltantes para España y Usa, Esto es debido a que el modelo prefiere dejar de ganar con USA y dejarle toda la demanda insatisfecha, que, aunque sus costos de faltantes son menores con respecto a los otros clientes, sus fletes sobrepasan en gran parte a los fletes de Paises Bajos y España, por lo que se evidencia, que el modelo prefiere satisfacer a Paises Bajos y España.

Y [*] :=		
Dorada		1.0
Felisa		1.0
Tebaida		1.0
;		
F :=		
Espana	NEUTRO	37.0
Espana	OPTIMISTA	37.0
Espana	PESIMISTA	37.0
Usa	NEUTRO	38.2
Usa	OPTIMISTA	38.2
Usa	PESIMISTA	38.2
;		

Fig. 29. Variable que contabiliza la demanda insatisfecha por escenario.

Siguiendo con el análisis de sensibilidad del modelo, se toma como referencia el parámetro de la capacidad de carga en vagones que posee el tren utilizado en el diseño de la red intermodal, para ello se cambia el tipo de tren y su capacidad respectivamente, para un total de seis trenes, de los cuales se evalúa su impacto económico, como también la reducción de coste que tiene este con respecto al modelo actual de modo carretero. Como se observa la TABLA XX, los trenes establecidos van desde una capacidad máxima de 42 vagones hasta una capacidad de 150 vagones.

El tren de 42 vagones es el tren referente usado en la mayoría de las redes férreas europeas, por otra parte, el tren de 45 vagones es el tren referente que fue usado para correr el modelo de programación intermodal, y bajo ese parámetro de capacidad se obtuvieron y analizaron los resultados que ya fueron expuestos, este tren se añade a la lista para hacer una comparación directa con respecto a las demás variaciones de capacidad.

Debido a que era necesario extender la variación, se decidió tomar como referencia de capacidades que utilizan los trenes de carga que actualmente operan en otros países, en ese sentido, se extrajo información del ministerio de transporte de Argentina, debido a que tienen líneas del ferrocarril más definidas, y se encuentran en condiciones similares a Colombia en cuanto a materia de transporte [31], encontrando que la productividad es en base a trenes largos con capacidad de 100 vagones. Por lo que este dato, fue tomado en cuenta para el análisis de sensibilidad. Con respecto a los trenes que presentan capacidades de 124 y 130 vagones, esta información fue extraída de la compañía Drummond Colombia, que maneja una flota de transporte de doce trenes y la línea férrea que utilizan esta concesionada a FENOCO [32].

Y, por último, el tren de carga con capacidad de 150 vagones fue un dato extraído del Estado actual de infraestructura férrea para transporte de carga en Colombia. En los tramos de vía férrea de la nación se movilizan diferentes trenes, que tienen características según la materia prima que transportan como Prodeco. (cantidad de vagones: 150, toneladas de carga/vagón: 61) y CNR. (cantidad de vagones: 150, toneladas de carga/vagón: 61). [Anexo 11].

TABLA XX.  
VARIACIÓN DE CAPACIDAD DE TRENES (VAGONES)

Variación de capacidad de trenes (vagones)			
Vagones	Costo total férreo		
	NEUTRO	OPTIMISTA	PESIMISTA
Tren de 42	\$ 4 910 460 066	\$ 4 050 820 049	\$ 5 770 100 083
Tren de 45	\$ 4 906 902 237	\$ 4 047 262 219	\$ 5 766 542 253
Tren de 100	\$ 4 841 675 358	\$ 3 982 035 341	\$ 5 701 315 375
Tren de 124	\$ 4 813 212 720	\$ 3 953 572 703	\$ 5 672 852 737
Tren de 130	\$ 4 806 097 060	\$ 3 946 457 043	\$ 5 665 737 077
Tren de 150	\$ 4 788 577 714	\$ 3 928 937 697	\$ 5 648 217 731

Se puede observar que a medida que las capacidades del tren aumentan, el costo total de la red disminuye considerablemente (ver Fig. 30), cabe resaltar que este parámetro es sensible a cambios, con una diferencia de solo tres vagones, se aumenta alrededor de \$ 3 557 829,80

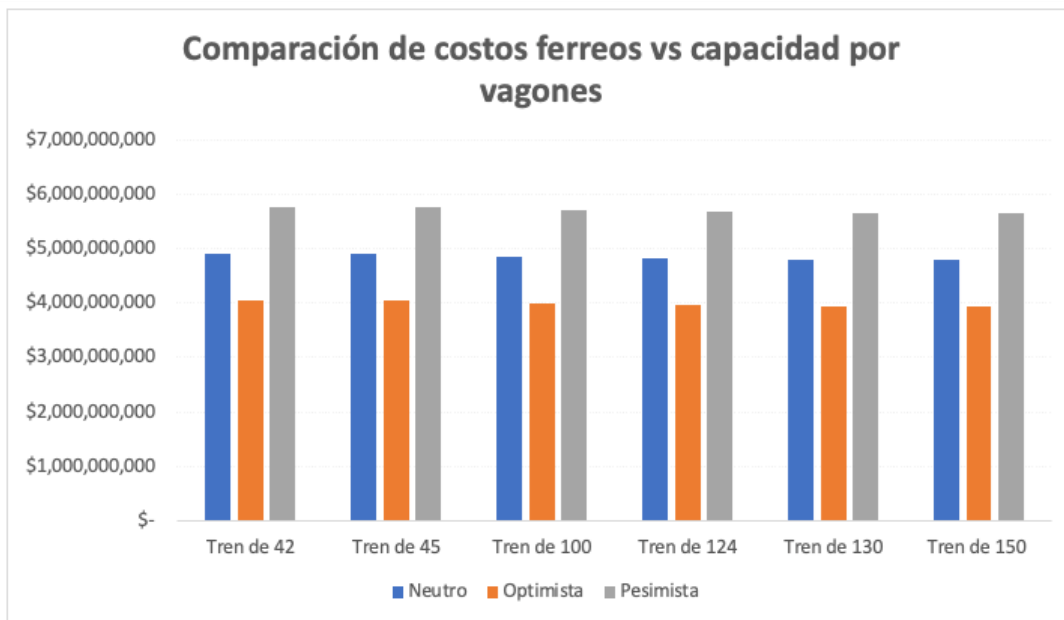


Fig. 30. Comparación de costos.

Como se puede observar en la Tabla XXI, al aumentar la capacidad de vagones de los trenes se puede evidenciar que disminuyen los costos logísticos, generado cada vez un ahorro mayor con respecto al modelo intermodal propuesto, llegando a ahorros por encima del 2% para todos los escenarios posibles, con esto se logra validar la consistencia de una red intermodal para combatir la poca eficiencia de la exportación colombiana. Sin embargo, un aspecto importante a tener en cuenta es que con un tren de 42 vagones se aumentan los costos entre un 0.06% a un 0.09% para todos los escenarios con respecto a la red de transporte de referencia con un tren de 45 vagones.

TABLA XXI.  
COMPARACION DE AHORROS ENTRE TRENES CONTRA EL TREN DE REFERENCIA DE 45 VAGONES.

	Tren de 45		Tren de 45		Tren de 45	
	\$ 4 906 902 237		\$ 4 047 262 219		\$ 5 766 542 253	
	Neutro		Optimista		Pesimista	
Capacidad	Ahorro en %	Ahorro en \$	Ahorro en %	Ahorro en \$	Ahorro en %	Ahorro en \$
<b>Tren de 42</b>	0.07%	\$ -3 557 829,8	0.09%	\$ -3 557 829,7	0.06%	\$ -3 557 829,7
<b>Tren de 100</b>	-1.33%	\$ 65 226 878,7	-1.61%	\$ 65 226 878,7	-1.13%	\$ 65 226 878,7
<b>Tren de 124</b>	-1.91%	\$ 93 689 516,6	-2.31%	\$ 93 689 516,7	-1.62%	\$ 93 689 516,7
<b>Tren de 130</b>	-2.05%	\$ 100 805 176	-2.49%	\$ 100 805 176,2	-1.75%	\$ 100 805 176
<b>Tren de 150</b>	-2.41%	\$ 118 324 523	-2.92%	\$ 118 324 522,8	-2.05%	\$ 118 324 523

Con respecto a la Fig. 31 y Fig. 32. Se puede observar que tanto el ahorro en % como el ahorro en \$, hay aumento en las cifras dependiendo del aumento de la capacidad en los vagones de los trenes, sin embargo, se puede observar que el ahorro obtenido a partir de un tren con capacidad de 125 vagones, hasta 150 vagones no tiene una variación significativa para los tres escenarios. Por otro lado, si existe un ahorro significativo al pasar de un tren con capacidad de 45 a un tren con capacidad de 100 vagones, con una diferencia de 55 vagones se obtiene un aumento de ahorro de alrededor del 1,13% a 1,61% lo que se traduce en \$ 65 226 878,7 aproximadamente para los tres escenarios.

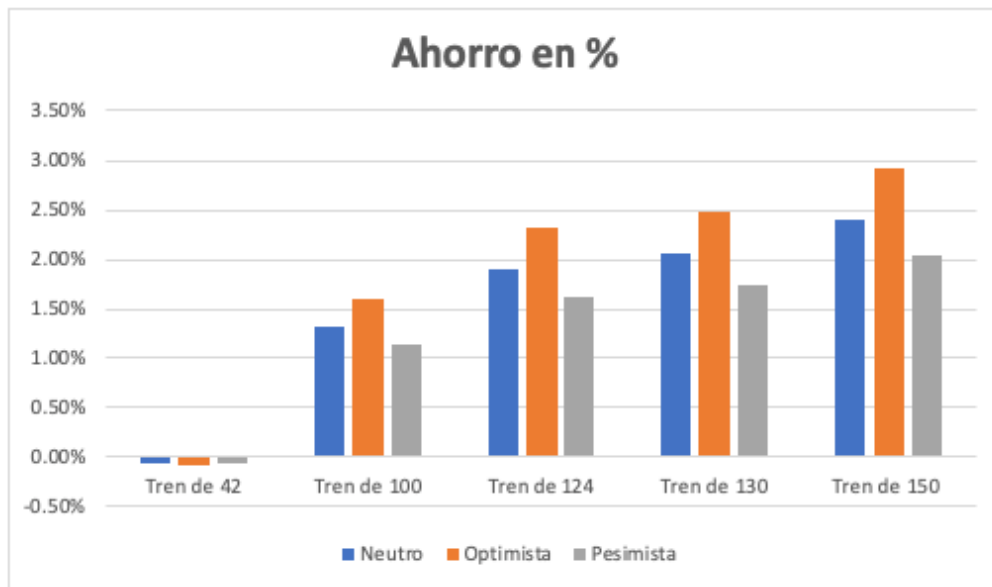


Fig. 31. Ahorro obtenido dependiendo de la capacidad de tren medido en porcentaje.

Con respecto a la Fig. 32. Cabe resaltar que, el ahorro se da sobre millones de pesos, anteriormente solo se había evidenciado el cambio en cifras de porcentaje y mediante este gráfico se puede observar, que el ahorro es bastante significativo, en cuanto a dinero, si se llegase a implementar solo aumentan la capacidad a 100 vagones, se obtiene un ahorro de \$ 65 226 878,7 millones de pesos, para el escenario neutro en condiciones normales, en donde no hay afectación al costo de los faltantes.



Fig. 32. Ahorro obtenido dependiendo de la capacidad de tren medido en COP.

Con respecto al **análisis ambiental**, inicialmente se calculan los parámetros para cuantificar la cantidad de CO<sub>2</sub> que se produce en el modo carretero y el modo férreo para analizar el impacto ambiental del modo de transporte actual y el intermodal para la ruta crítica con el objetivo de comparar si el impacto ambiental en el diseño propuesto es positivo o afecta al entorno. Para esto, se extrajo del website **European Environment Agency** los datos de emisiones específicas de CO<sub>2</sub> (g/ton-km) correspondientes al periodo 2000-2014 [33] para tomarlo como base y pronosticar hasta el año 2021 las emisiones generadas. El pronóstico fue ejecutado haciendo uso del Software RStudio en el cual se incluyó un código que transformaba los datos a series de tiempo, la función ARIMA que encontró el modelo con menor error medio y la función FORECAST que pronosticó con intervalos de confianza al 80 y 95%. Con el objetivo de ajustar los datos, se asumió una distribución uniforme entre los extremos de los intervalos, este comportamiento fue verificado con el estadístico StatFit de ProModel e incluyendo el tratamiento de datos simulatorios se logró determinar los parámetros de emisión de gCO<sub>2</sub> para los intervalos de confianza de 80 y 95% además del forecast inicial que había arrojado RStudio [Ver Anexo 15].

**TABLA XXII.**  
**RESULTADOS DE PRONÓSTICOS gCO<sub>2</sub>/Ton - Km**

Pronóstico / Modo	Carretero	Férreo
Normal	139,800	9,798
intervalo 80	139,960	9,834
intervalo 95	141,008	10,063

En la TABLA XXII se observan los parámetros que se pronosticaron para calcular la cantidad de CO<sub>2</sub> que se genera por modo de transporte, cabe resaltar que el análisis se realizó para 3 posibles parámetros por modo de transporte. El normal que es el forecast obtenido con el código R y los intervalos 80 y 95% de confianza que fueron ajustados con simulación de Montecarlo para datos. A partir de estos parámetros se cuantificó la cantidad de CO<sub>2</sub> que se genera en la cadena de abastecimiento tanto para la actualidad como para el modelo propuesto. Aunque esta cuantificación es general de la cadena, se limita a determinar la emisión de CO<sub>2</sub> por el transporte a nivel nacional; los resultados se muestran a continuación en la TABLA XXIII. Cabe resaltar que cada contenedor equivale a 29 toneladas lo cual es también el equivalente a un vagón del tren.

**TABLA XXIII.**  
**RESULTADOS DE EMISIONES ESTADO ACTUAL Y PROPUESTO [gCO<sub>2</sub>]**

Modelo	Normal	Intervalo 80%	Intervalo 95%
Carretero	1 507 764 967	1 509 495 191	1 520 791 206
Intermodal	1 328 328 030	1 329 907 697	1 340 210 364
Variación Intermodal - Carretero	-11.901%	-11.897%	-11.874%

De la anterior se evidencia que el modo carretero genera 11,901% veces más gCO<sub>2</sub> que utilizando el modo intermodal dentro de toda la cadena de abastecimiento hasta los puertos para el pronóstico obtenido, sin embargo, es importante analizar la sensibilidad de los resultados, por lo que, se examinan los intervalos tanto de 80% y 95%, para estos dos escenarios la variación es mínima presentado una disminución del 11.897% para el intervalo de 80% y de 11.874% para el intervalo de 95%, es decir las emisiones de gCO<sub>2</sub> tienen a tener una disminución entre 0.0004% y 0.00027% con respecto al pronóstico del escenario normal. De ese mismo modo, los análisis en las demás rutas de la cadena de abastecimiento del Aguacate Hass presentan una disminución en el impacto ambiental al compararlo con el diseño propuesto. Cabe destacar que según el website The World Counts, hasta la fecha se han emitido alrededor de 25 795 898 456 ton de CO<sub>2</sub> [34], el modelo actual carretero representa un 0.2016% de las emisiones totales en toneladas a nivel mundial, sin embargo, el modelo intermodal representaría un 0.1776% lo cual refleja un aporte al disminuir el impacto de la huella de carbono al medio ambiente. Desde este punto de vista, el proyecto es trascendental para contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) desde las soluciones de la ingeniería industrial.

Con respecto al impacto social, se identifica que el proyecto promueve la generación de empleo ya que a medida que pasa el tiempo, el sector agrícola es mayor en nuestro país, en este caso el aumento del volumen de Aguacate Hass producido repercute de manera positiva en varias actividades tanto agrícolas como económicas, un claro ejemplo es la producción y comercialización de agroquímicos, insumos agrícolas como insecticidas y fertilizantes, así como también crece el mercado de exportación del producto generando una mayor entrada de divisas, beneficiando socialmente a Colombia al generar empleos directos e indirectos, y como resultado de este, se favorecen entonces muchas familias que viven en pobreza extrema, viéndose reflejado en la disminución de la tasa de mortalidad por desnutrición, seguridad alimentaria, merma en la violencia generada a raíz de las pocas oportunidades, así como también se espera una disminución del trabajo infantil y abandono escolar, La generación de empleo a raíz del desarrollo agricultor, le va a permitir a estas familias darle un mejor nivel de estudio a sus hijos y a las generaciones siguientes, situación que a futuro desemboca en el cese o la disminución del ciclo de pobreza.

**TABLA XXIV.**  
**NÚMERO DE EMPLEOS POR AÑO RELACIONADOS CON EL AGUACATE HASS [35].**

TIPO DE EMPLEO	2014	2016	2017	2018	2019	2020	2021
DIRECTO	12 034	12 850	13 107	13 631	13 196	13 311,33	13 379,44
INDIRECTO	36 102	38 550	39 321	40 894	39 588,33	39 934,44	40 138,93
<b>TOTAL, EMPLEO AGUACATE</b>	50 150	53 416	54 445	54 525	54 803,33	55 265,78	55 539,37

En la TABLA XXIV se puede apreciar que del año 2014 al año 2018 hubo un constante crecimiento año tras año relacionado con el incremento de producción y exportación del aguacate Hass. En ese sentido, el ministro de Agricultura y Desarrollo Rural, Juan Guillermo Zuluaga Cardona, indicó que para 2018 se estima que la cadena genere cerca de 54.500 mil empleos, manteniendo la tendencia de crecimiento de los últimos cuatro años [36]. Teniendo en cuenta dicha tendencia de crecimiento, se procedió a estimar para el año 2021 mediante medias móviles, el aumento del número de empleos generados a causa de la exportación y producción de Aguacate Hass, obteniendo que se estarían generando un aumento de alrededor 1 014,37 empleos.

Existe una relación estimada de tres trabajos indirectos por cada empleo directo, lo que hace que este sector económico sea de suma importancia para el país. Además, al promover el cultivo y comercialización del aguacate Hass en las zonas más afectadas por el conflicto; se aportará al desarrollo y a la mejora de la calidad de vida de todos los habitantes de la región y por lo tanto se espera que exista una disminución de cultivos ilícitos. Lo anterior se sustenta en que los cultivos de aguacates ocuparan la tierra fértil que se usa para cultivos ilícitos, con esto, los cultivadores influyen en el incremento del mercado local en los productos perecederos y contribuyen al incremento de la capacidad productiva del país.

#### *B. Estandarización de la solución – POE'S (plan de control)*

Con el objetivo de estandarizar el proceso para la ejecución del modelo, se establecen una serie de pasos a seguir mediante el establecimiento de un manual para el usuario como guía para dar correcta implementación al modelo de programación desarrollado. [ver Anexo 16].

#### *C. Conclusiones*

Acorde al plan de trabajo propuesto se evidencia que la red intermodal diseñada disminuye los costos logísticos en 1,076% lo que implica el cumplimiento de la meta trazada equivalente a 0,2%, lo que se traduce en \$ 53 367 446,20. Con el análisis de las capacidades de los trenes mediante los diferentes escenarios, se identifica a medida que estas aumentan, el costo total de la red disminuye considerablemente, cabe resaltar que, con una disminución de solo tres vagones, se aumenta alrededor de \$ 3 557 829,80. Con respecto a la oportunidad que existe en el mercado, se evidencia que se soluciona parcialmente la dependencia del modo carretero en la cadena de abastecimiento de Aguacate Hass ya que con el diseño propuesto la participación de otro modo de transporte incrementa al 26,2% en la carga enviada, lo cual significa aumentar la competitividad de la cadena de suministro de acuerdo con las proyecciones de la política nacional logística.

Adicionalmente, se evidencia que el uso de los escenarios en el modelo representa que existen variaciones significativas en los parámetros, por lo que los resultados se ven afectados en gran medida, estos análisis de sensibilidad en los datos, son muy valiosos en el momento de la toma de decisión.

En la contribución ambiental, se identifica que la propuesta intermodal genera 11,901% veces menos gCO<sub>2</sub> que utilizando el modo carretero dentro de toda la cadena de abastecimiento. Teniendo en cuenta el análisis de sensibilidad en los intervalos de confianza de 80% y 95%, se determina que para estos dos escenarios la variación es similar al escenario neutro ya que presenta una disminución del 11.897% para el intervalo de 80% y de 11.874% para el intervalo de 95%, es decir las emisiones de gCO<sub>2</sub> tienen a tener una disminución entre 0.0004% y 0.00027%. Así mismo, la implementación del proyecto aporta a un cambio social positivo en los actores directos e indirectos de la cadena, ya que, al mejorar la cadena de abastecimiento, se podrá aumentar la participación en el mercado internacional, y por lo tanto crecerá la producción en el país debido al incremento de la demanda, dejando como resultado una mayor participación laboral en la producción del aguacate Hass y comercial en la venta de insumos necesarios para una óptima cosecha del producto. Con respecto a lo anterior, se identificó que existe una relación estimada de tres trabajos indirectos por cada empleo directo y generando alrededor de 54 000 empleos por año, lo que conlleva a que el crecimiento de la cadena de abastecimiento también impacta a personas que trabajan independientes o al diario vivir.

Teniendo en cuenta que el proyecto se hace con apoyo de la política nacional logística vigente, cabe resaltar, que bajo los resultados obtenidos de la modelación matemática, en Colombia sí es posible hacer realidad el uso de vías férreas para el transporte no solo de carbón sino de cualquier otro tipo de mercancía, ya sea productos perecederos o no perecederos, o de cualquier otra índole, en ese sentido, aunque las metas sean ambiciosas, la inversión para emplear el servicio férreo en todo el país es viable y compensatorio, debido a que se evidenció que la intermodalidad es una de las mejores alternativas en cuestión económica, social, ambiental y tecnológica que potencializa la competitividad de la cadena.

#### *D. Recomendaciones*

Se propone para posibles mejoras u otros proyectos de diseño recopilar los datos de fuentes primarias y evaluar el comportamiento de los datos con métodos analíticos como prueba de hipótesis y verificación de tendencia en los datos. Además,



se recomienda incluir otros clientes extranjeros y calcular su demanda potencial con técnicas robustas de pronósticos para modelar la red de transporte de aguacate Hass de manera más precisa. Por definición del alcance del proyecto, no se tuvo en cuenta cada una de las fincas productoras de aguacate Hass, sino que se trataron las ciudades principales como centros de acopio por lo que otro enfoque al proyecto puede ser la integración de todas las micro rutas de las pequeñas fincas productoras para que el modelo sea más robusto. La importancia de continuar con los estudios de diseño en la cadena de abastecimiento del Aguacate Hass se fundamenta en la preferencia que tiene el mercado extranjero por dicho fruto tropical y que la forma de distribución que se usa genera impactos sociales, ambientales y económicos positivos que hacen del país un productor competitivo en el mercado global.

## VII.

## GLOSARIO

**Árbol Persea americana:** El aguacate Hass o (Persea americana Miller) es un árbol nativo de América se conoce hace más de 10.000 años y se cultiva comercialmente, su fruta tropical tiene creciente aceptación en la sociedad, debido a su contenido nutricional, aplicaciones en aceites e industria cosmética. [37]

**Intermodalidad:** Optimización de rutas de transporte, que une los diferentes modos de transporte aprovechando las ventajas competitivas de cada uno, en un recorrido mínimo [38].

**PIB:** Representa el resultado final de la actividad productiva de las unidades de producción residentes. Se mide desde el punto de vista del valor agregado, de la demanda o las utilidades finales de los bienes y servicios y de los ingresos primarios distribuidos por las unidades de producción residentes [39].

**Obligaciones tributarias:** Es una obligación de derecho público que constituye el contenido básico de la relación jurídico-tributaria. Nace de la realización del hecho imponible y su objeto principal es el pago de la deuda tributaria, no siendo sus elementos subjetivos y objetivos susceptibles de ser alterados por actos o convenios de los particulares que no producirán efectos frente a la administración, sin perjuicio de sus consecuencias jurídico-privadas [40].

**Hortofrutícolas:** Se consideran productos hortofrutícolas a los alimentos básicos en la dieta humana, se caracterizan por ser perecederos, por lo tanto, tienen una disponibilidad de periodos cortos de tiempo, además de esto se presenta en muchos casos que su periodo vegetativo es menor de 12 meses por lo tanto requieren de nueva siembra para su cosecha (cultivo estacionario) [41].

## VIII.

## REFERENCIAS

[1] DANE, “Boletín encuesta nacional agropecuaria 2020”. [Online]. Disponible: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuaria/enda/ena/2019/boletin\\_ena\\_2019-I.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuaria/enda/ena/2019/boletin_ena_2019-I.pdf).

[2] MADR, "Cadena productiva del aguacate", Sioc.minagricultura.gov.co, 2020. [Online]. Disponible: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Documentos/2020-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>.

[3] J. Vega, "El aguacate en Colombia: estudio del caso de los montes de María, en el caribe colombiano.", Banrep.gov.co, 2020. [Online]. Available : [https://www.banrep.gov.co/siwtes/default/files/publicaciones/archivos/dtser\\_171.pdf](https://www.banrep.gov.co/siwtes/default/files/publicaciones/archivos/dtser_171.pdf).

[4] R. Universidad de Carabobo Venezuela Santamaría Peraza, “La cadena de suministro en el perfil del ingeniero industrial: una aproximación al estado del arte”, actualidad y nuevas tendencias, vol. 3, nº 8, pp. 39-50, 2012. [Online]. Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/2150/215025114004.pdf>

[5] Ruiz, A. F., Caicedo, A. L. y Orjuela, J. A, “Integración en externa en las cadenas de suministro agroindustriales: Una revisión al estado del arte”, En ingeniería, Vol. 20, No. 2, pp. 9–30 c, 2015. [Online] Disponible: <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.reving.2015.1.a01>

[6] L. Sanabria, A. M. Peralta, J. A. Orjuela, “Modelos de Localización” para Cadenas Agroalimentarias Perecederas: una Revisión al Estado del Arte”, INGENIERIA, vol. 22, no. 1, pp. 23-45, 2017. [online]. Disponible: <http://www.scielo.org.co/pdf/inge/v22n1/0121-750X-inge-22-01-00023.pdf>

[7] Política Nacional Logística, Bogotá, D.C., 13 de enero de 2020. Documento CONPES. [Online] Disponible: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%3%B3micos/3982.pdf>

[8] Departamento Nacional de Planeación, Encuesta Nacional Logística, 2018. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/PresentacionEncuestaNacionalLogistica2018.pdf>.

[9] P. Álvaro González Jiménez, “Gestión de interesados en los proyectos: relación con la alta dirección.”,2017 [online] Disponible: <http://avanzaria.com/wp-content/uploads/2017/07/AERCE-Gesti%C3%B3n-de-interesados.pdf>

[10] Congreso nacional para productores de Aguacate Hass, revista corporativa. Medellín (2020).

- [11] Procolombia, "Infraestructura logística y transporte de carga en Colombia", 2016 Available: [https://ruta-exportadora.procolombia.co/sites/default/files/presentacion\\_logistica\\_de\\_colombia\\_2016.pdf](https://ruta-exportadora.procolombia.co/sites/default/files/presentacion_logistica_de_colombia_2016.pdf)
- [12] Departamento nacional de planeación, encuesta nacional logística, 2018. [En línea] Disponible: <http://www.andi.com.co/Uploads/Encuesta%20Nacional%20Log%C3%ADstica%202018.pdf>
- [13] "empresa", Plc.mintransporte.gov.co, 2020. [Online]. Available: <https://plc.mintransporte.gov.co/Runtime/empresa/ctl/SiceTAC/mid/417>
- [14] COLOMBIA - Estadísticas De Exportaciones - EXPO - 2011 A 2020. [online] Available at: [http://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/472/get\\_microdata](http://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/472/get_microdata).
- [15] "La primera operación multimodal de exportación en Colombia es con Aguacate Hass - Zona logística", Zona logística, 2020. [Online]. Available : <https://zonalogistica.com/la-primera-operacion-multimodal-de-exportacion-en-colombia-es-con-aguacate-hass/>. [Accessed: 30- Oct- 2020].
- [16] "Online Freight & Cargo Shipping Marketplace – Searates.com", SeaRates, 2021. [Online]. Available: [https://www.searates.com/es/freight/?from=ChIJUROdruc19o4RyiY\\_Ay45YbE&fromPortId=20994&codeFrom=CO&typeFrom=locality&to=ChIJLxl\\_1w9OZZQRRFJmfNR1QvU&toPortId=10319&codeTo=JP&typeTo=country&date=01%2C+May%2C+2021&type=fcl&cont%5B40st%5D=1](https://www.searates.com/es/freight/?from=ChIJUROdruc19o4RyiY_Ay45YbE&fromPortId=20994&codeFrom=CO&typeFrom=locality&to=ChIJLxl_1w9OZZQRRFJmfNR1QvU&toPortId=10319&codeTo=JP&typeTo=country&date=01%2C+May%2C+2021&type=fcl&cont%5B40st%5D=1). [Accessed: 02- May- 2021].
- [17] "World Freight Rates 2020", Worldfreightrates.com, 2021. [Online]. Available: <https://worldfreightrates.com/freight>. [Accessed: 20- May- 2021].
- [18] "Árbol de problemas | Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura", Unesco.org, 2021. [Online]. Available: <http://www.unesco.org/new/es/culture/themes/%20cultural-diversity/diversity-of-cultural%20expressions/tools/policy-guide/planificar/diagnosticar/arbore-de-problemas/>. [Accessed: 02- May- 2021].
- [19] Juan José Trujillo Arbeláez. (2016). Análisis de Costo Unitario de Productos de Exportación por Vía Férrea La Dorada-Santa Marta [Online]. Disponible: Análisis de Costo Unitario de Productos de Exportación por Vía Férrea La Dorada-Santa Marta ([uniandes.edu.co](http://uniandes.edu.co))
- [20] Repository.fedesarrollo.org.co, 2020. [Online]. Available: [https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/2462/PMTI\\_30\\_NOV\\_2015\\_INF\\_FINAL.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/2462/PMTI_30_NOV_2015_INF_FINAL.pdf?sequence=4&isAllowed=y). [Accessed: 25- Nov- 2020].
- [21] M. Zamora Fortes, "El transporte intermodal de mercancías: análisis crítico de la literatura.", Maestría, Universitat Politècnica de València. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales - Escola Tècnica Superior d'Enginyers Industrials, 2019. Available: <http://hdl.handle.net/10251/128811>.
- [22] Del libro: Fundamentos de Marketing, Sexta Edición, de Philip Kotler y Gary Armstrong, Pág. 63.
- [23] Sioc.minagricultura.gov.co, 2020. [Online]. Available: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Documentos/2018-07-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>. [Accessed: 25- Nov- 2020].
- [24] S. Limbourg, B. Jourquin, "Optimal rail-road container terminal locations on the European network", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol 45, No 4, Pages 551-563, 2009. Available: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2008.12.003>
- [25] J.C Pérez-Mesaa , J.A Salinas Andújarb, "Distribución óptima del transporte intermodal: aplicación a la exportación de percederos", Dialnet.unirioja.es, 2010. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3421951.pdf>
- [26] Adil Baykasoğlu, Kemal Subulan, "A multi-objective sustainable load planning model for intermodal transportation networks with a real-life application", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol 95, Pages 207-247, 2016. Available: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2016.09.011>.
- [27]. R. Ascanio, R. Rivera, J. González and W. Jaimes, "Logistic platform placement for harmonious development of the nation's intermodal network", Dialnet, 2020. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6769386>.

- [28] Vasco Reis, "Analysis of mode choice variables in short-distance intermodal freight transport using an agent-based model", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol 61, Pages 100-120, 2014, available: tales.
- [29] C. G. Morales Pérez, "Participación del ferrocarril en la cadena de frío. Perspectiva doméstica y global", *Imt.mx*, 2011. [Online]. Available: <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt363.pdf>
- [30] "El método SCAMPER o cómo generar nuevas ideas", Marta Falcón | *Diseño de servicios para empresas y profesionales*, 2020. [Online]. Available: <https://martafalcon.com/el-metodo-scamper-o-como-generar-nuevas-ideas-cuando-no-se-te-ocurre-nada/>.
- [31] *Magyp.gob.ar*, 2021. [Online]. Available: [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss\\_mercados\\_agropecuarios/jornadas\\_congresos/\\_archivos/000101\\_2017/000100\\_Infraestructura%20y%20Log%C3%ADstica/000103\\_Trenes%20Argentinos%20-%20Belgrano%20Cargas.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss_mercados_agropecuarios/jornadas_congresos/_archivos/000101_2017/000100_Infraestructura%20y%20Log%C3%ADstica/000103_Trenes%20Argentinos%20-%20Belgrano%20Cargas.pdf). [Accessed: 18- Jun- 2021].
- [32] "Ferrocarril - Drummond LTD", *Drummond LTD*, 2021. [Online]. Available: <https://www.drummondltd.com/nuestras-operaciones/ferrocarril/>. [Accessed: 18- Jun- 2021].
- [33] EIONET, "Eficiencia energética y emisiones específicas de CO2", Agencia Europea de Medio Ambiente, 2021. [Online]. Disponible: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/energy-efficiency-and-specific-co2-emissions/energy-efficiency-and-specific-co2-9>. [Consultado: 6 de agosto de 2021].
- [34] "The World Counts", *Theworldcounts.com*, 2021. [Online]. Available: <https://www.theworldcounts.com/challenges/climate-change/global-warming/global-co2-emissions/story>. [Accessed: 07- Aug- 2021].
- [35] MINAGRICULTURA, "Cadena de aguacate Indicadores e Instrumentos", 2018. [En línea]. Available: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Documentos/2018-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- [36] "La producción de aguacate genera más de 54 mil empleos en el país", *Minagricultura.gov.co*, 2021. [Online]. Available: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/La-produccion-de-aguacate-genera-mas-de-54-mil-empleos-en-el-pais>. [Accessed: 08- Aug- 2021].
- [37]. A. F. Ballesteros & A. Y. Caldón Evaluación de los principales instrumentos de caracterización empleados por parte de unas asociaciones de productores de aguacate (Persea americana) del municipio de El Tambo, a través del uso de técnicas estadísticas. [Online]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/25453>.
- [38] M. Zamora Fortes, "El transporte intermodal de mercancías: análisis crítico de la literatura.", Maestría, Universitat Politècnica de València. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales - Escola Tècnica Superior d'Enginyers Industrials, 2019. Available: <http://hdl.handle.net/10251/128811>.
- [39] Departamento Nacional de Planeación, "Encuesta Nacional Logística", 2018. Available: [https://www.dane.gov.co/files/faqs/faq\\_pib.pdf](https://www.dane.gov.co/files/faqs/faq_pib.pdf)
- [40] Diccionario de la lengua española, 23.ª ed., [en línea]. Disponible: <https://dpej.rae.es/lema/obligacion-tributaria>
- [41] Universidad de Córdoba "Materias primas", [En línea] Disponible: <http://www.uco.es/dptos/bromatologia/tecnologia/bib-virtual/bajada/memfruta.pdf>.

## IX.

## ANEXOS

A continuación, se presentan en la TABLA XXV los anexos que soportan los datos obtenidos, cálculos realizados y análisis ejecutados en el proyecto.

TABLA XXV.  
ANEXOS

No. Anexo	Nombre	Desarrollo (propio o terceros)	Tipo de Archivo (PDF, HTML, Excel, Word...)
1	2020212 - Anexo 1. Hoja de trabajo grupos de interés modificada	Propio	Word
2	2020212 - Anexo 2. Resumen entrevista del director del proyecto con ingeniera	Propio	Word

3	2020212 - Anexo 3. Formato plan de recolección de datos (PRD)	Propio	Excel
4	2020212 – Anexo 4. Pronóstico de demanda clientes extranjeros	propio	Excel
5	2020212 - Anexo 5. Tablas de costos y tiempos de transporte.	Propio	Excel
6	2020212 - Anexo 6. Datos filtrados de carga de aguacate Hass para exportar, año 2019.	Propio	Excel
7	2020212 - Anexo 7. Datos filtrados de carga de aguacate Hass para exportar, año 2020.	Propio	Excel
8	2020212 - Anexo 8. Respuesta de la ANI sobre fletes y costos de transbordo ruta férrea.	ANI	PDF
9	2020212 - Anexo 9. Matriz AHP para selección de alternativas.	Propio	Excel
10	2020212 - Anexo 10. Project charter.	Propio	Excel
11	2020212 - Anexo 11. Estado actual de infraestructura férrea para transporte de carga en Colombia.	Propio	Word
12	2020212 - Anexo 12. Código modelo	Propio	ZIP
13	2020212 - Anexo 13. Código Rstudio	Propio	R
14	2020212 – Anexo 14. Datos para código de pronóstico	Propio	Excel
15	2020212 – Anexo 15. Cálculo Emisiones CO2	Propio	RAR (R, Excel)
16	2020212 – Anexo 16. Manual de usuario	Propio	Word