

**ANÁLISIS DE LA CADENA DE SUMINISTRO DEL CARBÓN EN BOYACÁ BAJO
LA METODOLOGÍA DE DINÁMICA DE SISTEMAS**

Autores:

**KAREN GISSELA CHAPARRO PEREZ
TAWINZA MICHELY MOLINA RODRIGUEZ**

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
INGENIERÍA INDUSTRIAL
DUITAMA
2020**

**ANÁLISIS DE LA CADENA DE SUMINISTRO DEL CARBÓN EN BOYACÁ
BAJO LA METODOLOGÍA DE DINÁMICA DE SISTEMAS**

Autores:

**KAREN GISSELA CHAPARRO PEREZ
TAWINZA MICHELY MOLINA RODRIGUEZ**

Trabajo de grado

Asesor del trabajo:

Margarita Avellaneda Vargas

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
INGENIERÍA INDUSTRIAL
DUITAMA
2020**

Página de aceptación

Firma presidente de jurado

Firma de Jurado 1

Firma de jurado 2

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto en primer lugar a Dios por permitirme culminar con éxito esta etapa de mi vida, a mis padres, a mi hermano quienes me han apoyado incondicionalmente siendo mi motivo e inspiración para seguir luchando día a día por cada una de mis metas, a mi familia amigos y todas las personas que de una u otra manera hicieron parte de este proceso.

Karen Gissela Chaparro Pérez

Dedico primeramente este trabajo a Dios, así como también a mi madre que con su apoyo me impulso a cumplir mis metas, a mi pareja y a mi suegra que nunca me dejaron desfallecer, a mis amigas y en especial a una, gracias por estar ahí siempre, y por último y no menos importante a todas aquellas personas que con su conocimiento y paciencia hicieron posible el éxito de este, uno de los tantos proyectos de mi vida.

Tawinza Michely Molina Rodríguez

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por ser nuestro guía y acompañarnos en esta etapa de nuestras vidas, por darnos la fortaleza y apoyo en aquellos momentos de dificultad por darnos salud y sabiduría en todo nuestro proceso formativo y personal.

A nuestros padres y hermanos por ser nuestro motor e inspiración para seguir adelante luchando día a día por nuestras metas y propósitos.

A la Universidad Antonio Nariño en especial la facultad de ingeniería industrial a todo su cuerpo de docentes por guiarnos y brindarnos sus conocimientos a lo largo de este proceso formativo a nuestra tutora Margarita Avellaneda quien nos guio y nos apoyó, a Carmenza Osorio por su conocimiento y paciencia, a Felipe Amaya y a todas aquellas personas que fueron partícipes de este proceso.

A todos nuestros amigos, compañeros y futuros colegas que hicieron parte de esta aventura, por su voz de aliento y su apoyo.

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.2 FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN	18
1.2.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	18
1.3 JUSTIFICACIÓN	18
1.4 OBJETIVOS	21
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	21
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
1.5. ALCANCE Y LIMITACIONES DEL PROYECTO	21
2. MARCO REFERENCIAL	23
2.1. MARCO GEOGRÁFICO	23
2.2. ANTECEDENTES O ESTADO DEL ARTE	24
2.3. MARCO CONCEPTUAL	26
2.4. MARCO TEÓRICO	29
2.4.1. CADENA DE SUMINISTRO	29
2.4.2. DINÁMICA DE SISTEMAS	30
2.4.3. LA CADENA DE SUMINISTROS Y LA DINÁMICA DE SISTEMAS ...	31
2.4.3.1. Diagrama causal	31
2.4.3.2. Diagrama de Forrester	33
2.5. MARCO LEGAL	33

3. DISEÑO METODOLÓGICO	39
3.1 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	39
3.2. UNIVERSO O POBLACIÓN	41
3.3. FUENTES DE INFORMACIÓN	42
3.3.1. FUENTES DE INFORMACIÓN PRIMARIAS.....	42
3.3.2. FUENTES DE INFORMACIÓN SECUNDARIAS	42
3.4. FASES DEL DESARROLLO DEL PROYECTO	43
4. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	44
4.1. CARACTERIZACIÓN.....	44
4.1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO LOGÍSTICO DEL CARBÓN EN BOYACÁ	48
4.1.2.1. Extracción.....	49
4.1.2.2. Centros de acopio:	54
4.1.2.3. Cliente.....	60
4.1.3. GEORREFERENCIACIÓN	62
4.1.4. DEMANDA.....	71
4.1.5. OFERTA	72
4.2. DISEÑO DEL DIAGRAMA FORRESTER Y CAUSAL.....	72
4.2.1. DIAGRAMA FORRESTER	72
4.2.2. DIAGRAMA CAUSAL	84
4.3. DISEÑO Y ANÁLISIS DEL MODELO PROPUESTO.....	86
4.3.1. POLÍTICA 1	86
4.3.1.1. Escenario 1.....	90
4.3.2. POLÍTICA 2	92
4.3.2.1. Escenario 2.....	94
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
5.1. CONCLUSIONES.....	96
5.2. RECOMENDACIONES	97
BIBLIOGRAFÍA	98
ANEXOS.....	106

TABLA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Producción de Carbón	19
Figura 2. Producción de carbón en Boyacá	20
Figura 3. Ubicación de la zona de estudio	24
Figura 4. Calidad del Carbón	47
Figura 5. Poder Calorífico	48
Figura 6. La cadena del carbón	48
Figura 7. Nodos de la cadena de suministro del carbón en Boyacá	49
Figura 8. Proceso de extracción del mineral	51
Figura 9. Centro de acopio.....	54
Figura 10. Carbón triturado con grosor específico	56
Figura 11. Cargue del mineral.....	57
Figura 12. Proceso en el centro de acopio.....	58
Figura 13. Proceso de despacho	62
Figura 14. Aglomeración Zona Norte	65
Figura 15. Aglomeración Zona Centro	67
Figura 16. Aglomeración Zona Oriente	69
Figura 17. Clientes de Boyacá	70
Figura 18. Diagrama de Forrester	78
Figura 19. Utilidades carbón térmico escenario base	81
Figura 20. Utilidades carbón metalúrgico escenario base.....	82
Figura 21. Ingresos y costos carbón metalúrgico escenario base	83
Figura 22. Diagrama causal	84

Figura 23. Gráfica ingresos y costos carbón metalúrgico Política 1.....	90
Figura 24. Utilidades del carbón metalúrgico Política 1	91
Figura 25. Gráfica ingresos y costos del carbón metalúrgico Política 2.....	94
Figura 26. Utilidades carbón metalúrgico Política 2	95

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Legislación minera	34
Tabla 2. Legislación ambiental.....	35
Tabla 3. Legislación de transporte	37
Tabla 4: población finita por zonas.	40
Tabla 5. Reservas de carbón en Colombia por zonas	45
Tabla 6. Tipos de carbón que se extraen en Boyacá.....	46
Tabla 7. Maquinaria, equipos y herramientas de apoyo de extracción.	52
Tabla 8. Equipos de apoyo centro de acopio.....	58
Tabla 9. Aglomeración Zona Norte	63
Tabla 10. Aglomeración Zona Centro	65
Tabla 11. Aglomeración Zona Oriente.	67
Tabla 12. Variables exógenas para el modelo	76
Tabla 13. Variables endógenas para el modelo.....	77
Tabla 14. Comparación flota propia vs tercerizar desde mina a centro de acopio.	87

LISTA DE FORMULAS

	Pág.
Formula 1: población finita	39
Formula 2: Mineral en la mina.....	72
Formula 3: Espera del mineral en tolvas.....	73
Formula 4: Mineral cargado.	73
Formula 5: Centros de acopio grandes.	73
Formula 6: Centros de acopio medianos.	73
Formula 7: Entregas 1.....	74
Formula 8: Entregas 2.....	74
Formula 9: Entregas 3.....	74
Formula 10: Suma de las estrategias planteadas.	89

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Caracterización proceso de la extracción	106
Anexo 2. Centros de acopio.....	108
Anexo 3. Formatos inspecciones para vehículos.....	109
Anexo 4. Ficha técnica del carbón	112
Anexo 5. Hornos para coque	112
Anexo 6. Caracterización del proceso en el centro de acopio	113
Anexo 7. Caracterización del proceso de despacho del mineral.....	115
Anexo 8. Entrevista.....	117
Anexo 9. Tabla ecuaciones del modelo Powersim.....	123

RESUMEN

El proyecto se realizó con la finalidad de analizar la cadena de suministro del carbón en Boyacá, con ayuda de una herramienta ofimática de simulación de la dinámica de sistemas, el cual facilitó el entendimiento de la misma, donde se identifica con claridad cómo se encuentra el sector. El estudio se clasificó por tres zonas geográficas norte, centro y oriente de Boyacá, se analizaron los datos del carbón térmico y metalúrgico obtenidos por medio de una entrevista, en cuanto al tipo de carbón metalúrgico se halló una problemática económica, para lo cual se plantearon dos políticas que ayudan a minimizar el impacto económico existente.

Palabras clave: Cadena de Suministro, Dinámica de Sistemas, Carbón, Boyacá.

ABSTRACT

This project was done with the purpose of analyzing the Boyacá coal supply chain, with the support from an office automation tool that simulates the systems dynamics, which made easier to understand it, identifying clearly how this sector operates. this study was classified into three different geographic zones of Boyacá, North, Center and East, analyzing data from thermodynamic and metallurgical coal got from a convenience interview, as for the metallurgical coal we found an economical problematic, for what we raised two politics that may help minimizing the current economic impact.

Keywords: supply chain, systems dynamic, coal, Boyacá.

INTRODUCCIÓN

El carbón mineral es un recurso muy importante para el país pues aporta económicamente un gran porcentaje de regalías que ayuda a mantener la economía nacional y departamental, este es un mineral utilizado en varios sectores de la industria siendo muy apetecido ya que cuenta con unas propiedades y características que son atractivas para el cliente. La cadena de suministro de carbón tiene diferentes eslabones de producción, que van desde la extracción del mineral hasta que finalmente llega al cliente.

El objetivo de este proyecto se fundamentó en el análisis de la cadena de suministros del carbón en Boyacá bajo el pensamiento sistémico. El pensamiento sistémico se enfoca en comprender la realidad de los sistemas haciendo énfasis en las relaciones de una función más que en su componente individual, es decir estudia el todo para comprender las partes (UNAL, 2004).

Lo anterior se realizó con un enfoque mixto exploratorio descriptivo la información se recolecto por medio de entrevistas, bases de datos entre otros. La metodología del proyecto consta de tres fases, las cuales son la caracterización de la cadena de suministros del carbón en Boyacá, diseño de diagrama causal y Forrester y por último el análisis de un modelo para dar solución al problema.

El modelo y la simulación de la cadena de suministros del carbón en Boyacá se realizó por medio del software Powersim, donde se hallaron pérdidas económicas en el carbón tipo metalúrgico, a pesar de ser un mineral apetecido por otros países actualmente se encuentra en crisis económica, por este motivo se plantean dos estrategias para mejorar las utilidades del sector.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La cadena de suministros hace parte de los elementos más significativos dentro de cualquier compañía, ya que esta hace que se mantenga un control logístico, en ella se ven inmersos tiempos de producción, costos y gastos, calidad de productos, producción, mano de obra (personal), almacenamiento, entre otros, en tanto es la que hace que la empresa se mantenga en el mercado evitando que lleguen a la etapa de declive. (Camacho, Gómez y Monroy, 2012).

En la actualidad, existen factores clave e indispensables en la cadena de suministro, como la política de inventarios con análisis y sugerencias de mejora, formulación de planes de capacitación, documentación y diseño de programas, y procesos de apoyo a la gestión logística, definiendo y actualizando indicadores con información real. Esta información contiene información real sobre los vínculos entre la gestión logística y la evaluación de proveedores, lo que permite a la empresa tener éxito en el proceso logístico. (González y Ardila, 2014).

Según García y Escobar (2016) los problemas más comunes que se pueden llegar a presentar en la cadena de suministro a nivel operativo son: mala contratación, malas especificaciones de compra, error al seleccionar proveedores, malos intervalos y cantidad de compras, tipo de transporte erróneo, mala selección de transporte, error de unidades totales, mala selección de equipos, pésimo horario de producción, mala selección de rutas, mala apertura de plantas, no existe capacidad, error de localización de plantas, pésimo nivel de inventario, no existe cálculo de

capacidades, mala distribución de plantas y almacenes, metodologías de control, asignación y programación erróneas, error en el cálculo de la demanda.

Con respecto a la situación en Colombia, Rengifo (2018) señaló los siguientes puntos: poca flexibilidad en la estrategia de adquisiciones, política de precios volátil, aversión al riesgo, problemas de comunicación y coordinación, falta de planificación en el proceso de adquisiciones, capacidad insuficiente para operar, integración deficiente del sistema, daño a los productos, pésima velocidad de entrega.

Tal como lo menciona Correa Espinal y Gómez Montoya (2010). La cadena de suministro del carbón en Colombia está compuesta por los siguientes eslabones:

- Exploración - reservas y calidades.
- Desarrollo y montaje, preparación y explotación (producción).
- Clasificación y lavado del carbón.
- Transformación del carbón, en la producción de coque y otros procesos.
- Transporte desde la mina hasta el sitio de beneficio y los patios de acopio.
- Comercialización y distribución.

Generalmente, podemos encontrar posibles problemas a nivel de operación en estos seis eslabones. El desarrollo de la investigación permitirá analizar la cadena de suministro desde la mina, pasando por el centro de acopio, hasta la entrega del carbón Boyacense al cliente, por medio de una herramienta ofimática de simulación.

1.2 FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN

1.2.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo el análisis de la cadena de suministro del carbón bajo la metodología de la dinámica de sistemas conllevara a un mejor entendimiento de esta cadena y una mejor toma de decisiones?

1.3 JUSTIFICACIÓN

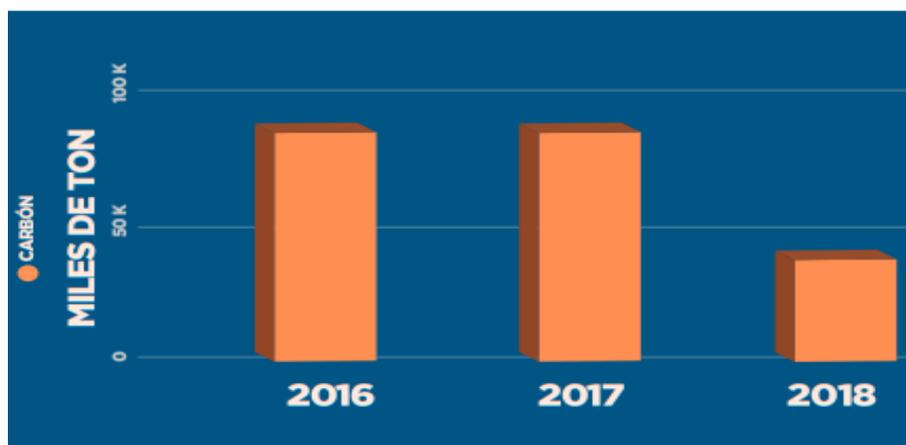
Según la UPME, (2016), la producción minera en los 20 años antes de 2010 mostró una tendencia de crecimiento continuo, alrededor de 73,5 millones de toneladas, lo que convierte a Colombia en el cuarto exportador de carbón y el noveno en la producción mundial; Haciéndolo que sea el primero en América Latina. Colombia tiene más de 5 millones de toneladas de reservas y recursos potenciales distribuidos en todo el país, resaltando que las zonas más reconocidas por su explotación carbonífera son la Guajira y el Cesar en cuanto a carbón tipo térmico y metalúrgico de tipo exportación. Los costos de producción, transporte y embarque de Colombia lo hacen muy competitivos frente a otros países como Estados Unidos, Venezuela, Australia y Sudáfrica. Al interior del país se destacan las regiones carboníferas de Cundinamarca, Norte de Santander y Boyacá, con grandes reservas de carbón metalúrgico y térmico, que puede ser utilizado para el consumo regional, nacional y tipo exportación (Márquez, 2011).

Existen autores que aseguran que Colombia cuenta con reservas carboníferas para 46 años contados a partir del 2010 (Franco, Gallo, 2010); por lo que el gobierno espera mantener el ritmo de extracción actual para asegurar que la producción de carbón supere los 100 años. (UPME, 2011).

El carbón actual de Colombia es conocido mundialmente por su bajo contenido de azufre y cenizas, alta volatilidad y alto poder calorífico. (Cuervo, 2019).

El carbón es uno de los minerales más importantes de la economía colombiana y es el tercer producto mas exportado después del petróleo y el café. Los principales destinos de exportación del carbón son Estados Unidos y Europa.

Figura 1. Producción de Carbón



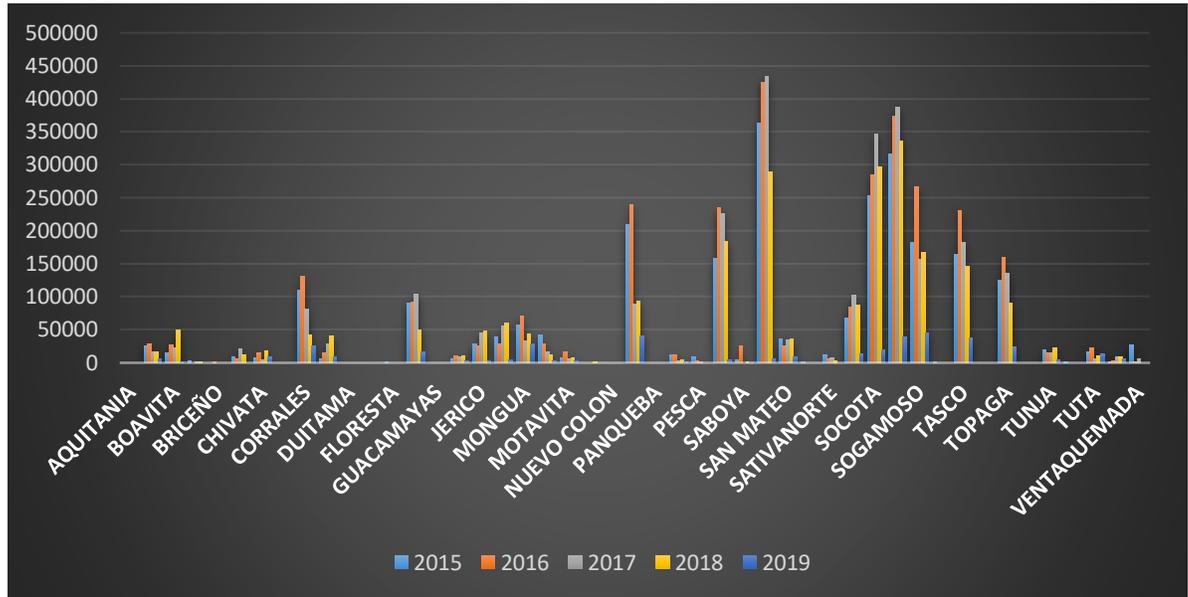
Fuente: Recuperado de Bboletín estadístico. Copyright 2018 por UPME.

Disponible en

https://www1.upme.gov.co/PromocionSector/SeccionesInteres/Documents/Boletines/Boletin_Estadistico_2018.pdf

En 2016 y 2017, el volumen de la extracción de carbón superó los 90 millones de toneladas. En el segundo semestre de 2018, los precios del carbón bajaron drásticamente, lo que representó un valor de 40 millones de toneladas.

Figura 2. Producción de carbón en Boyacá



Fuente: Elaboración propia datos tomados de SIMCO (Sistema de Información minero colombiano) 2020.

Boyacá es un departamento que se ha destacado por su riqueza en el sector minero, además se ha caracterizado por ser una región productora del carbón en diferentes municipios, la extracción y producción de carbón representa el 25% de la economía en los municipios Boyacenses, de los cuales doce de ellos dependen netamente de los recursos que esta actividad genera. Las siderúrgicas, termoeléctricas y las organizaciones dedicadas a la coquización del carbón son las que más consumen el carbón metalúrgico y térmico, el cual es extraído y producido en la región de Boyacá. Los principales sectores donde se encuentra la mayor aglomeración se encuentran ubicadas al norte, oriente y centro del departamento, la minería que se realiza es de manera subterránea, por lo general sus operaciones son en pequeña y mediana escala. (Higuera, 2015).

Según la ANM, (2019) El sector minero en Boyacá representa casi el 2% del PIB, el 98% son exportaciones mineras y más de 10 municipios dependen exclusivamente de la actividad. Además, genera recursos a través de las regalías que permiten

adelantar proyectos que disminuyen las brechas sociales y aumentan la equidad. Durante 2019, específicamente el carbón le dejó al país \$2,2 billones de pesos en regalías, pese a los desafíos internacionales frente a la demanda y precios de este mineral.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Análisis de la cadena de suministro del carbón en Boyacá bajo la metodología de dinámica de sistemas.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la cadena de suministro del carbón.
- Diseñar diagrama causal y Forrester.
- Diseñar y analizar un modelo como propuesta para la cadena de suministros del carbón en Boyacá.

1.5. ALCANCE Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

La presente investigación comprenderá un análisis de todos los procesos y operaciones que pertenecen a la cadena de suministro de carbón en minas, centros de acopio y clientes mediante la metodología dinámica de sistemas, teniendo en cuenta las zonas ubicadas al norte, centro y oriente de la región Boyacense, considerando las medianas y grandes empresas del sector, cabe resaltar que se entrevistara a todas las empresas de las bases de datos obtenidas por las tres zonas anteriormente mencionadas, solo se tendrán en cuenta las empresas que contesten las preguntas de la entrevista; este proyecto no comprenderá ningún otro

proceso u operación ajenos a los anteriormente mencionados ni cualquier otro proceso que las organizaciones dedicadas a la explotación y comercialización del carbón desean tercerizar.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO GEOGRÁFICO

El proyecto Análisis de la Cadena de Suministros del Carbón en Boyacá Bajo la Metodología de la Dinámica de Sistemas, se desarrolla como bien lo dice el título en el departamento de Boyacá específicamente como lo muestra la Figura 3, al norte, oriente y centro.

El departamento de Boyacá es rico por su variada cultura, Camacho Cárdenas (2006) afirma:

“El departamento de Boyacá se conforma por 123 municipios siendo su capital la ciudad de Tunja, está ubicado en la cordillera oriental de los andes localizado entre 04°39'10" y 07°03'17" de latitud norte y los 71°57'49" y los 74°41'35" de longitud oeste. Al norte limita con el departamento de Santander y Norte de Santander, al Este tiene límites con el departamento de Casanare y Arauca, en la zona sur con Cundinamarca y Meta, y finalmente por el Oeste con Antioquia y Cundinamarca.”

De los 123 municipios su economía se basa en la producción agrícola y/o ganadera, la extracción de minerales (en su mayoría de forma artesanal y especialmente carbón coquizable, arcilla, entre otros), comercio formal e informal, industrias manufactureras, siderúrgicas y turismo.

Figura 3. Ubicación de la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps 2020.

2.2. ANTECEDENTES O ESTADO DEL ARTE

La cadena de producción del sector minero involucra todas las actividades a cargo de los individuos, empresa u organizaciones, en el cual en su proceso de producción utiliza insumos de fuentes minerales y la venta y distribución de productos terminados.

De la investigación de Rengifo (2017), se puede observar que las características principales de la cadena de suministro del sector minero aurífero en el centro de Colombia y el diseño de una propuesta para la mejora de su gestión, las empresas

mineras enfrentan dificultades relacionadas con la baja eficiencia y eficacia en la cadena de suministro y sus operaciones logísticas causadas por diversos problemas debido a la mala gestión de la cadena, principalmente con la gestión del suministro, la falta de determinación de los procesos clave en funcionamiento y la selección inadecuada de insumos.

Según Cano, Panizo, García y Rodríguez (2015), en su proyecto, el desarrollo de una estrategia competitiva para la industria del carbón en el norte de Santander, revisaron la información contenida en los documentos de las entidades gubernamentales y encontraron que la infraestructura y los servicios presentaban fallas en cuanto a la logística para el transporte de productos mineros, por lo tanto, es necesario integrar sistemas de gestión de logística empresarial y cadenas de suministro para implementar modelos efectivos de planificación y operación entre pequeñas, medianas y grandes empresas. El objetivo es construir y caracterizar la cadena de suministro de carbón en el norte de Santander y determinar los principales factores que inciden en la mejora del suministro de carbón. Con la información recopilada, se pueden construir y caracterizar diferentes enlaces y entidades que participan en la cadena de suministro del carbón.

El trabajo de Márquez (2011) estudió la red de transporte integral de Colombia, la cual se planea implementar en el año 2019, con el objetivo de determinar la mejor ruta de carbón desde las áreas internas de producción del país hasta el puerto de exportación. El método utilizado se basa en encontrar una solución al problema de flujo de mínimo costo. El modelo considera redes de transporte por carretera, ferroviaria y fluvial, el cual contiene una red de 34.000 kilómetros, especialmente 1.864 arcos. Tomando en cuenta la nueva infraestructura ferroviaria y portuaria, y sugiere una estrategia de integración de vías férreas y fluviales para transportar carbón desde el interior del país a través del puerto de Barranquilla.

Las investigaciones citadas anteriormente nos aportan ideas para resolver problemas que se presentan en la cadena de suministros del carbón en Colombia, evidenciando que cada propuesta es contemplada para mejorar en la parte de inversión y logística a la hora de comercializar un producto, en los eslabones de la cadena productiva del carbón se evidencia la falta de tecnificación y tecnología generando unos costos logísticos operacionales más altos, que se conllevan desde el proceso de extracción del mineral hasta el cliente, se busca analizar los procesos productivos del mineral y dependiendo de cómo se encuentre el sector se planteara una estrategia de mejora para disminuir costos en la cadena de suministros del carbón.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

Para una mejor comprensión de este documento es necesario conocer algunos conceptos:

Carbón: Es una roca sedimentaria de color negro pardusco, de fácil combustión, contiene más del 50% (en peso) y más del 70% (en volumen) de materiales carbonosos, incluida la humedad inherente. Se formó a partir de los residuos vegetales alterados químicamente. (Ministerio de Minas y Energía, 2003).

Acopio o patio: Es el lugar donde ubican el mineral que extraen.(Ministerio de Minas y Energía, 2003).

Aprovisionamiento: Conjunto de actividades y funciones que garantizan a la organización tener la materia prima o cualquier otro insumo necesario para la transformación de un producto o la prestación de un servicio. (Uribe, 2012).

Cadena de suministro: Es una serie de flujos y procesos que ocurren dentro y fuera de la empresa y entre diferentes etapas, estos procesos y procesos se combinan para incrementar las expectativas del cliente maximizando su satisfacción. Dependiendo de la empresa, se utilizan diferentes combinaciones de métodos en el proceso de la cadena de suministro (Chopra & Meindl, 2008).

Dinámica de sistemas: La dinámica de sistemas es una metodología que estudia y gestiona sistemas de retroalimentación más complejos. (Moran, 2010).

Eficiencia: Cumplimiento de los objetivos, dando un uso adecuado, racional u óptimo a los recursos. (Aedo y Gutiérrez, 2005).

Eficacia: Se refiere a cumplir con los objetivos realizando bien las tareas. (Fallis, 2013).

Logística: La dirección del flujo de bienes y servicios, desde la compra de materias primas e insumos de la fuente original, hasta la entrega de productos terminados en el punto de consumo. (Monterosso, 2000).

Transporte: Es la actividad de la industria terciaria, que se entiende como el movimiento de objetos o personas de un lugar a otro en vehículos, herramientas o sistemas de transporte utilizando determinada infraestructura. (Uribe, 2012).

Mina subterránea: La minería subterránea se realiza bajo tierra y se puede acceder a ella a través de túneles verticales u horizontales. (Martínez, 2009).

Exploración: Busque las posibles ubicaciones de minerales para determinar su ubicación exacta y la cantidad. (Ministerio de Minas y Energía, 2003).

Explotación: Es la aplicación de un conjunto de tecnologías mineras para extraer minerales para su transformación y comercialización. (Glosario de Tecnología Minera, 2003).

Producción: La etapa del ciclo minero diseñada para extraer, preparar o beneficiarse, transportar y comercializar minerales. (Terminología Técnica Minera, 2003).

Carbón mineral: Como su nombre indica, proviene de minas o pozos y se utiliza en estufas, forja, industria, calefacción, etc.

Carbón vegetal: Se produce por carbonización de la leña, en ausencia de aire, la leña y otros residuos vegetales se calientan en el horno a una temperatura de 400 a 700 ° C.

Coque: Combustible obtenido de la calcinación o destilación en seco de carbón mineral, está compuesto de carbón y tiene un alto poder calorífico.

Tolva: Generalmente se utilizan dentro de la planta como un punto de distribución y almacenaje.

Vagoneta o coche: Carros de madera o hierro para transportar el carbón o el mineral a la superficie. (Glosario Técnico Minero, 2003)

2.4. MARCO TEÓRICO

2.4.1. CADENA DE SUMINISTRO

La cadena de suministro es una serie de procesos y flujos que ocurren dentro y fuera de la empresa y entre diferentes etapas, estos procesos y flujos se combinan para satisfacer las necesidades de los clientes. Dependiendo de la empresa, se utilizan diferentes combinaciones de métodos en el proceso de la cadena de suministro (Chopra y Meindl, 2008).

Según Garza y Barragán (2012): “La cadena de suministro es una red de organizaciones interconectadas e interdependientes que colaboran entre sí para controlar, gestionar y mejorar de manera conjunta el flujo de materiales e información desde los proveedores hasta los usuarios finales”. Producto terminado el tiempo requerido depende en gran medida del suministro de materias primas, componentes ensamblados o piezas individuales en todos los niveles de la cadena de producción.

Ballou (2004) interpreta la cadena de suministro como todas las actividades relacionadas con el flujo y conversión de información y productos básicos de materias primas a usuarios finales, teniendo en cuenta estos productos básicos e información de principio a fin, y viceversa. En la cadena.

De acuerdo a lo anteriormente mencionado no se ha identificado en el caso colombiano que el concepto de cadena de suministro se efectúe de forma integral, sino por medio de encadenamientos productivos, lo cual se convierte en una oportunidad para implementar esta línea de trabajo y que permita aumentar la productividad y el aprovechamiento de los recursos mineros. Esto hace entonces

que se genere la necesidad de diagnosticar e investigar sobre el estado actual de la logística en la cadena productiva del carbón, (Cano, Panizo, García y Rodríguez, 2015).

2.4.2. DINÁMICA DE SISTEMAS

La dinámica de sistemas, según Pidd se encuentra clasificada como herramienta de modelación utilizada para pensar.

Forrester (1961) define la dinámica de sistemas (en su terminología, dinámica industrial) como "el estudio de las características de retroalimentación de la información de las actividades industriales para mostrar cómo la estructura organizativa, la amplificación y el retardo temporal interactúan para afectar las actividades industriales. Sobre el éxito.

Esta trata de las interacciones entre los flujos de información, dinero, pedidos, materiales, personal y los bienes de capital en una empresa, una industria o una economía nacional". (Oliveros, 2015).

Según Sterman (2000) considera que la dinámica de sistemas es un método para mejorar el aprendizaje en sistemas complejos. Un método que sirve para desarrollar habilidades de toma de decisiones en entornos dinámicos complejos, entendiendo las diferentes fuerzas que actúan sobre las políticas y normas. También añade que la intervención en la dinámica de sistemas requiere más que herramientas técnicas y modelos matemáticos, resaltando que la dinámica de sistemas es una metodología interdisciplinaria que se basa en la teoría de dinámicas no lineales y en el control del concepto de realimentación.

2.4.3. CADENA DE SUMINISTROS Y DINÁMICA DE SISTEMAS

Los modelos de pensamiento sistémico tienen gran relación con la gestión de la cadena de suministros. Cuando se relacionan los dos se centran, en particular, en el carácter de la realimentación de la información de un sistema industrial. El análisis desde la perspectiva dinámica, hace las aplicaciones de la dinámica de sistemas en la cadena de suministro más valiosas. (Brijaldo, 2015).

De acuerdo a lo dicho anteriormente la cadena de suministro con pensamiento sistémico nos ofrece la garantía de tomar mejores decisiones a la hora de estudiar la trazabilidad logística, porque simula el procedimiento antes de ponerlo en práctica lo cual brinda confianza a los inversionistas o partes interesadas de la organización. Para el estudio se desarrolla la cadena de suministro por medio de un software de simulación que analiza los procesos de la cadena del carbón en Boyacá que comprende la mina, centro de acopio y cliente. Para la simulación se tuvieron en cuenta dos softwares Powersim y Vensim, estos ayudarán a simular el proceso de la cadena de suministro del carbón en la zona centro, zona norte y zona oriente de Boyacá.

2.4.3.1. Diagrama causal

Es una herramienta para mostrar la estructura y las relaciones causales de un sistema para entender sus mecanismos de realimentación en una escala temporal. Permite ilustrar, mediante el uso de esquemas causa y efecto, los cambios ocasionados en una variable como consecuencia de las variaciones producidas en otra. (Jaimes, 2016).

El diagrama causal se compone por los siguientes elementos:

- Variables
- Relaciones causales entre las variables

- Polaridad de la relación causal

Los elementos básicos son las variables o factores, una variable es una condición, una situación, una acción o una decisión que puede influir dependiente o independientemente. Los enlaces o las flechas representan y expresan la relación de causalidad entre dos variables, de forma que una variación en el origen de la flecha produce un cambio en el variable destino. (Morlán ,2010)

Bucle de realimentación: Los bucles de realimentación representan el proceso dinámico que se traslada por una cadena de causas y efectos a través de un conjunto de variables que acaban volviendo a la causa original. El bucle de realimentación es el grupo de variables interconectadas por relaciones causales que forman una cadena cerrada de relaciones que comienza en una variable inicial y termina en la misma variable. Existen dos bucles de realimentación, bucle de realimentación con polaridad positiva y bucle de realimentación con polaridad negativa (Jaimes, 2016).

Bucle de realimentación positiva: Los bucles de realimentación positiva son aquellos en los que la variación de un elemento se propaga a lo largo del bucle de manera que acentúa dicha variación inicial. Esa variación primera puede ser tanto un incremento como una disminución de un valor determinado. Este tipo de bucle genera un comportamiento de crecimiento o de decrecimiento del sistema que lo aleja del punto del equilibrio. (Morlán ,2010).

Bucle de realimentación negativa: Los bucles de realimentación negativa son la base de cualquier tipo de sistema de regulación o control ya sea artificial o natural, buscan siempre estar en equilibrio, también se caracterizan por una variación de un elemento que se transmite a lo largo del bucle de manera que se genere un efecto que contrarresta la variación inicial.

2.4.3.2. Diagrama de Forrester

Estudia el análisis cuantitativo de las variables interconectadas. Este se compone de varios elementos que pueden tener distinta naturaleza según el comportamiento que represente. Existen tres tipos de variables que pueden componer el diagrama de Forrester:

Variable de nivel: Estas variables definen el estado del sistema generando la información en la que se basan la toma de decisiones, estos pueden generar retardos, implicando variables que se acumulen en magnitudes de tiempo.

Variables de flujo: Representa el cambio del nivel de las variables en un periodo de tiempo, estas variables se derivan de los niveles en relación al tiempo, a su vez suelen estar intervenidas de los coeficientes o las variables auxiliares.

Variables auxiliares: Son variables dependientes intermedias que reciben información de otras variables que las transforman y generan información nueva en base a una función determinada, la presencia de variables auxiliares demuestra la existencia de canales de información que permiten la transmisión de datos desde variables de flujo o de nivel hacia variables de flujo, a continuación, se muestran las ecuaciones de los niveles y simbología para la simulación.

2.5. MARCO LEGAL

Durante la explotación minera en Colombia se debe tener en cuenta el plan de recuperación, restauración o compensación del impacto negativo que este trae al medio ambiente. De esta forma y por el crecimiento de la minería se establecieron aspectos legales con respecto a límites, uso del agua y al abandono de las explotaciones (Peña, 2003).

Tabla 1. Legislación minera

Norma	Descripción
Decreto 2636/1944	<ul style="list-style-type: none"> • Legalización de explotaciones en la pequeña minería
Decreto 1335/1987	<ul style="list-style-type: none"> • En el cual se establecen normas sobre la seguridad y la higiene en la minería subterránea
Ley 141/1994	<ul style="list-style-type: none"> • Crea el fondo nacional de regalías, la comisión nacional de regalías y regula el derecho a percibir regalías por la explotación de los recursos naturales no renovables
Decreto 501/1995	<ul style="list-style-type: none"> • Reglamenta la inscripción para el registro de títulos mineros para la exploración y explotación de los recursos minerales a nivel nacional.
Decreto 1184/1995	<ul style="list-style-type: none"> • Modifica el medio de pago del carbón en un plazo de diez días siguientes a la inscripción del registro minero
Decreto 1385/1995	<ul style="list-style-type: none"> • Se establecen los mecanismos de conciliación en los eventos de superposiciones en áreas entre explotadores de hecho y títulos mineros otorgados.
Decreto 1481/1996	<ul style="list-style-type: none"> • Se establecen los requisitos mínimos para la inscripción de títulos mineros en el registro minero, la inscripción de los aportes para la licencia ambiental en el registro minero.
Ley 685 de 2001. Código de minas	<ul style="list-style-type: none"> • Decreto que regula la ejecución de las actividades mineras. • Regula las relaciones entre los organismos y las entidades del estado y de los particulares entre sí, sobre las actividades de prospección, exploración, explotación, beneficio, transporte, aprovechamiento y comercialización de los recursos no renovables que se ubican en el subsuelo y suelo, así sean de propiedad de la nación o privada. • También indica cuales son las zonas en las que no se puede desarrollar actividades minería, teniendo en cuenta el decreto 2811/1974 • En los numerales 16 y 17 del código minero se determinan los títulos mineros, su clasificación, y su utilidad. De igual manera se clasifican tres tipos de minería: pequeña, mediana y grande minería.
Decreto 1886/ 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Indica los procedimientos para la inspección, vigilancia y control para las labores mineras subterráneas, para la conservación de la seguridad y salud en las áreas de trabajo. • La preservación de las condiciones de seguridad y salud del trabajador minero constituyen el eje central del estatuto de seguridad minera subterránea, colocando en el centro de todo su actuar al ser humano en su integridad física y mental.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Legislación ambiental.

Norma	Descripción
Ley 2 de 1959	•Por el cual se establece la protección y reserva forestal de suelo, subsuelo y agua.
Decreto 2811/1974 Código nacional de los recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente	•Regula el aprovechamiento y el uso de los recursos hídricos: captación, vertimiento, ocupación de cauces, ordenamiento de cuencas, entre otros.
Decreto 877 de 1976	•Uso del recurso forestal. Áreas de reserva forestales
Resolución 257 de 1977	•Control y manejo adecuado de los recursos hidrobiológicos y el medio ambiente.
Decreto 622 de 1977	• Reglamentación de parques nacionales naturales
Decreto 1449 de 1977	•Normas y disposiciones de la protección y conservación de agua, fauna acuática y terrestre
Ley 1715 de 1978	•Reglamentación sobre la protección del paisaje en carreteras, se prohíbe la alteración de elementos del paisaje.
Ley 09/1979	•Por el cual se establece el código nacional sanitario, reglamenta las medidas y procedimientos para legislar, regular y controlar las descargas de los residuos y materiales. Indica los parámetros requeridos para controlar las actividades que afectan al medio ambiente.
Resolución 8321 de 1983	•Ruido
Decreto 1594 de 1984	•Normas de vertimientos de residuos líquidos
Decreto 79 de 1986	•Conservación y protección del recurso agua
Ley 29 de 1986	•Regula las disposiciones en las áreas de reserva forestal protectora
Constitución 1991	•En el cual la constitución política de Colombia consagra el derecho a la protección del patrimonio natura. Art 8. Es como deber del estado controlar y prevenir factores que deterioren el medio ambiente, debe garantizar el desarrollo sostenible, y su conservación.
Ley 99/1993	•Se crea el ministerio del medio ambiente, le reordena al sector publico encargado de la gestión y conservación de los recursos naturales renovables y el medio ambiente, se organiza el sistema nacional ambiental, SINA y de dan otra disposiciones.

Fuente: Elaboración propia a partir de Ibáñez (2015) y Peña (2005)

Nombre	Descripción
Ley 388 de 1997	<ul style="list-style-type: none"> •Se disponen los mecanismos que le permiten al municipio el uso racional del suelo y subsuelo para la preservación y la defensa del patrimonio cultural y ecológico. •Por el cual regula la prevención y conservación del manejo y uso adecuado de los recursos naturales.
Ley 299 de 1995	<ul style="list-style-type: none"> •Se dispone la protección de la flora en Colombia
Decreto 948 de 1995	<ul style="list-style-type: none"> •Establece las normas para el control y protección de la calidad del aire
Resolución 989 de 1995	<ul style="list-style-type: none"> •Dispone los criterios del medio ambiente y la calidad de los combustibles sólidos y líquidos.
CONPES 1750 de 1995	<ul style="list-style-type: none"> •Reglamentación del manejo de aguas
Ley 164 de 1995	<ul style="list-style-type: none"> •Convención del cambio climático con las naciones unidas.
Documento CONPES 2834 de 1996	<ul style="list-style-type: none"> •Normas de bosques
Resolución 619 de 1997	<ul style="list-style-type: none"> •Requisitos y permisos para las emisiones atmosféricas mínimas en las fuentes fijas.
Ley 373 de 1997	<ul style="list-style-type: none"> •Uso eficiente y ahorro del agua
Ley 629 de 2000	<ul style="list-style-type: none"> •Protocolo de Kioto
Resolucion769 de 2002	<ul style="list-style-type: none"> •Normatividad para la protección y conservación de los páramos.
Ley 1333/2009	<ul style="list-style-type: none"> •Por el cual se rige y reglamenta en sancionatorio ambiental.
Resolución 918/2011	<ul style="list-style-type: none"> •Por el cual se disponen los procedimientos para la sustracción de las áreas de reservas nacionales y forestales a nivel regional y nacional para el desarrollo de las actividades públicas o intereses sociales.
Decreto 3573/2011	<ul style="list-style-type: none"> •Se crea la autoridad nacional de licencias ambientales (ANLA), y otras disposiciones.
Decreto 953/2013	<ul style="list-style-type: none"> •Por el cual se establecen las disposiciones para la recuperación y conservación de los recursos hídricos que surgen de agua y acueductos regionales y nacionales para el mantenimiento y financiación de las áreas naturales y el pago de los servicios ambientales.

Fuente: Elaboración propia a partir de Ibáñez (2015) y Peña (2005)

Nombre	Descripción
Decreto 1374/2013	•Se establecen los parámetros para el señalamiento de las reservas naturales de manera temporal y otras disposiciones.
Decreto 2041/2014	•Se reglamentan la ley 99 de 1993 sobre las licencias ambientales.
Decreto 2691/2014	• Se disponen mecanismos con las autoridades territoriales para que tomen medidas necesarias, para el cuidado, la preservación y protección del medio ambiente, en especial las cuencas hídricas; el desarrollo social, cultural, económico y salubridad para la comunidad en el proceso y autorización de las actividades mineras.
Decreto 1076/2015	• Por el cual se expide el decreto reglamentario en el ámbito del desarrollo sostenible y del medio ambiente. Libro 2. Título II: Biodiversidad (Capítulo 1, 2 y 7) Título II: Gestión ambiental Título III: Aguas no marítimas Título IV: Aire Título VI: Residuos peligrosos
Decreto 2220/2015	•Por el cual se modifica y adiciona un nuevo numeral al decreto 1076 del 2015 en lo relacionado con los permisos y licencias ambientales para los proyectos de interés nacional y estratégico. (PINE).

Fuente: Elaboración propia a partir de Ibáñez (2015) y Peña (2005)

Tabla 3. Legislación de transporte

Norma	Descripción
Decreto 13791 de 1988	•Se establecen los límites de las dimensiones y peso de vehículos de carga para la operación en las carreteras del territorio nacional.
Decreto 1815 de 1992	•Se adopta el estatuto de transporte público terrestre de carga y se establecen los decretos 1452 de 1987 y 1906 de 1988.
Ley 105 de 1993	•Se establecen las disposiciones del transporte contribuyendo a competencias y recursos entre la nación y entidades territoriales, se dictan otras disposiciones.

Fuente: Elaboración propia a partir de Chavarro y García (2013)

Nombre	Descripción
Resolución 777 de 1995	•Por el cual se delegan las funciones, requisitos y procedimientos, para otorgar o denegar los permisos para el transporte en cuanto a la carga extra pesada y dimensionada por las vías nacionales a cargo del instituto nacional de vías.
Ley 336 de 1996	•Establece el estatuto general de transporte, en el cual se unifican los criterios y principios que regulan y reglamentan el transporte público, aéreo, marítimo, fluvial, férreo y terrestre y su operación a nivel regional y nacional.
Decreto 2295 de 1996	•Por el cual se dictan normas relativas al régimen de tránsito aduanero nacional, transporte multimodal, cabotaje y se dictan otras disposiciones.
Decreto 651 de 1998	•Se establecen las disposiciones para dar paso a sanciones en cuanto al transporte terrestre automotor de carga.
Decreto 1800 de 2003	•El instituto nacional de concesiones se encuentra a cargo de la administración y estructuración del transporte de carretera, fluvial marítimo, férrea y portuaria.
Decreto 3366 de 2003	•Se establece el régimen de las sanciones en caso de incumplimiento a las normas de transporte publico automotor y se dictan otras disposiciones.
Decreto 390 de 2016	•Se aplica en la aduana nacional y regula las relaciones jurídicas que establece la administración aduanera que lo regula la constitución y la ley en todo lo relacionado del ingreso, traslado permanencia entre otros.

Fuente: Elaboración propia a partir de Chavarro y García (2013)

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación mantiene un tipo de datos mixtos con enfoque descriptivo exploratorio aplicado, descriptivo porque tiene como finalidad definir, clasificar, catalogar o caracterizar la cadena de suministros del carbón, los principales métodos de la investigación descriptiva son las encuestas y los estudios de caso único, exploratorio ya que se utilizará instrumentos de recolección primaria como datos con información obtenida a través de entrevistas y aplicada ya que el modelo final representará de forma analítica la cadena de suministros con pensamiento sistémico del carbón en Boyacá, adicionalmente se aplicara la fórmula para poblaciones finitas que limitara la cantidad de encuestas a realizar para que el modelo sea viable.

Formula 1: población finita

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Donde:

n= tamaño de muestra

N= tamaño población o universo

Z α = Nivel de confianza deseada.

Para un nivel de seguridad de 90% el coeficiente Z α = 1,64 en la tabla de distribución normal.

e= Error de estimación máximo aceptado

se toma un máximo de 5% para que la muestra sea viable.

p= probabilidad éxito.

q= (1-p) = probabilidad fracaso.

P = 50% entonces q = 100% - 50% = 50%

Tabla 4: población finita por zonas.

Ecuación población finita		
$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$		
Zona centro	Zona norte	Zona oriente
n =?	n =?	n =?
N= 45 empresas	N= 109 empresas	N= 94 empresas
Z α = 1,64	Z α =1,64	Z α =1,64
e = 5%	e = 5%	e = 5%
p= 50%	p= 50%	p= 50%
q = 50%	q = 50%	q = 50%
Zona centro		
$n = \frac{45 * 1,64_{\alpha}^2 * 0,5 * 0,5}{0,05^2 * (45 - 1) + 1,64_{\alpha}^2 * 0,5 * 0,5} = 38 \text{ entrevistas}$		
Zona norte		
$n = \frac{109 * 1,64_{\alpha}^2 * 0,5 * 0,5}{0,05^2 * (109 - 1) + 1,64_{\alpha}^2 * 0,5 * 0,5} = 77 \text{ entrevistas}$		
Zona oriente		
$n = \frac{94 * 1,64_{\alpha}^2 * 0,5 * 0,5}{0,05^2 * (94 - 1) + 1,64_{\alpha}^2 * 0,5 * 0,5} = 69 \text{ entrevistas}$		

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla anterior podemos identificar que se deben realizar por la zona centro 38 entrevistas como mínimo, por la zona norte 77 entrevistas y por la zona oriente 69 entrevistas, para que el proyecto sea viable.

3.2. UNIVERSO O POBLACIÓN

La población para este proyecto está conformada por minas, centros de acopio y clientes legalmente constituidos, se seleccionó una muestra teniendo en cuenta todas las empresas dedicadas a la extracción y comercialización del carbón de la zona norte, zona centro y zona oriente de Boyacá por medio de bases de datos obtenidas de las cámaras de comercio de Tunja, Duitama y Sogamoso, por las tres zonas se obtuvo información de 40 minas de las 248 existentes en las bases de datos, las cuales contestaron a los interrogantes de la entrevista.

Las empresas entrevistadas son de gran importancia para la economía de la región puesto que exportan carbón y son grandes proveedores de otras empresas de la región como cementeras, hidroeléctricas y otras, por otra parte, las empresas por cuestiones de reactivación económica, imposibilitaron la atención y visita presencial por las medidas de bioseguridad del Covid-19 y cuarentenas estipuladas por el gobierno nacional, adicionalmente se encontró en el estudio que algunas minas de las bases de datos recolectadas no se encontraban en funcionamiento o estaban clausuradas.

De acuerdo a la información suministrada por las Cámaras de Comercio de Tunja, Duitama, Sogamoso y Corpoboyacá, por la zona norte la muestra fue de 109 empresas mineras representando el 44% de la minería en este sector, de las cuales hicieron parte del estudio 16 minas, 2 con centro de acopio propio, 10 centros de acopio independientes de la mina y 9 clientes, por la Zona Centro la muestra fue de 45 empresas mineras representando el 18% de la minería por este sector, de las cuales hicieron parte del estudio 11 minas, 2 con centro de acopio propio, 4 centros de acopio independientes y 6 clientes y por la Zona Oriente la muestra fue de 94 empresas mineras representando el 38% de la minería del sector, de las cuales hicieron parte del estudio 13 minas, 6 con centro de acopio propio, 7 centros de

acopio independientes y 13 clientes, se debe tener en cuenta que las minas pueden tener los mismos centros de acopio y los mismos clientes.

Según lo anteriormente mencionado se evidencia que no se cumple con los estándares de población para la muestra pues no se logra entrevistar en su totalidad el número de empresas mineras hallado en la tabla 4.

Por otra parte, en cuanto al transporte del carbón, para los diferentes tipos del mineral, son cargadas entre 5 a 7 volquetas al día con una capacidad máxima de 32 ton por volqueta, las cuales realizan recorridos desde las minas hasta los centros de acopio, desde las minas a los clientes o desde los centros de acopio a los clientes, datos suministrados por la entrevista realizada a representantes legales de las empresas.

3.3. FUENTES DE INFORMACIÓN

3.3.1. FUENTES DE INFORMACIÓN PRIMARIAS

Se realizaron entrevistas a los representantes legales de minas de carbón y centros de acopio, los cuales facilitaron la información necesaria para el proyecto y se establece como el instrumento principal de recolección de datos.

3.3.2. FUENTES DE INFORMACIÓN SECUNDARIAS

Se toma como referencia bases de datos de Cámaras de comercio de Tunja, Duitama y Sogamoso, Agencia Nacional de Minería ANM, Corpoboyacá, La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), Ministerio de Minas y Energía, tesis relacionadas con la cadena de suministro del carbón y la metodología dinámica de sistemas y artículos de la cadena de suministro con enfoque sistémico y dinámica de sistemas.

3.4. FASES DEL DESARROLLO DEL PROYECTO

Teniendo presente que el proyecto se enfoca en el análisis de la cadena de suministros del carbón en Boyacá bajo la metodología de dinámica de sistemas se establecen tres fases que permiten lograr el objetivo principal.

Fase 1. En esta fase se llevará a cabo la caracterización de todas las actividades logísticas y procesos de abastecimiento del carbón en Boyacá aplicando instrumentos de recolección de información como entrevistas.

Fase 2. Se diseñará el modelo bajo la metodología de dinámica de sistemas teniendo en cuenta los datos recolectados en la fase 1, por lo tanto, se debe diseñar diagrama causal por medio de Vensim (herramienta de simulación) y Forrester por medio de Powersim (herramienta de simulación), que ayudaran a cumplir la siguiente fase del proyecto.

Fase 3. En esta etapa del proyecto se realizará el análisis de relación de agentes de la cadena de suministros por medio de una herramienta ofimática de simulación por lo tanto hay que definir parámetros y variables para poder diseñar el modelo utilizando Powersim.

4. DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1. CARACTERIZACIÓN

A continuación, se presenta la caracterización o desarrollo del proyecto, dicho proyecto fue planteado para el primer periodo del año 2020, donde no se tenía previsto que sería un periodo o un año atípico por cuestiones de pandemia mundial que produjo confinamiento y cierre de empresas, ocasionando dificultades en el desarrollo normal del proyecto lo que conllevó a situaciones como no poderse desplazar al área de estudio y por ende el difícil acceso a la información por trabajo de campo. Adicionalmente Boyacá presentó una serie de accidentes en varias minas generando la negativa total a cualquier visita académica que pudiera realizarse, lo que imposibilitó total el levantamiento de información primaria, sin embargo sin ánimo de detener el proyecto se acudió a la vía digital, bases de datos mineras suministradas por CorpoBoyacá y cámaras de comercio de Duitama, Sogamoso y Tunja las cuales facilitaron la comunicación con los representantes legales de las minas y centros de acopio quienes por medio de las entrevistas dieron información sobre las minas, los clientes, los centros de acopio, el transporte y demás información que sirvió para poder simular el modelo, adicionalmente las bases de datos recibidas se clasificaron por medio del RUES (registro único empresarial), donde se identificaron las minas activas y vigentes así como también las no vigentes sin funcionamiento e inactiva

Generalidades

La minería es una actividad económica del sector primario se caracteriza por la exploración y extracción de minerales que se han acumulado en el subsuelo y suelo en forma de yacimiento, el carbón es un mineral en forma de roca de color negro muy rico en carbono y con diferentes cantidades que pueden variar de otros

elementos como el azufre, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno, podemos encontrar de dos tipos, mineral y vegetal.

Tabla 5. Reservas de carbón en Colombia por zonas

RESERVAS DE CARBÓN EN COLOMBIA	
ZONA CARBONÍFERA	RESERVAS MEDIDAS EN MILLONES DE TON
LA GUAJIRA	3.493,40
CESAR	1.487,40
CÓRDOBA NORTE DE SANTANDER	376,1
ANTIOQUIA ANTIGUO CALDAS	86,2
VALLE DEL CAUCA	40,1
CUNDINAMARCA	208,6
BOYACÁ	139,7
SANTANDER	146,5
NORTE DE SANTANDER	93,1
BORDE LLANERO	0,76
TOTAL	6.071,9

Fuente: Elaboración propia a partir de Boletín estadístico de minas y energía, (2018).

Actualmente Colombia es el país que cuenta con mayores reservas de carbón en América Latina, sus departamentos con mayor aglomeración minera son la Guajira, Cesar, Cundinamarca, Boyacá, Cauca, Antioquia, Córdoba, N. Santander, Santander, Valle del Cauca.

Carbón en Boyacá

El departamento de Boyacá según la UPME, es un área carbonífera que va desde el municipio de Jericó, al norte, hasta los límites con el departamento de Cundinamarca; la principal área minera se encuentra entre los municipios de

Sogamoso y Jericó la cual cuenta con carbones tipo mineral y reservas medidas de 102.84 Mt, otras áreas de importancia son: Tunja - Paipa - Duitama con 24,03 Mt, Suesca - Albarracín con 7,81 Mt y Chequa - Lenguaque (Samacá y Ráquira) con 35,69 Mt, compartida con Cundinamarca.

Tabla 6. Tipos de carbón que se extraen en Boyacá

CARBON TERMICO		CARBON BAJO VOLATIL		CARBON MEDIO VOLATIL	
Características	%	Características	%	Características	%
Material volátil	34-42	Material volátil	18-24	Material volátil	25-29
Azufre	1 Max	Azufre	0.9 Max	Azufre	0.9 Max
Humedad	5 Max	Humedad	5 Max	Humedad	5 Max
Cenizas	8-12	Cenizas	8-10	Cenizas	8-10
Poder calorífico	5 Max	HGI (índice de molturabilidad)	60-65	HGI (índice de molturabilidad)	60-65
FSI (índice de hinchamiento)	3 Max	FSI (índice de hinchamiento)	6-8 min	FSI (índice de hinchamiento)	6-8 min

Fuente: Elaboración propia a partir de Castillo, 2018

En Boyacá se extraen diferentes tipos de carbón mineral: metalúrgico, alto volátil, Medio Volátil, Bajo volátil y carbón térmico, tal como se describen en la tabla 6, con algunas de sus características físico – químicas.

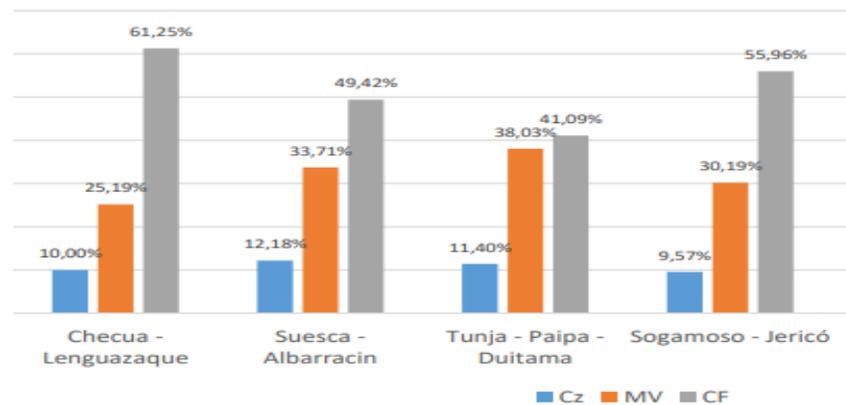
Actualmente Boyacá cuenta con 136,15 reservas de carbón medidas en millones de toneladas según ministerio de minas y energía, (2018) lo que permite que se aproveche este mineral al máximo haciendo que contribuya no solo al desarrollo de la economía de la región, sino también a la economía del país.

La producción de carbón metalúrgico representa cerca del 58% de la producción total; el térmico representa el 42%; este ha incursionado en el negocio de manera

más reciente (20 años) especialmente en regiones como Samacá, Valderrama, Paz del Río, Socha, y Socotá.

Adicionalmente el carbón presenta una variedad en calidad a continuación se visualiza mejor en la Figura 4, el Contenido de cenizas (CZ), Materias Volátiles (MV) y Carbón Fijo (CF), donde cada sector de extracción del mineral cuenta con distintas características y especificaciones.

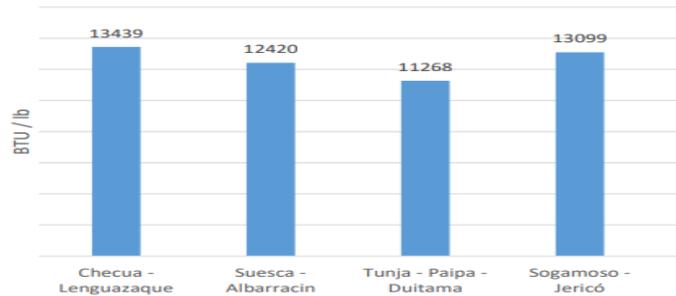
Figura 4. Calidad del Carbón



Fuente: Recuperado de El carbón: fuente de energía de la Región Central. Copyright 2020 por RAP-E. Disponible en: <https://regioncentralrape.gov.co/wp-content/uploads/2020/05/Cpt108-EL-CARBO%CC%81N-FUENTE-DE-ENERGI%CC%81A-EN-LA-REGIO%CC%81N-CENTRAL.pdf>

Otra peculiaridad del carbón de la región boyacense es el alto poder calorífico. Esta propiedad se le conoce como la cantidad de energía por unidad de masa, en el cual se mide por la unidad térmica británica (BTU), se puede evidenciar figura 5, que contiene mayores concentraciones en Checua - Lenguazaque y menor concentración en Tunja, Paipa y Duitama.

Figura 5. Poder Calorífico



Fuente: Recuperado de El carbón: fuente de energía de la Región Central. Copyright 2020 por RAP-E. Disponible en: <https://regioncentralrape.gov.co/wp-content/uploads/2020/05/Cpt108-EL-CARBO%CC%81N-FUENTE-DE-ENERGI%CC%81A-EN-LA-REGIO%CC%81N-CENTRAL.pdf>

4.1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO LOGÍSTICO DEL CARBÓN EN BOYACÁ

Esta figura explica el procedimiento en el cual las minas proveen el carbón a centros de acopio y clientes finales, para su comercialización.

Figura 6. La cadena del carbón

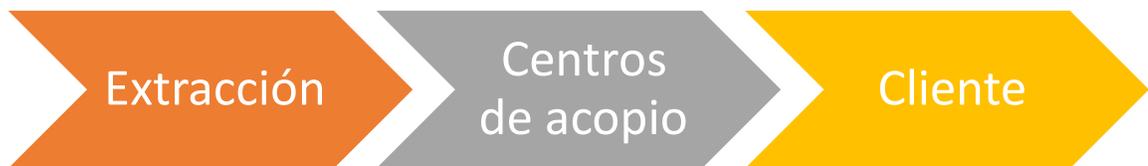


Fuente: Recuperado de La cadena del carbón. Copyright 2012 por UPME. Disponible en http://www.upme.gov.co/docs/cadena_carbon.pdf

El proceso logístico del carbón en Boyacá parte de una serie de actividades por medio de las cuales se logra la extracción y comercialización del carbón en sus diferentes tipos, en la siguiente figura se visualizan las principales actividades que componen la cadena del carbón, donde se eslabonan diferentes etapas que van desde la exploración minera hasta los usos finales del carbón.

El presente proyecto examina los nodos de extracción, centros de acopio y cliente.

Figura 7. Nodos de la cadena de suministro del carbón en Boyacá



Fuente: Elaboración Propia 2020.

4.1.2.1. Extracción

Según la ANM (Agencia Nacional de Minería). En Boyacá para constituir, declarar y aprobar el derecho a explorar, extraer y comercializar cualquier mineral en este caso el carbón legal, debe contar con título minero vigente, licencia ambiental aprobada, RUTCOM (Registro Único de Comercializadores de Minerales), contrato de concesión y actividades mineras carboníferas liderado por la ANM. Boyacá tiene una participación a nivel nacional del 2.77% en extracción de carbón y a nivel regional ocupa el 38.5% en explotación de carbón en comparación con los demás minerales del sector (ANM,2019), lo que lo hace uno de los departamentos con buena participación a la hora de comercializar este mineral, Con una producción de 1.456.516,72 toneladas para el año 2019, un 33% menos que el año anterior (ANM, 2019).

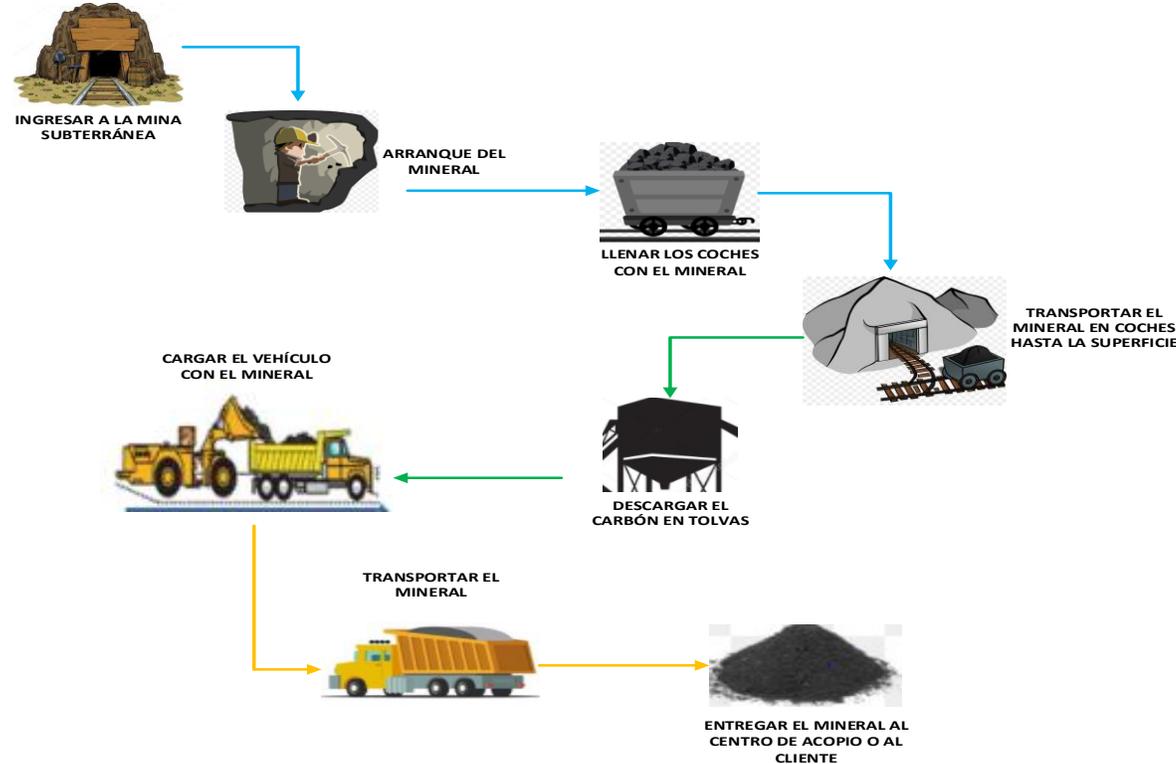
Inicialmente para que haya extracción del mineral es necesario la exploración, esto con el fin de definir su potencial, calidad y características, por consiguiente, esto permitirá según la geología del suelo o el terreno, determinar el tipo de extracción y costos a asumir (Mejía, 2005). Para la obtención del carbón en cualquiera de sus formas en Boyacá se utiliza el método de explotación subterránea.

La explotación en Boyacá se realiza en el interior de la tierra, siendo posible su acceso por medio de túneles ya sean verticales u horizontales, al interior del estrato rocoso y a gran profundidad se requiere un tipo de infraestructura especial, una red de pozos, galerías y cámaras conectados con la superficie que permitan el movimiento de los trabajadores, las máquinas y el mineral dentro de la mina, todas las galerías deben disponer de servicios tales como ventilación, aire fresco, electricidad, agua, aire comprimido, desagües y bombas para el agua subterránea que se filtra, así como un sistema de comunicación y detección de gases. Hamrin, H. Y Walker, S. Para evitar la acumulación de metano, monóxido, dióxido, ácido sulfhídrico y nitrosos, todas estas instalaciones son costos necesarios para la extracción, el dueño de la mina incurre en costos fijos y costos variables operacionales que hacen o disminuyen por tonelada de carbón extraído, los costos variables van en función del mercado nacional e internacional y el tipo de mineral ya sea metalúrgico o térmico, por ejemplo el carbón térmico para el 2019 tuvo un costo operativo total por tonelada en Boyacá de \$120.000 que fue \$70.000 de extracción, \$30.000 transporte y \$20.000 de acopio con un precio de venta de \$140.000 y el carbón metalúrgico tipo exportación un costo operativo por tonelada en Boyacá de \$220.000 que fue \$90.000 de extracción, \$100.000 transporte a puerto y \$30.000 por acopio con un precio de venta de \$210.000, datos obtenidos por las entrevistas realizadas a los representantes legales de las empresas mineras del estudio realizado.

El proceso inicia cuando ingresan al túnel las personas que trabajarán en la mina pueden ser entre 15 personas hasta 150 todo depende de la profundidad o tamaño

de la mina, también entra la maquinaria y la herramienta, en el frente de trabajo los mineros realizan la extracción de forma mecanizada en un 90% o manual en un 10% utilizando martillos neumáticos o picas, ellos perforan, arrancan y barrenan para poder acceder y extraer el mineral el tiempo de extracción por toneladas es de 2 horas, después de la extracción el mineral se transporta a la superficie en los coches o vagonetas las cuales normalmente tienen una capacidad para una tonelada o por medio de bandas transportadoras, hay que tener en cuenta que de acuerdo al método de explotación siempre existe como mínimo un 10% de carbón contaminado o sucio también aplica para los centros de acopio. Tal como se muestra en la siguiente Figura 8:

Figura 8. Proceso de extracción del mineral



Fuente. Elaboración propia 2020.

Posteriormente cuando el carbón está en la superficie es almacenado en tolvas con una capacidad aproximada de 200 toneladas, pero varía con respecto a la extensión de la mina, algunas minas adicionalmente cuentan con patio o acopio de capacidad para unas 5000 toneladas, la espera en tolvas puede ser entre un día o día y medio, cuando el carbón está almacenado en las tolvas este es cargado en volquetas sea sencilla de 10 toneladas, doble troque de 20 toneladas o tracto mula de 32 toneladas, estas transportan el mineral según el estudio realizado del 100% el 22.5% directamente al cliente desde la mina, el 22.5% al centro de acopio mediano y el 55% a centro de acopio grande. Anexo 1(caracterización del proceso de extracción)

En la fase de extracción del carbón en Boyacá se utilizan diferentes tipos de maquinaria y equipos los cuales se nombran a continuación:

Tabla 7. Maquinaria, equipos y herramientas de apoyo de extracción.

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS		MAQUINARIA	
Nombre	Descripción	Nombre	Descripción
Multidetector de gases 	Es un dispositivo que detecta la presencia de gas en el aire y emite señales de advertencia de luz y sonido a una determinada concentración.	Panzer 	Estructura metálica, transportador continuo muy resistente. El material se desliza sobre el canal impulsado por la placa vertical unida por la placa de la cadena, y es conducido a la superficie por el tractor con la ayuda del tambor.

Fuente: Elaboración propia 2020

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS		MAQUINARIA	
Nombre	Descripción	Nombre	Descripción
<p>Bomba para drenaje Subterráneo</p> 	<p>Bombas utilizadas para controlar y gestionar las aguas subterráneas, lo que permite el funcionamiento en condiciones relativamente secas y aumenta la eficiencia de los métodos de extracción.</p>	<p>Rozadoras</p> 	<p>La máquina rozadora es el equipo más utilizado en la construcción de túneles y galerías subterráneas, y su cabeza tiene las habilidades para romper los lugares más difíciles.</p>
<p>Martillo neumático</p> 	<p>El martillo neumático tiene un cuerpo de metal, que contiene el mango y el indicador del gatillo. Cuando se presiona el gatillo, el aire pasará y moverá el mecanismo, y cuando se presiona el puntero en la roca, el percutor comienza a funcionar.</p>		
<p>Pica minera</p> 	<p>Herramientas manuales utilizadas en la superficie de trabajo interior de las minas para cortar y extraer minerales.</p>	<p>Jumbo de perforación</p> 	<p>Su función principal es la perforación de los frentes de trabajo el cual realiza las respectivas tronadoras.</p>
<p>Vagoneta o coche</p> 	<p>Es el responsable de transportar minerales a la superficie a través del ferrocarril hasta la boca mina.</p>		

Fuente: Elaboración propia 2020.

4.1.2.2. Centros de acopio:

Un patio de acopio de carbón consiste en un área dentro del cual el carbón es sometido a procesos de clasificación, almacenamiento, beneficio, cargue y descargue de vehículos, este debe obedecer las necesidades de tipo económico y técnico.

Figura 9. Centro de acopio



Fuente: Recuperado de Caracterización de la red logística de le empresa Mineralex ubicada en el municipio de Paz del Rio – Boyacá. Copyright 2018 por Castillo. Disponible en <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2619>

Opera como depósito cuando la producción supera la demanda caso en el cual el carbón es acumulado por un largo periodo y cuando la demanda y oferta están equilibradas sirve como depósito temporal.

Considerando las escalas de producción de las minas de carbón que existen en Boyacá de tipo subterráneo los centros de acopio se han clasificado de la siguiente manera:

Los centros de acopio pequeños se caracterizan por manejar menos de 24.000 toneladas anuales de carbón, los centros de acopio medianos son aquellos que se puede almacenar entre 24.000 y 800.000 toneladas al año. Se caracteriza por ser patios transitorios para mercadeo y trasporte de largas distancias para el mercado regional, nacional y tipo exportación y los centros de acopio grandes son aquellos que cuentan con un gran volumen de almacenamiento con una capacidad mayor de 800.000 toneladas al año cuentan con la mejor tecnificación en cuanto a herramientas y maquinaria. Ver anexos 2. (Centros de acopio)

El proceso inicia con el pedido que realiza el cliente, es ahí cuando el administrador del centro de acopio revisa el pedido y verifica el stock disponible en la tolva de la mina.

En cuanto la mina está en disposición de enviar el pedido al cliente, se hace la revisión de los vehículos disponibles normalmente puede haber entre 5 a 7 vehículos al día por mina para llevar la orden, Generalmente el carbón en Boyacá es transportado desde boca mina en volquetas de 10 ton, doble troques de 20 ton y tracto mulas de 32 ton (Mejía, 2005), a las que se les realizan las siguientes inspecciones. Anexo 3 (formatos de inspección de vehículos).

El manejo que se le da al carbón mineral en los centros de acopio inicia cuando el vehículo de carga llega al patio, este debe pasar primero por la báscula que indica la cantidad de toneladas de carbón haciendo la diferencia con el peso del carro, el conductor del vehículo debe entregar un recibo el cual describe el tipo de carbón, procedencia del mineral, hora y fecha de entrega, hay un software que toma los datos del pesaje del vehículo, las placas, tipo de mineral entre otros que es indispensable a la hora de generar la facturación.

Luego se realiza una prueba del porcentaje de cenizas al mineral por medio del instrumento llamado ash probé antes de descargar, a fin de saber la ubicación para el carbón dentro del patio.

Después de esta prueba se descarga el mineral en el lugar indicado, finalizando el descargue se toma una muestra que es llevada al cuarto de preparación donde se muele, tamiza, pesa y prepara, luego es llevada al laboratorio donde se le hace un respectivo análisis de calidad para determinar el porcentaje de cenizas, materias volátiles, factor de hinchamiento, humedad, poder calorífico, carbono fijo, azufre, petrografía, macérales y plasticidad, usando instrumentos como mufla, balanza, sulfuro metro y otros, seguidamente se diligencia una ficha técnica anexo 4 (Ficha técnica del carbón) donde se especifican los resultados del laboratorio, el carbón puede durar hasta 1 mes en el centro de acopio mientras se completa el viaje para el cliente.

En caso que haya transformación, anexo 5 (Hornos para coque) y dependiendo el requerimiento granulométrico por el cliente el mineral se transporta en tolvas hasta una trituradora donde se saca al grosor requerido por el cliente.

Figura 10. Carbón triturado con grosor específico



Fuente: Autoría propia 2020.

Después de este proceso se realiza el cargue del mineral, en los vehículos se evidencia en su mayoría la utilización del cargador frontal, el sistema de descargue se realiza directo y en el sistema de apilamiento se realiza en un 91% con cargador frontal.

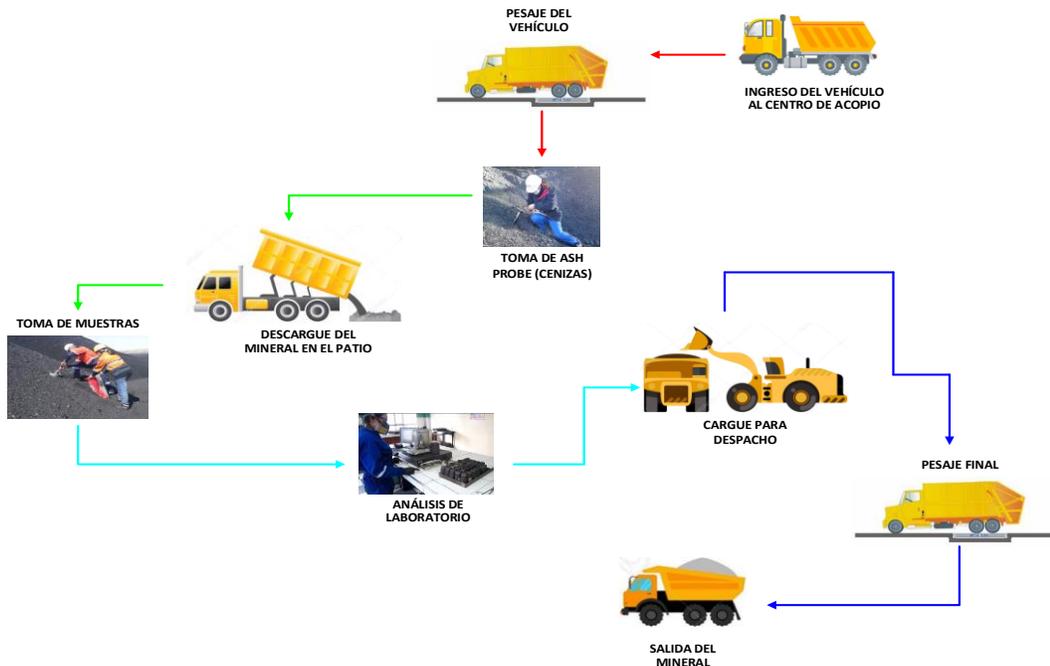
Figura 11. Cargue del mineral



Fuente: Elaboración propia 2020.

Para entregar el respectivo pedido, se hace el tiquete del pesaje de la carga y se le da la salida al vehículo para entregar el producto al cliente. Anexos 6 (Caracterización del proceso en el centro de acopio). Toda la información plasmada anteriormente se obtuvo por medio de las entrevistas realizadas, puesto que por las restricciones existentes por pandemia covid-19 no fue posible la visita presencial a los centros de acopio, pero se logró entrevistar a 31 centros de acopio de los cuales 21 eran independientes y 10 eran en la mina.

Figura 12. Proceso en el centro de acopio



Fuente. Elaboración propia 2020.

En el proceso del centro de acopio del carbón en Boyacá se utilizan diferentes tipos de maquinaria y equipos los cuales se nombran a continuación:

Tabla 8. Equipos de apoyo centro de acopio.

EQUIPOS		MAQUINARIA	
Nombre	Descripción	Nombre	Descripción
ash probé	Elemento electrónico con sensores Para realizar pruebas físico químicas del carbón.	Volqueta doble troque	Vehículo capacitado para cargas pesadas y extensas jornadas de carga.

EQUIPOS		MAQUINARIA	
Nombre	Descripción	Nombre	Descripción
<p>Balanza electrónica</p> 	<p>Este equipo se encarga de realizar el pesaje del mineral para las pruebas de laboratorio.</p>	<p>Tracto mulas</p> 	<p>Vehículo para transporte comercial, con capacidad de carga voluminosa y extensa con fuerza de motor para desplazamientos largos y varios ejes.</p>
<p>Mufla electrónica</p> 	<p>Utilizada para calcinamiento de sustancias, secado de sustancias, derretimiento y procesos de control, alcanza temperaturas de 1100°C a 1200°C.</p>	<p>Cargador</p> 	<p>Esta maquinaria es utilizada para el cargue y retiro del mineral.</p>
<p>Bascula</p> 	<p>Las basculas se encargan de controlar el peso la carga en los vehículos.</p>	<p>Pala excavadora</p> 	<p>Es una maquina sobre gomas u gusanos capaz de girar 360° esta excava, carga, eleva, gira y descarga materiales.</p>

Fuente: Elaboración propia 2020.

4.1.2.3. Cliente

La comercialización del carbón mineral ha sido un auge en el mercado regional, nacional e internacional ya que, por sus propiedades específicas, este mineral ha sido apetecido en muchas áreas de la industria.

Son muchas las empresas que compran y consumen como también están aquellas que compran transforman y comercializan, pero hay que tener en cuenta que el carbón se deriva en diferentes tipos unos más comercializables que otros lo cual nos lleva al cliente que, al momento de comprar carbón, no sólo pide por cantidad de toneladas, sino que este debe cumplir con unas especificaciones técnicas como por ejemplo cenizas, azufre, humedad, materia volátil, y otros. Es decir, lo que vende una empresa carbonífera no solo en cantidad sino la calidad del mineral, los contratos que se fijan entre el proveedor y el cliente contiene cláusulas de bonos y castigos (multas), que consisten en un intervalo tolerable bajo el cual se acepta la calidad del carbón, pero si en caso contrario y se encuentra por debajo, se pagara por un precio menor y en caso de superar la calidad exigida se obtiene además del precio acordado un dinero extra. Parejo, J. (2018).

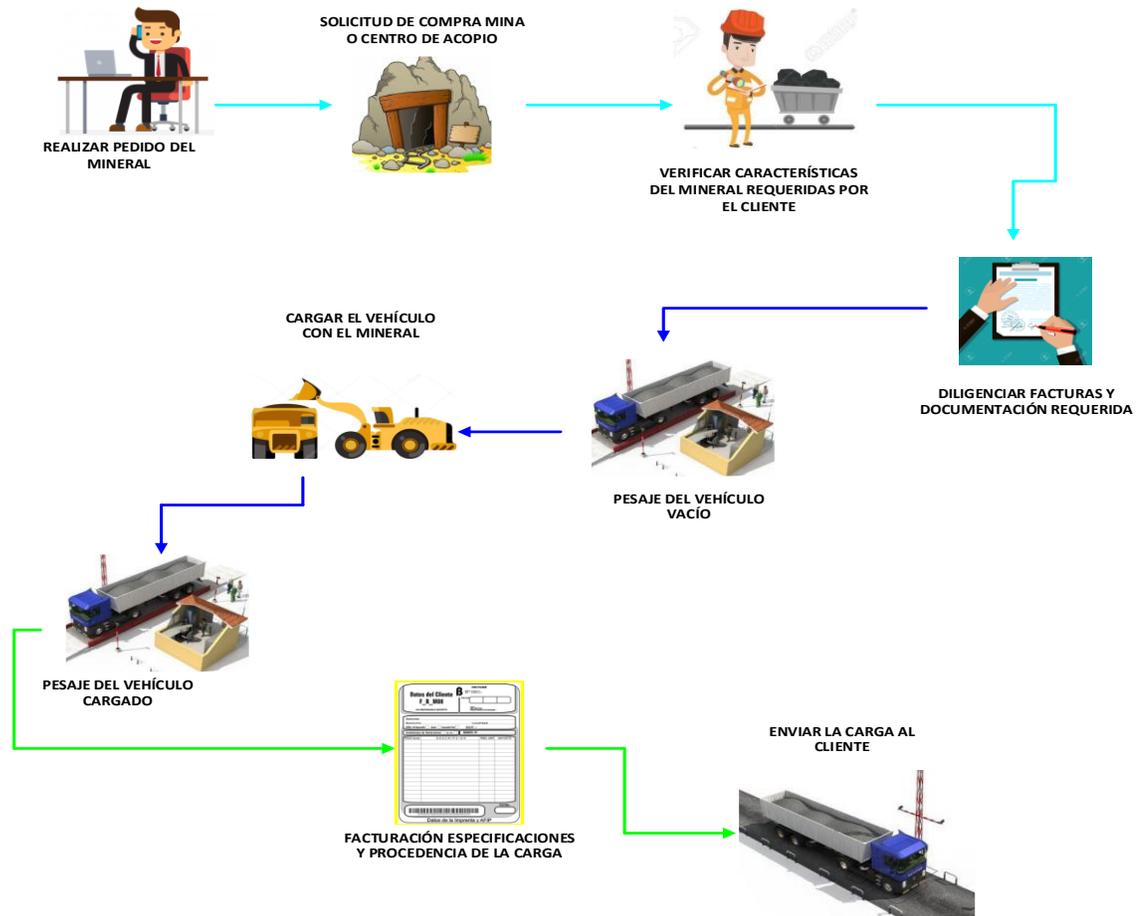
Es válido afirmar que la calidad es importante en el negocio minero, pues de nada sirve extraer toneladas de carbón si no le podemos cumplir al cliente con las especificaciones que nos solicita, y que en el peor de los casos pueden hasta devolver el envío, normalmente existe una tasa de devoluciones aproximada del 8%, tales devoluciones se presentan por calidad o por cantidad en este caso el cliente no recibe el viaje, lo que se traduce en una cuantiosa pérdida de dinero.

Los despachos de carbón deben seguir un riguroso proceso para poder cumplir con las demandas del cliente, en este caso para el proyecto se obtuvieron 18 clientes en total hay que tener en cuenta que los clientes de las minas y los centros de acopio, son empresas grandes y compran en varias minas y centros de acopio, lo

que quiere decir que las 40 minas estudiadas proveen de mineral a los 18 clientes en su mayoría.

El proceso de despacho según las entrevistas realizadas se ejecuta muy similar para todos los casos, este inicia cuando se efectúa el pedido sea a la mina o al centro de acopio, es entonces cuando se debe verificar las características establecidas por el cliente en el carbón separado para él envío, cuando cumple con las especificaciones de la venta se procede a realizar facturas y documentación asociado al despacho y transporte del carbón luego se programa y asigna personal, equipos y medio de transporte para el cargue y distribución, volquetas de 10 toneladas, 20 toneladas y tracto mulas de 32 toneladas, procediendo a realizar el pesaje del vehículo vacío luego se carga y se vuelve a pesar en cada paso del pesaje se realiza un registro que certifica la cantidad exacta de carbón que se va a entregar al cliente, finalizando el proceso de despacho se envía en el viaje la facturación y una guía que detalla el tipo de carga y sus especificaciones, su procedencia, cantidad o peso, y su destino. Ver Ilustración y anexo 7. (Caracterización del proceso de despacho del mineral), para el estudio realizado se estimó un consumo interno de 640.867 toneladas y un consumo externo de 815.649 toneladas anuales, datos hallados por medio de información suministrada por la Agencia Nacional de Minería y el porcentaje de clientes del proyecto.

Figura 13. Proceso de despacho



Fuente: Elaboración propia 2020.

4.1.3. GEORREFERENCIACIÓN

Las zonas estratégicas de estudio se ubican al norte, centro y oriente del departamento de Boyacá donde se identifican aglomeraciones de minas o puntos de extracción de carbón y centros de acopio.

Las empresas que hacen parte del estudio por la zona norte se identifican en los municipios de Socha, Paz de río, Socotá y Jericó. Por la zona centro en los municipios de Samacá, Tunja y Ráquira, y finalmente por la zona oriente con los municipios de Nobsa, Sogamoso, Corrales, Topaga, Beteitiva, Boavita y Morca,

información suministrada a través del cámara de comercio de Tunja, Duitama y Sogamoso.

A continuación, se indican las minas, tipo de mineral extraído, centro donde acopian el carbón y el cliente ya sea regional, nacional o puertos para exportación, la información presentada a continuación se recolecto por medio de una entrevista anexo 8, que contestaron los representantes legales de las empresas participantes. Inicialmente se obtuvo la información de las bases de datos de Tunja, Sogamoso y Duitama, de todas las minas del sector con esta información se procedió a verificar el estado actual de cada mina si estaba activa o inactiva por medio del RUES (registro único empresarial), al final se clasifico una población de 248 minas por las tres zonas y se inició a entrevistar cada una de ellas vía telefónica puesto que por cuestiones de pandemia y seguridad no fue posible el acceso directo a minas y centros de acopio, de toda la población se obtuvo respuesta de 40 minas y 31 centro de acopio de los cuales 10 eran en la mina verificados a continuación Ver tabla 7, tabla 8 y tabla 9.

Tabla 9. Aglomeración Zona Norte

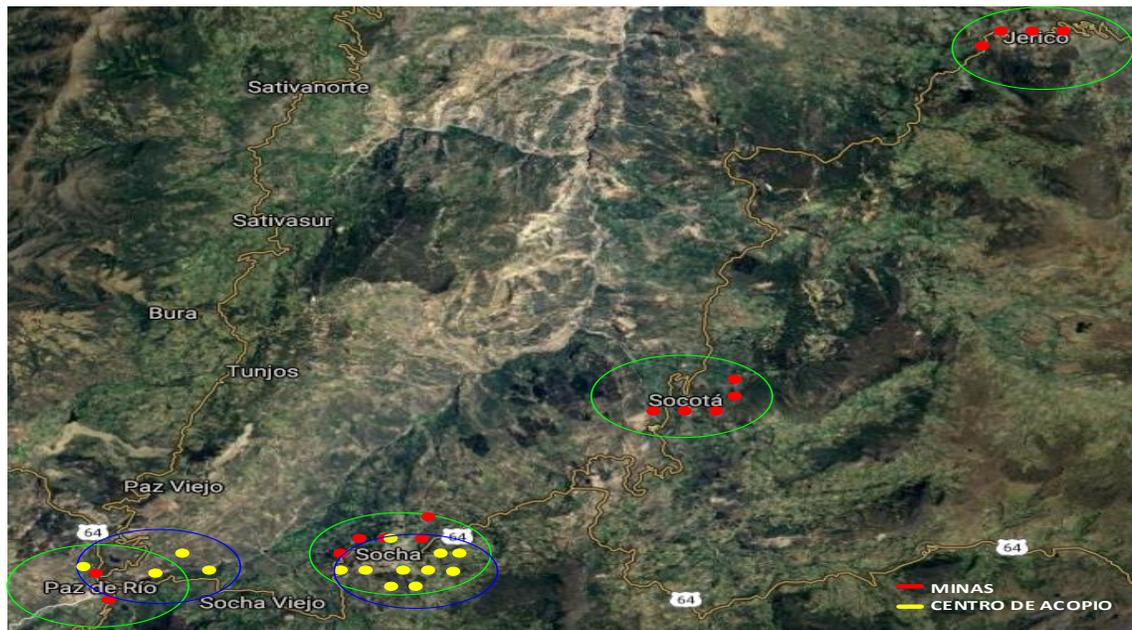
Zona	Minas	Tipo de mineral	Centros de acopio	Clientes
Norte	Mina junquitos(Socha)	Bajo volátil	Coquecol (paz de rio)	Puertos de la guajira, barranquilla y buenaventura (Coquecol)
	Monperiman limitada (paz del rio)	Alto volátil	chircales (paz de rio)	Puerto mamonal s.a. Cartagena (bulktrading)
	Minerales pan de azúcar sociedad por acciones simplificada (Jericó)	Bajo y medio volátil	Mineralex Ltda. (paz de rio)	Paz del rio, sociedad portuaria integral de Colombia s.a. –sodintec s.a. (milpa)

Fuente: Elaboración propia 2020.

Zona	Minas	Tipo de mineral	Centros de acopio	Clientes
Norte	Minas chapinero sociedad por acciones simplificada (Socotá)	Bajo y medio volátil	Ocean coal s a s (Socha)	Sociedad portuaria integral de Colombia s.a. –sodintec s.a. (milpa)
	La trinidad - carbones san Lorenzo S.A.S. (Jericó)	Alto volátil	Santa teresa (Socha)	Acerías paz del rio, Sociedad portuaria integral de Colombia s.a. –sodintec s.a. (milpa), Puerto de buenaventura, barranquilla y Cartagena (carbones andinos)
	Carbones especiales de Jericó carboesj sociedad por acciones simplificada (Jericó)	Medio volátil	Milpa (Socha)	Sociedad portuaria integral de Colombia s.a. –sodintec s.a. (milpa)
	Carbones ayc S.A.S.(Jericó)	Bajo y medio volátil	Inducab S.A.S. (Socha)	Cementos argos
	Carbozarzal sociedad por acciones simplificada (Socha)	Térmico	En la min	Sociedad portuaria integral de Colombia s.a. –sodintec s.a. (milpa), Sochagota, Puerto de mamonal s.a. Cartagena (bulktrading)
	Minas m&m41 sociedad por acciones simplificada (Socotá)	Bajo volátil	Milpa, Coquecol, ocean Coal	Acerías paz del rio,
	Cerrecarbones S.A.S. (Socha)	Bajo volátil	Coquecol, colbrazil, Inducab S.A.S.	Puertos de la guajira, barranquilla y buenaventura (Coquecol),
	Minas el tablón S.A.S. (Socotá)	Medio volátil	Milpa	Sociedad portuaria integral de Colombia s.a. –sodintec s.a. (milpa)
	Sociedad minera el higuieron S.A.S. (Socha)	Bajo volátil	Paz del rio, Coquecol, milpa	Acerías paz del rio, puerto de mamonal s.a. Cartagena (bulktrading)
	Mina marrubial S.A.S. (Socotá)	Bajo volátil	En la mina	Cierra blanca
	Mina bello horizonte sociedad por acciones simplificada (Socotá)	Bajo volátil	Milpa	Sociedad portuaria integral de Colombia s.a. –sodintec s.a. (milpa)
	Compañía de mineros colombianos limitada (paz del rio)	Hulla	Colcoal (Socha)	Inversiones col Coal S.A.S., (Cundinamarca)
	G & g minería S.A.S. (Socha)	Alto volátil	Bulltrain	Puerto de mamonal s.a. (bulktrading)

Fuente: Elaboración propia 2020.

Figura 14. Aglomeración Zona Norte



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps 2020.

En esta imagen se pueden apreciar las minas y los centros de acopio de la zona norte de Boyacá, la circunferencia de color verde con puntuación rojo son las minas ubicadas en Jericó, Socotá, Socha y Paz de Río, La circunferencia azul con puntuación amarillo son los centros de acopio denotando aglomeración en Socha y Paz de río.

Tabla 10. Aglomeración Zona Centro

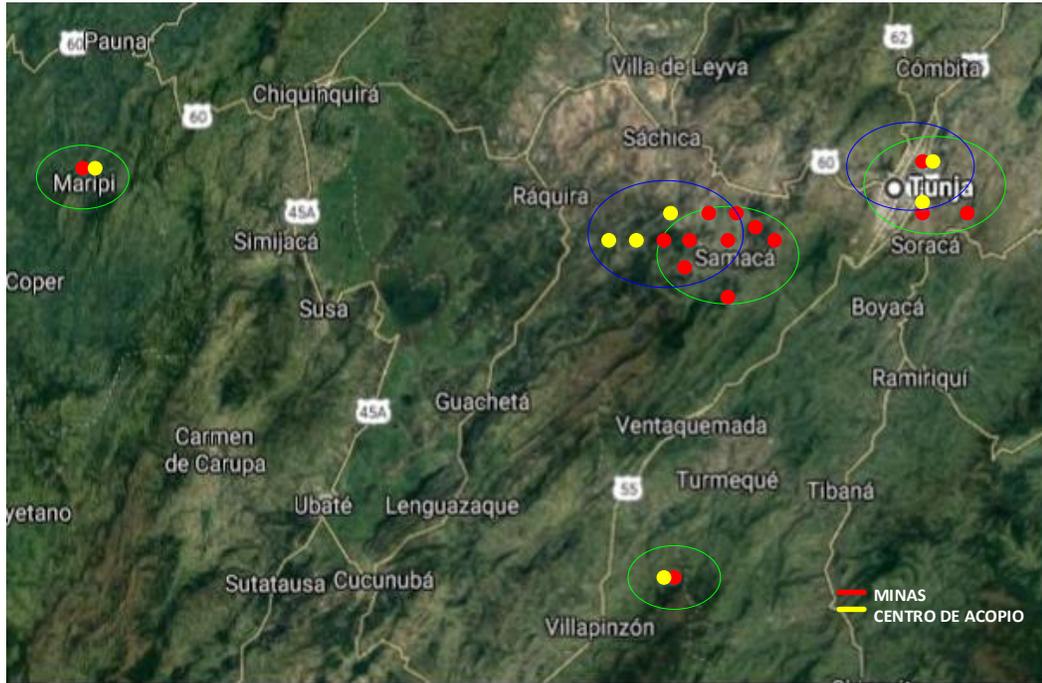
Zona	Minas	Tipo mineral	de	Centros de acopio	Clientes
Centro	Colombiana de minerales S.A.S. (Tunja)	Hulla		En la mina	Acerías paz del río, puerto de santa y Barrancabermeja (trafigura)

Fuente: Elaboración propia 2020.

Zona	Minas	Tipo de mineral	Centros de acopio	clientes
Centro	Carbones el progreso Samacá S.A.S. (Samacá)	Medio volátil	Milpa	Puerto de buenaventura, barranquilla y Cartagena (carbones andinos)
	Minas el desierto S.A.S. (Samacá)	Medio volátil	Compostela, Coquecol	Puertos de la guajira, barranquilla y buenaventura (Coquecol)
	Carboneras y coque el mortino S.A.S. (Tunja)	Medio volátil	Milpa	Sociedad portuaria integral de Colombia s.a. –sodintec s.a. (milpa)
	Inversiones la pena salamanca S.A.S. (Samacá)	Alto volátil	Milpa	Sociedad portuaria integral de Colombia s.a. –sodintec s.a. (milpa)
	Campo hermoso - la senda S.A.S. (Samacá)	Hulla	Milpa	Coacprocol Ltda. (Bogotá), Sociedad portuaria integral de Colombia s.a. –sodintec s.a. (milpa) MILPA
	Carmil asociados S.A.S. (Samacá)	Bajo volátil	Milpa	Sociedad portuaria integral de Colombia s.a. –sodintec s.a. (milpa), Puerto de buenaventura, barranquilla y Cartagena (carbones andinos), francoal S.A.S.
	Ayg coquizables S.A.S. (Tunja)	Bajo volátil	Paz del rio	Paz del rio
	Inversiones pantanitos S.A.S. (Samacá)	Bajo volátil	Milpa	Sociedad portuaria integral de Colombia s.a. –sodintec s.a. (milpa)
	Comercializadora productora de carbones el sol S.A.S. (Umbita)	Térmico	En la mina	Coacprocol Ltda. (Bogotá)
	Carindecol S.A.S. (Samacá)	Bajo volátil	Milpa	Sociedad portuaria integral de Colombia s.a. –sodintec s.a. (milpa)

Fuente: Elaboración propia 2020.

Figura 15. Aglomeración Zona Centro



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps 2020.

La imagen muestra las aglomeraciones de minas y centro de acopio de la zona centro de Boyacá, la circunferencia verde con puntuación roja son las minas, la circunferencia azul con puntuación amarilla son los centros de acopio. Se identifica que las zonas de estudio fueron Tunja, Samacá, Maripi y Umbita y que adicionalmente los centros de acopio se encuentran ubicados en las minas solo Samacá y una mina de tuja tienen los centros de acopios aparte de la mina.

Tabla 11. Aglomeración Zona Oriente.

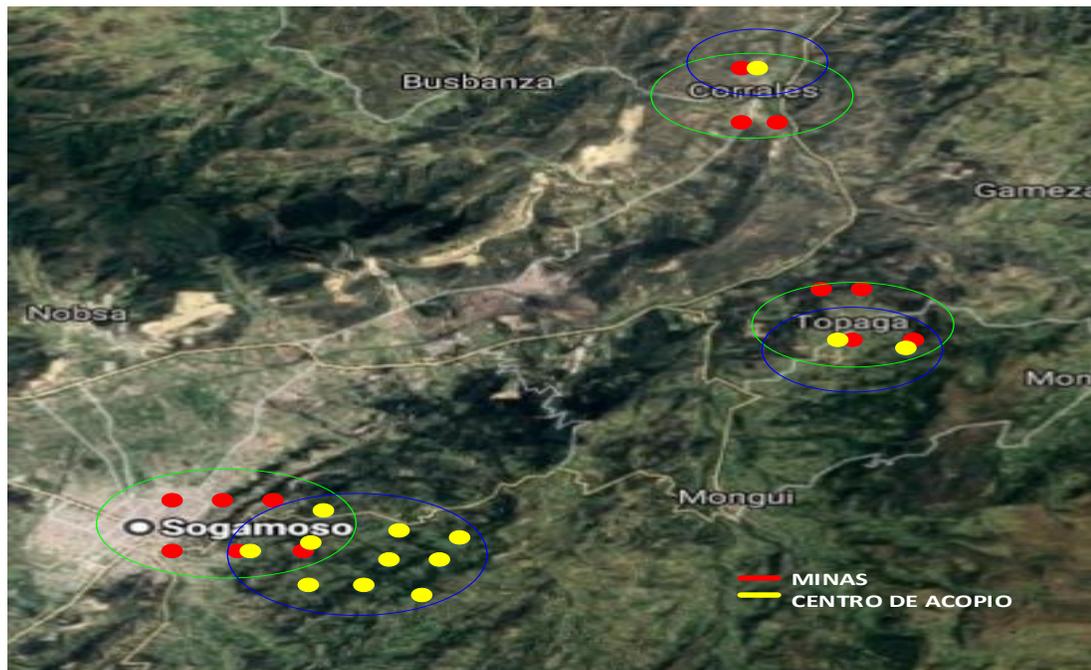
Zona	Minas	Tipo de mineral	Centros de acopio	Clientes
Oriente	Carboneras califonia dos S.A. (Topaga)	Carbón mineral térmico	En la mina	Termo Paipa, Cementos argos

Fuente: Elaboración propia 2020.

Zona	Minas	Tipo mineral	Centro de acopio	Clientes
Oriente	La esmeralda 1 y santa Isabel	Carbón térmico	Carbominerales saloma Ltda. (Sogamoso)	Ladrillera Meléndez (Santander de Quilichao), Cementos Holcim, Termo Sochagota, Termozipa
	Carbones termo-industriales Angarita S.A.S. (Beteitiva y Sogamoso)	Carbón térmico	Antonio López (Sogamoso)	Termo Paipa, Cementos argos
	Minas el proyecto (Topaga)	Carbón térmico	Mineros y minerales de Boyacá S.A.S.	Termo Paipa
	Minerales e y j S.A.S. (Topaga)	Carbón térmico	Carbones el rosal S.A.	Cementos argos, Cementos Holcim
	Carbones el volcán S.A.S. (Topaga)	Carbón térmico	En la mina	Gensa, Puerto de santa marta y Barrancabermeja (trafigura)
	Carbominerales Chicamocha S.A.S. (Sogamoso)	Carbón semiantracita	En la mina	Diacó, Cidenal
	Soluciones topográficas mineras y geológicas S.A.S. (Sogamoso)	Carbón metalúrgico bajo	En la mina	Puerto de la guajira, barranquilla y buenaventura (Coquecol)
	Minexcom S.A.S. (empresa). Mina la Buga Mina el espino (corrales)	Carbón térmico	En la mina	Termo Paipa
	Minerales industriales de los andes (morca y Sogamoso)	Carbón térmico	Minerales y servicios sol san José del provenir	Gensa, Cementos del oriente
	Carbones san pedro Ltda. (corrales)	Carbón térmico	En la mina	Termo Paipa
	Minercondor S.A.S. (Sogamoso)	Carbón térmico	Planterra de trafigura	Carbosan (santa marta), Propal S.A.S., Termozipa
Proyecto colectivo de mineros reyes patria Ltda. (corrales)	Carbón térmico	Solucarbones feliz	Termo Paipa, Cementos argos, Propal S.A.S.	

Fuente: Elaboración propia 2020.

Figura 16. Aglomeración Zona Oriente



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps 2020.

La figura muestra las minas y centros de acopio de la zona oriente de Boyacá, aglomeraciones en Sogamoso, Corrales y Topaga identificando la circunferencia verde con puntuación roja como las minas y la circunferencia azul con puntuación amarillo como los patios de acopio visualizando que el mayor embotellamiento de centros de acopio se ubica en Sogamoso.

Enfatizando un poco más en los clientes, el departamento de Boyacá comercializa el carbón mineral a empresas regionales, nacionales y para exportación, los cuales están ubicados en sectores estratégicos que permiten una conexión rápida entre el cliente y el proveedor. La figura 17 indica la localización de los clientes en Boyacá y de igual manera se mencionan los clientes que se encuentran a nivel nacional.

Figura 17. Clientes de Boyacá



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps 2020.

La figura muestra con circunferencias azules la ubicación de los clientes de carbón obtenido de la muestra tomada para Boyacá o regional, 8 en total, como Cementos Argos, Cementos Holcim, Termo Sochagota, Termo Paipa, Diaco, Paz de Rio, Gensa y Cementos del Oriente. Adicionalmente tenemos clientes nacionales que solo nombraremos, 4 en total como Termozipa, Propal S.A., Ladrillera Meléndez (Santander de Quilichao), Coacprocol Ltda. (Bogotá) y para exportación, 6 en total enviado por las siguientes empresas Trafigura para Puerto de Santa Marta y Barrancabermeja, Coquecol para Puertos de la Guajira, Barranquilla y Buenaventura, Milpa para Sociedad portuaria Integral de Colombia s.a. –Sodintec s.a., Carbones Andinos para Puerto de Buenaventura y Cartagena, Bulktrading para puerto Mamonal s.a. Cartagena y Carbosan para Santa Marta.

El carbón para clientes regionales y nacionales en un 98% es térmico y el carbón para exportación según los datos obtenidos por las entrevistas es metalúrgico en un 100%.

4.1.4. DEMANDA

El departamento de Boyacá se destaca por la alta demanda industrial de carbón tipo térmico y metalúrgico, en cuanto al térmico tiene un alto mercado para cementeras, ladrilleras y termoeléctricas, y el metalúrgico para tipo exportación, los principales consumidores de carbón en la región Boyacense son Acerías Paz del Río y Gensa, los muy pequeños productores de carbón, venden casi toda su producción a comercializadores, salvo ventas esporádicas a grandes consumidores que se logran en casos de muy alta calidad.

Los pequeños productores del carbón lo venden a medianos y grandes clientes regionales, a diferencia de los pequeños, los medianos productores cuentan con centros de acopio y añaden valor al separar y preparar mezclas adaptadas a las características específicas requeridas por el cliente. Sus clientes suelen ser grandes consumidores y en ciertos casos exportan el mineral directamente, algunos productores medianos prefieren unir su fuerza de producción y financiación para trabajar en la sociedad. (UPME 2016).

Las principales Comercializadoras son Mineralex (empresa tanto productora y compradora de carbón, que tiene contratos con grandes consumidores de la región) y MILPA (comercializadora internacional con énfasis en carbón metalúrgico). Estas comercializadoras extienden financiación a los mineros pequeños. Empresas grandes como Acerías Paz de Río, MILPA, Coquecol, o Carbocoque Interamericana además de explotar sus minas, tienen negocio de comercialización y exportación. Las exportaciones de carbón Coquizable, se realizan a través del puerto de Buenaventura utilizando la vía Boyacá-Tunja –Bogotá, Ibagué Buenaventura, y la

parte restante a través de puerto de Barranquilla utilizando la ruta Boyacá-Tunja – Barbosa-Bucaramanga-Barranquilla, (Consortio Sergeing, 2016).

4.1.5. OFERTA

El departamento de Boyacá, Según la Agencia Nacional de Minería ANM tiene reservas medidas que ascienden a 170.4 millones de toneladas de carbón, para el 2019 Boyacá tuvo una producción de 1.456.516,72 toneladas de carbón un 33% menos que el año anterior que su producción fue de 2.177.190,34, una histórica caída vivió el departamento, este no fue un fenómeno exclusivo de Boyacá, pues la extracción de carbón se vio reducida en todo el país, (MINMINAS,2019).

4.2. DISEÑO DEL DIAGRAMA FORRESTER Y CAUSAL

Se presenta el desarrollo de la metodología dinámica de sistemas con el diseño de diagrama Forrester y causal.

4.2.1. DIAGRAMA FORRESTER

El diagrama Forrester realiza una representación dinámica y grafica que ayuda a comprender los diferentes sistemas complejos como se muestra a continuación.

Ecuaciones de los niveles del modelo

Para el caso de estudio es necesario establecer ecuaciones matematicas que permitan la ejecucion de la simulacion.

Formula 2: Mineral en la mina.

$$Minas\ Boyaca = \int_{t_0}^t -(Extraccion)dt + MinasBoyaca(0)$$

En esta ecuacion podemos identificar la integral de todas las minas del estudio realizado -(extraccion) significa que no se a empezado a extraer mineral.

Formula 3: Espera del mineral en tolvas.

$$\int_{t_0}^t (\mathbf{Extraccion} - \mathbf{Cargue}) dt + \mathbf{Espera en tolvas(0)}$$

En esta ecuacion se evidencia que la espera en tolvas se produce con la extraccion menos el cargue lo que significa que el mineral no se a cargado y esta en stand by.

Formula 4: Mineral cargado.

$$\int_{t_0}^t (\mathbf{Cargue} - (\mathbf{Viaje directo} + \mathbf{Viaje G} + \mathbf{Viaje M})) dt + \mathbf{Mineral cargado(0)}$$

En esta ecuacion se identifica que el mineral cargado puede realizar viaje directo al cliente, viaje al acentro de acopio grande (*Viaje G*), o al centro de acopio mediano (*Viaje M*), no se toma en cuenta centro de acopio pequeño porque en el estudio realizado las empresas como minimo, su centro de acopio era mediano lo cual no se vio necesario incluir en el modelo un centro de acopio pequeño.

Formula 5: Centros de acopio grandes.

$$\int_{t_0}^t (\mathbf{Viaje G} - \mathbf{Salida G}) dt + \mathbf{Centros de acopio grandes(0)}$$

En esta ecuacion se realiza viaje a centro de acopio grande.

Formula 6: Centros de acopio medianos.

$$\int_{t_0}^t (\mathbf{Viaje M} - \mathbf{Salida M}) dt + \mathbf{Centros de acopio medianos(0)}$$

En esta ecuacion se realiza viaje a centro de acopio mediano.

Formula 7: Entregas 1.

$$\int_{t_0}^t (\mathbf{Viaje\ directo})dt + \mathbf{Entregas\ 1(0)}$$

Esta ecuación muestra un viaje directo de la mina al cliente referenciado con entregas 1 en el modelo.

Formula 8: Entregas 2.

$$\int_{t_0}^t (\mathbf{ViajeF2})dt + \mathbf{Entregas\ 2(0)}$$

Esta ecuación muestra viaje final 2 (*ViajeF2*) desde centro de acopio sea mediano o grande al cliente referenciado como entregas 2.

Formula 9: Entregas 3.

$$\int_{t_0}^t (\mathbf{ViajeF3})dt + \mathbf{Entregas\ 3(0)}$$

Esta ecuación muestra viaje final 3 (*ViajeF3*), desde centro de acopio sea mediano o grande al cliente, referenciado como entregas 3.

Cada una de estas ecuaciones está formada o definida por una integral que va desde tiempo inicial (t_0) hasta el tiempo final que en este caso serían 5 años, trayectoria que se planteó con el fin de analizar cómo se encontraría el sector carbonero al año 2024 por medio de la simulación, teniendo en cuenta que se realiza un paso de simulación diario, con datos obtenidos del año 2019 se proyectó el modelo, el año 2020 no se tuvo en cuenta por ser un año atípico por la pandemia mundial. Los datos en el modelo se plantaron diariamente lo que significa que la simulación se reproduce diariamente hasta que se cumpla el tiempo planteado del modelo, como es una simulación se vio verídico tomar una trayectoria de tiempo que refleje un periodo largo.

Como estructura esta primero la sumatoria de los flujos de entrada menos la sumatoria de los flujos de salida y finalmente se le suma el valor inicial del nivel es decir la cantidad que había en ese nivel antes de comenzar la simulación.

De acuerdo a la caracterización realizada por medio de la entrevista ver anexo 8, en los procesos de extracción centros de acopio y clientes se obtuvo la información necesaria que permite establecer las diferentes variables exógenas y endógenas para la construcción del modelo indicadas en la tabla 12 y tabla 13.

Tabla 12. Variables exógenas para el modelo

Variables exógenas	
Estas variables son exógenas o independientes porque son parámetros estimados a partir de expertos o por personas que trabajan en el medio, (constantes).	
Consumos: (pedidos por cliente interno y externo) 1.755 y 2.234 ton.	Porcentaje de carbón contaminado: (10% carbón sucio)
Tiempo de espera: (espera en tolva de mina) 1.5día	Volquetas disponibles: (total volquetas por las 40 empresas diarias) 280 volquetas diarias.
Capacidades: (10 toneladas, 20 toneladas, 32 tonelada)	Porcentaje directo: (porcentaje de carbón que sale para el cliente de la mina) 22.5%
Tiempo para completar buque: (tiempo para entrega a cliente) 60 días	Porcentaje M: (porcentaje de carbón para centro de acopio mediano) 22.5%
Porcentaje G: (porcentaje de carbón para centro de acopio grande) 55%	Capacidad máxima M: (capacidad centro de acopio mediano) 2.192 Ton.
Capacidad máxima G: (capacidad centro de acopio grande), 3.726Ton	Porcentaje aprobado: (carbón de calidad) 80%
Tiempo para completar viajes: (tiempo de espera en centro de acopio) 30 días	Precio de venta CT: (precio carbón térmico) \$ 140.000 ton.
Precio de venta CM: (precio carbón metalúrgico) \$ 210.000.	Costos operacionales CT: (costo carbón térmico) \$ 120.000 ton.
Costos operacionales CM: (costos carbón metalúrgico) \$ 220.000.	Tasa de devoluciones: (porcentaje de carbón devuelto) 8%
Tiempo extracción: (se tomó un día, pero por defecto pues. El tiempo de extracción es de 2 horas por tonelada)	

Fuente: Elaboración propia 2020.

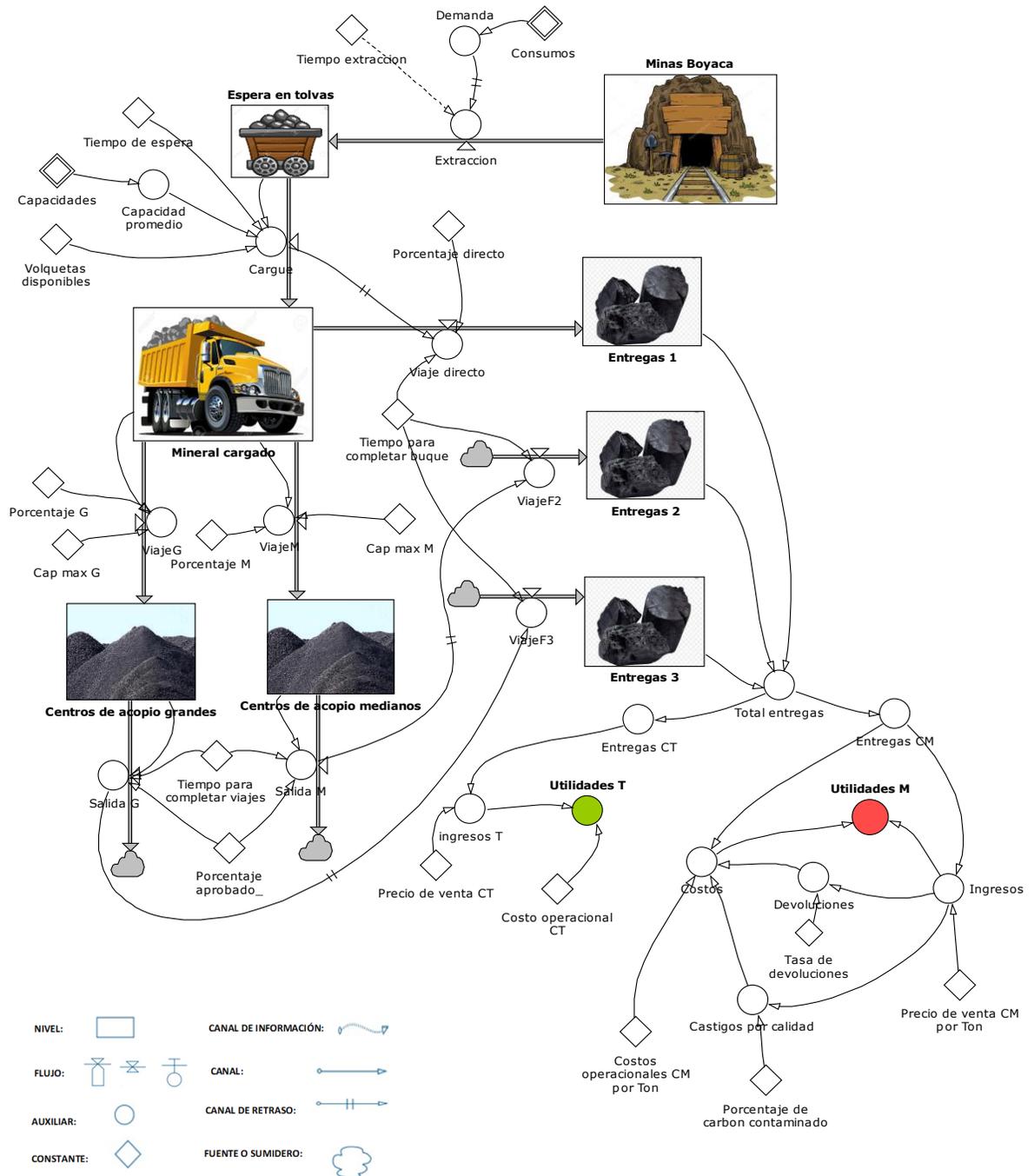
Tabla 13. Variables endógenas para el modelo

Variables endógenas	
Las variables endógenas o dependientes son calculadas con operaciones matemáticas a partir de otras variables, (auxiliares, flujos y niveles).	
Viaje m: (viaje a centro de acopio mediano)	Viaje g: (viaje a centro de acopio grande)
Viajef3: (viaje final 3 o entregas)	Viajef2: (viaje final 2 o entregas)
Viaje directo: (viaje directo al cliente o entrega 1)	Utilidades t: (utilidades carbón térmico)
Utilidades m: (utilidades carbón metalúrgico)	Total, entregas: (suma de las 3 entregas)
Salida g: (salida del carbón del centro de acopio grande)	Salida m: (salida del carbón del centro de acopio mediano)
Ingresos t: (carbón térmico)	Mineral cargado: (valor inicial cero)
Extracción: (tiempo y orden de salida del carbón de la mina a la tova)	Ingresos m: (carbón metalúrgico)
Entregas ct: (carbón térmico)	Espera en tolva: (tiempo de espera tiempo inicia cero)
Entregas 3: (entrega al cliente del centro de acopio grande tiempo inicial cero)	Entregas cm: (carbón metalúrgico)
Entregas 1: (entrega al cliente directamente de la mina tiempo inicial cero)	Entregas 2: (entrega al cliente del centro de acopio mediano tiempo inicial cero)
Demanda: (total consumo día)	Devoluciones: (perdidas)
Centros de acopio medianos: (carbón en toneladas en centro de acopio mediano)	Costos: (costos totales carbón metalúrgico)
Castigos por calidad: (pérdidas o descuentos)	Centros de acopio grandes: (carbón en toneladas en centro de acopio grande)
Capacidad promedio: (porcentaje del cargue en volquetas)	Cargue: (capacidad, tiempo de espera, total volquetas)
Minas Boyacá: (valor que tiende a infinito es un supuesto para que el carbón no se extinga) 100e+72tn.	

Fuente: Elaboración propia 2020.

De acuerdo a las variables nombradas anteriormente se modela el diagrama de Forrester en Powersim modelador dinámico.

Figura 18. Diagrama de Forrester



Fuente: Elaboración propia en Powersim 2020.

A partir del diagrama Forrester, Powersim muestra las ecuaciones del modelo donde están las variables con su simbología, las unidades y el valor tomado en la simulación. Ver anexo 9. (Tabla ecuaciones del modelo Powersim)

En los modelos de dinámica de sistemas se integra información de tipo cualitativo y cuantitativo.

Para el modelo realizado tenemos un horizonte a cinco años futuros, la información para la simulación se tomó del año 2019 puesto que haciendo una investigación por medio de la ANM (Agencia Nacional de Minería) el carbón ha tenido bajas en sus precios así como también en su producción por ejemplo en comparación el año 2019 produjo en toneladas un 33% menos que el año anterior lo que nos llevó a plasmar unos valores estables tomando solo la información del año 2019 para que no se viera una caída de la producción para los siguientes años, puesto que la economía del sector es variable y se puede llegar a presentar para los años que vienen del sector un aumento considerable de su producción y mejores precios, por esto se tomó la información del año 2019 y se proyectó hasta el año 2024, con paso de simulación diario quiere decir que se simula diariamente hasta cumplir el tiempo, cabe resaltar que se puede trazar un horizonte por el tiempo que se considere apropiado.

La unidad en el simulador para día es DA y para toneladas es TON estas unidades son propias de Powersim, en anexo 9 se evidencian las constates, auxiliares flujos y niveles con operaciones matemáticas donde se utilizaron las siguientes funciones para correr la simulación del modelo:

$(\text{MIN} ('Cap Max M'; 'Mineral cargado' * 1 \llcorner 1/da \gg)) * 'Porcentaje M'$

Esta función compara variables de entrada y elige el menor valor de estas. Tiene en cuenta la capacidad de carga y la disponibilidad del mineral existente así no va a tomar valores negativos por falta de mineral.

DELAYPPL (Demanda; 'Tiempo extraccion'; 0<<Ton/da>>)

Esta función se llama retardo de tubería simula que lo primero que extraen es lo primero que sale de la mina a la superficie, el retardo será de un día para la demanda con cero de valor inicial.

(DELAYMTR (Cargue; 'Tiempo para completar buque'; 1; 0<<Ton/da>>))
'Porcentaje directo'

Esta función se llama retardo de material en este no aplica primero en entrar primero en salir aquí se produce el cargue se toma un tiempo de entrega y hay un orden en este caso de orden 1 lo cual significa que la entrega se puede realizar desde el día 1 en adelante hasta el día máximo de entrega 60 días que sería el retardo.

Un ejemplo de retardo de material es una tina con agua, se abre la llave y la primera gota en entrar a la tina no será la prima en salir cuando se desagüe la tina por el sifón.

ARRAVERAGE (Capacidades)

Esta función se encarga de sacar los promedios entre varios valores en este caso sería el promedio de la capacidad de las volquetas.

ARRSUM (Consumos)

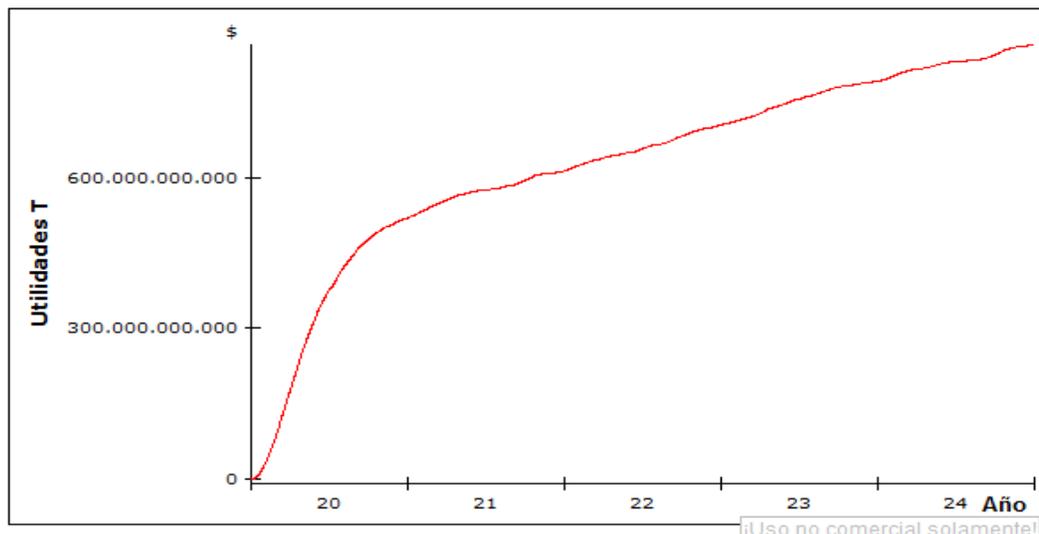
Esta función está sumando el consumo interno y el externo.

Ya las demás formulas son ecuaciones realizadas a partir de otras variables.

ESEENARIO BASE

A partir del modelo Forrester podemos apreciar el escenario base de la simulación para el Carbón metalúrgico y térmico.

Figura 19. Utilidades carbón térmico escenario base



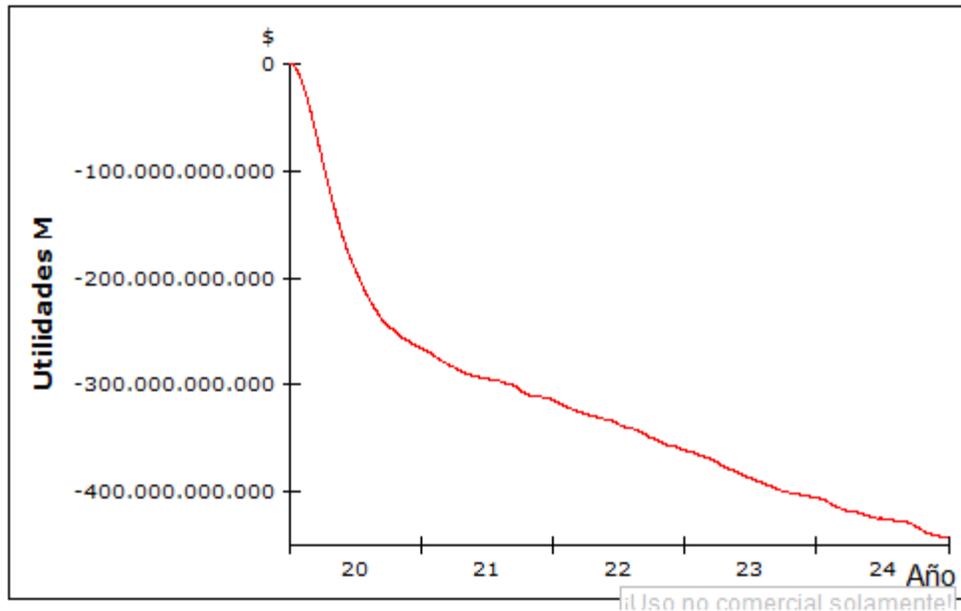
Fuente: Elaboración propia en Powersim 2020.

En este escenario podemos identificar en el eje horizontal los años en que se proyectó el análisis año 2020 hasta año 2024 y en el eje vertical se visualizan las utilidades ascendientes para la muestra realizada a 40 minas, pues los costos operativos son acordes con el precio de venta y aunque es un carbón utilizado todo lo más para consumo interno y regional no produce pérdidas y tiende a incrementar esto significa que el carbón térmico para el momento relativamente no está produciendo pérdidas a sus inversionistas.

Todo lo anterior puede pasar porque el carbón térmico no produce tantos costos, por ejemplo, hay minas donde el carbón sale directamente al cliente lo que significa que solo hay costos de extracción y de transporte ahorrando costos por centro de acopio, toma de muestras de centro de acopio, cargues, descargues y transporte.

También es cierto y pasa que de la mina se transporta a centros de acopio, pero estos siempre están cerca de la mina, ahorrando por recorridos cortos otro factor es que no se hace transformación el mineral se vende crudo.

Figura 20. Utilidades carbón metalúrgico escenario base

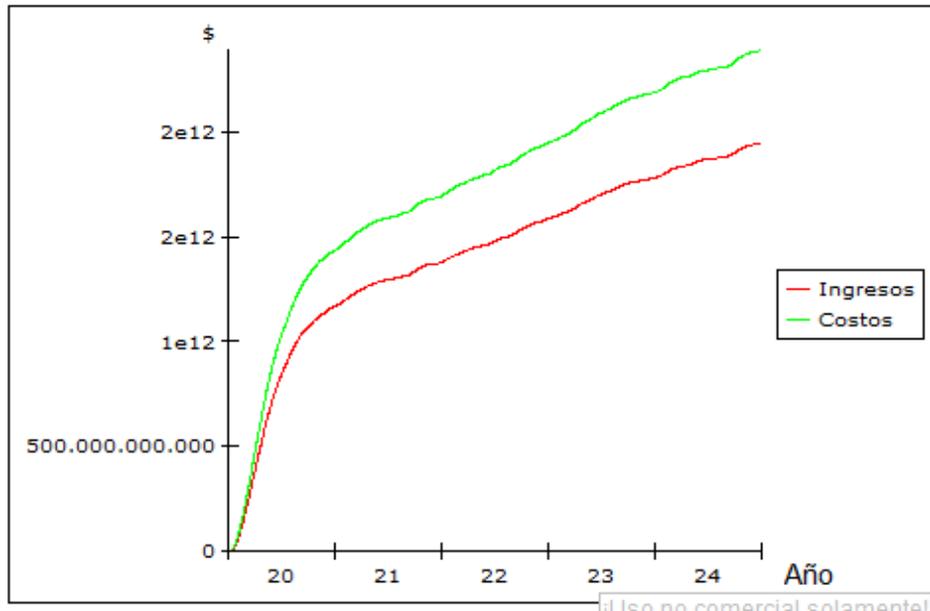


Fuente: Elaboración propia en Powersim 2020.

La figura 20, ciertamente no muestra utilidades con respecto al carbón metalúrgico por el contrario indica pérdidas considerables para el sector, desde el inicio se nota la caída a través del tiempo pues desde antes del año 2020 y hasta el año 2024 que sería la muestra, las utilidades descienden a proporciones grandes pues hay que tener en cuenta que para generar utilidades se debe tener un precio proporcional con la inversión y los costos.

Estas pérdidas se pueden presentar por varias razones una de ellas y por la que empezó a existir la disminución de precios es la incursión de energías amigables con el medio ambiente y por la explotación de carbón en otros países.

Figura 21. Ingresos y costos carbón metalúrgico escenario base



Fuente: Elaboración propia en Powersim 2020.

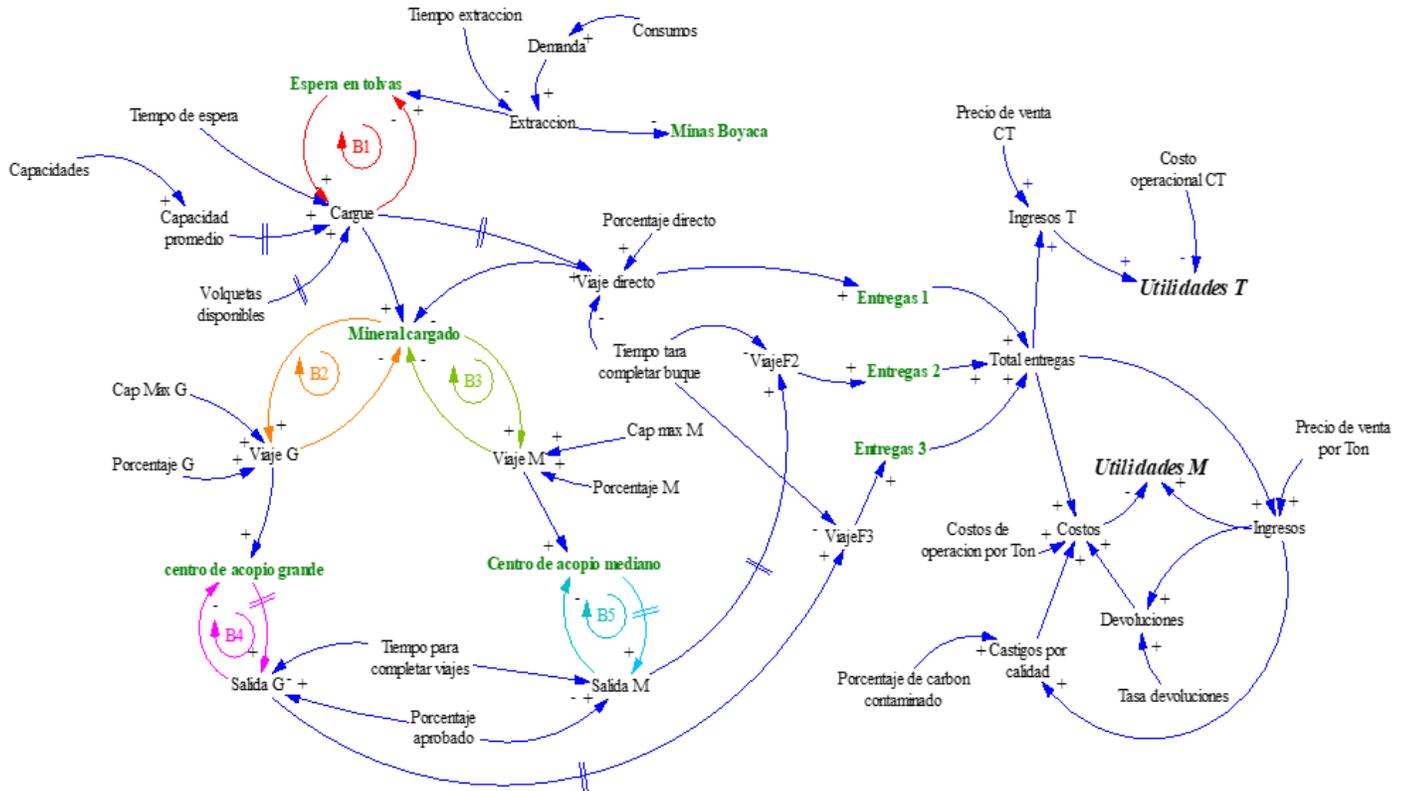
En la figura 21 claramente se ve que los ingresos están muy por debajo de los costos toda la separación entre las curvas de ingresos y costos son la pérdida relativa a través del tiempo.

pues se verifico que los costos eran mayores que el precio de venta lo cual indica que por muchas razones el carbón presenta una pérdida, los factores visibles en el modelo son los costos operativos elevados, adicional mente la tasa de devoluciones del 8% estas pueden ocurrir por cantidad por ejemplo se envía al cliente más de lo pedido o menos de lo pedido y el cliente simplemente no recibe el viaje o por calidad que no cumple con las especificaciones exigidas, otra pérdida ocurre por el porcentaje de carbón contaminado del 10%. Aunque el carbón metalúrgico es de tipo exportación tiene muchos costos a la hora de obtenerlo adicional mente esta la transformación para coque y otros que significan costos adicionales.

4.2.2. DIAGRAMA CAUSAL

A partir de las ecuaciones del diagrama de Forrester se determinó la polaridad de las relaciones causales que se muestran en el siguiente diagrama causal:

Figura 22. Diagrama causal



Fuente : Elaboración propia en Vensim 2020.

Lo que se puede apreciar en el diagrama causal y no en el Forrester son los ciclos, cuando en un causal no hay ciclos quiere decir que ese problema no tiene solución. En este caso como se puede apreciar en el diagrama hay cinco ciclos B1, B2, B3, B4, B5, lo que nos indica que es un problema que desde la dinámica de sistemas tiene solución, y esa solución está relacionada con los ciclos.

Existen dos tipos de ciclos el de balance y el de refuerzo, se identifica que los ciclos son de balance porque la multiplicación de los signos de las relaciones del ciclo da negativo por lo tanto es un ciclo que se balancea solo, en el modelo se identificaron como B los ciclos porque todos son de balance pues matemáticamente al multiplicar los signos da negativo quiere decir que hay una estabilidad o balance en las actividades o se puede controlar la cadena de suministro.

Caso contrario con los ciclos de refuerzo, estos crecen exponencialmente pues al ser positivos un comportamiento refuerza al otro y se vuelve complicado controlar el crecimiento, no quiere decir que sean ciclos malos en muchas ocasiones son muy provechosos los ciclos de refuerzo.

A continuación, se explica cada ciclo del modelo:

Ciclo B1 (rojo): A más cargue se espera una reducción del tiempo de espera en las tolvas, a más espera en tolvas más cargue y a más cargue menos espera en tolva. Aquí se ve un balance pues el cargue regula la espera y la espera no será infinita, sino que el cargue disminuye constantemente la espera.

Ciclo B2 (naranja): A más entrada de mineral o viajes al centro de acopio grande hay menos mineral cargado, a más mineral cargado más viajes o entregas de mineral a centro de acopio grande y a más viajes a centro de acopio grande i mineral cargado. Este ciclo esta balanceado por la capacidad del centro de acopio grande pues al haber suficientes viajes en el centro de acopio hay menos cargue de mineral a ese centro de acopio.

Ciclo B3 (verde): A más viaje en M menos mineral cargado a más mineral cargado más viajes en M y a más viajes en M menos mineral cargado. Este ciclo es igual al ciclo B2 pues se balancea por la capacidad del centro de acopio mediano.

Ciclo B4: (Rosado): A más toneladas de carbón en los centros de acopio grande más salida de carbón del centro de acopio G en ese canal hay un retardo lo cual se simboliza por esas dos rayitas en la flecha y esto se da porque la salida en G no ocurre inmediatamente, sino que toma un tiempo, a más salida de carbón del centro de acopio grande entonces menos carbón va a existir en el centro de acopio G. El balance del ciclo lo encontramos en las salidas de carbón del centro de acopio que no permiten que haya una acumulación del mineral.

Ciclo B5: (Azul): A más toneladas de carbón en los centros de acopio mediano más salida M, en este canal del ciclo hay dos rayas lo que significa que hay un retardo esto se genera porque la salida de M no sale inmediatamente sino se demora en salir, a más salida en M menos carbón le va a quedar al centro de acopio mediano. Es un balance similar al del ciclo B4.

4.3. DISEÑO Y ANÁLISIS DEL MODELO PROPUESTO

De acuerdo al diseño modelado en Forrester se encontró que el carbón metalúrgico está en pérdidas para el estudio realizado pues hay utilidades negativas por los costos operacionales de \$220.000 por tonelada de carbón y su precio de venta de \$210.000 por tonelada, es una caída significativa para el cual se proponen 2 políticas:

4.3.1. POLÍTICA 1

Implementar estrategias del modelo VRP (problema de enrutamiento o ruteo de vehículos), para disminuir costos. El VRP, data del año de 1959 y fue introducido por Dantzig y Ramser, quienes describieron una aplicación real de la entrega de gasolina a las estaciones de servicio y propusieron una formulación matemática. Después de cinco años, Clarke y Wright plantearon el primer algoritmo que resulto

ser muy efectivo para resolverlo. Es así como se dio comienzo a grandes investigaciones de los factores que afectan la distribución de un producto (Narducci, 2009).

Para disminuir costos en este proyecto no se realizó un modelo o plan VRP, se tomaron estrategias del mismo que ayudarían a disminuir costos de transporte para el carbón metalúrgico en un 22.5% es decir \$49.500 de \$220.000 que era su costo en el escenario base cambiando a \$170.000. Los costos son los que se generan al transportar el carbón desde la mina o centro de acopio hasta el cliente, el cual está asociado directamente con el transporte flota propia, tercerizar, entregas a tiempo, rutas más cortas, capacidades del vehículo entre otros.

El principal objetivo es encontrar la forma más adecuado para disminuir los costos y que el modelo refleje utilidades por tonelada de carbón vendido, para el modelo propuesto se establecen tres estrategias de reducción de costos las cuales se requieren sean implementadas en su totalidad para que las utilidades sean reflejadas de manera positiva en la simulación.

Estrategia 1.

Se hace una comparación del costo de trasladar una tonelada de carbón en transporte tipo flota propia y transporte tipo tercerizado.

Tabla 14. Comparación flota propia vs tercerizar desde mina a centro de acopio.

TIPO DE FLOTA	FLOTA PROPIA	TERCERIZAR
Tipo de vehículo	Volqueta doble troque	Volqueta doble troque
Modelo	2000	1980
Capacidad de carga	20 toneladas	20 toneladas
Precio por tonelada transportada	35.000	20.000
Ahorro flota propia vs tercerizar	0	15.000

Fuente: Elaboración propia.

Se puede notar en la tabla una disminución de \$15.000 por tonelada trasladada en transporte tipo tercerizado a centro de acopio, cabe resaltar que los centros de acopio se encuentran ubicados máximo a 40 minutos de la mina, por lo que se puede llegar a una negociación con el transportista. Datos tomados de las entrevistas realizadas anexo 8, adicionalmente se evidencia que es más económico contratar a terceros para que se encarguen del traslado del mineral a parte que el ministerio de transporte enfatiza mucho en que hay que darle oportunidad a los particulares o dueños de vehículos. El decreto 2092 del 2011 del Ministerio de Transporte define: Dueño del vehículo, presta sus servicios a las empresas de transporte. Físicamente realiza el traslado de las cargas por medio de un contrato de vinculación permanente o temporal.

Estrategia 2.

Otra forma en que se incurre en costos, cuando la empresa minera se ve obligada a subir el precio de los fletes, sucede cuando no se realiza la entrega a tiempo del mineral y el plazo ya va a vencer, para evitar multas las minas o centros de acopio pagan un flete de hasta \$20.000 por tonelada para que los transportistas cumplan con el pedido, datos suministrados por las entrevistas.

Según el decreto 1979 del 2015, En el caso de que el generador de la carga incumpla los tiempos pactados en el contrato de transporte por cargue y descargue de mercancía, se incrementara el monto, valor o el porcentaje del flete contratado o dispuesto por las partes en el contrato de transporte, si se llega a dar el caso contrario y la empresa de transporte incumple con los tiempos de cargue y descargue, el flete contratado se reducirá en el monto, valor o porcentaje pactado por las partes en el contrato de transporte (Artículo 2.2.1.7.6.8).

Este costo se puede evitar haciendo una estrategia de entregas a los clientes de acuerdo al orden de pedido pues hay que tratar que el primer cliente que realizo la solicitud no sea el último al que se le cumpla el pedido.

Estrategia 3.

Con respecto al transporte se enfatiza mucho en la disminución de costos por el uso de rutas optimas, pues la ruta más corta no siempre es la más óptima en cuanto a costos y tiempo.

En esta estrategia se pretende que los transportistas encuentren una ruta óptima lo cual se puede lograr haciendo la implementación de herramientas tecnológicas, por ejemplo, según los datos suministrados por TCOS (Optimizar Rutas y Tareas), implementar tecnologías que planifiquen rutas genera reducción de costos del 30% al 50% lo que confirma la eficacia de implementar estos sistemas.

De acuerdo a la geografía boyacense no son muchas las rutas alternas que un transportista puede tomar, pero si se logra por lo menos que este se ahorre uno o dos galones de combustible ya es una disminución de costo favorable pues el ACPM a la fecha tiene un valor de \$9.500 por galón lo que significa que por dos galones serian \$19.000 que sumado con las estrategias anteriores sería una reducción de \$54.000 por tonelada de carbón.

Formula 10: Suma de las estrategias planteadas.

Tercerizar + Fletes+ ACPM = Reducción de costos

$$\$15.000 + \$20.000 + \$19.000 = \$54.000$$

Esta ecuación realiza la sumatoria de las tres estrategias a implementar.

PARA EL MODELO

Los costos del mineral en el escenario base están en \$220.000 para el carbón metalúrgico que multiplicado por 22.5% es igual a \$49.500 lo que significa que se debe hacer una disminución de \$49.500 por tonelada para que las utilidades del mineral sean favorables, al implementar las estrategias planteadas se visualiza una

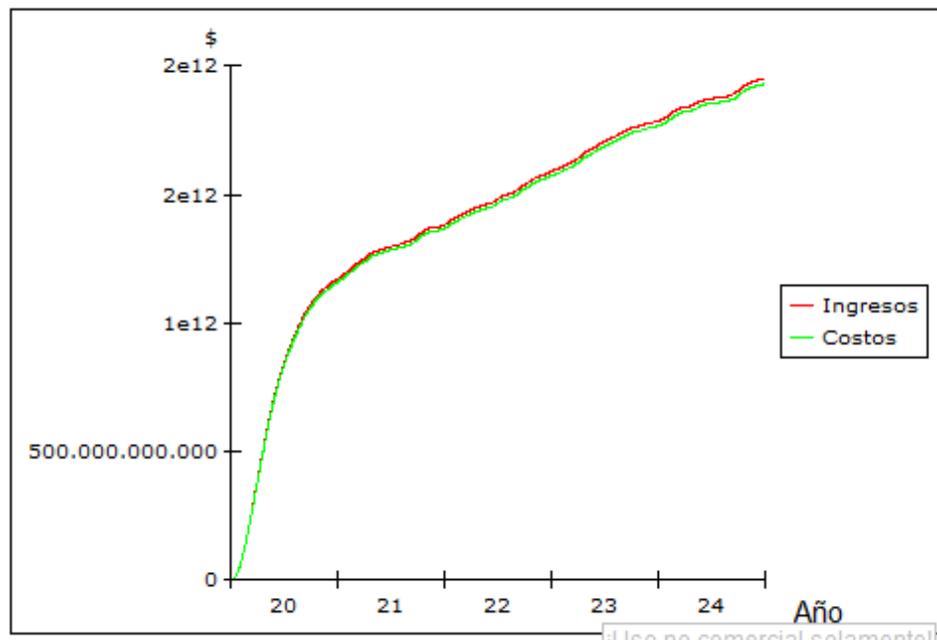
disminución de \$54.000, lo que quiere decir que se logra una reducción más de lo necesitado.

Las tácticas planteadas anteriormente son básicas, pero abordan una problemática que existe continuamente en el sector minero y claro está que si se tienen en cuenta ayudan a que el modelo proyectado en el escenario base para el carbón metalúrgico proporcione utilidades positivas para el sector.

Luego de implementar la política 1 se obtuvo el siguiente escenario en la simulación reduciendo el costo a \$170.000 por tonelada de carbón metalúrgico.

4.3.1.1. Escenario 1

Figura 23. Gráfica ingresos y costos carbón metalúrgico Política 1



Fuente: Elaboración propia en Powersim 2020.

Es este escenario se puede apreciar que al minimizar los costos de transporte en un 22.5% los ingresos empiezan a aumentar con respecto a los costos, no es mucha

la diferencia existente, pero tiende a incrementar a través del tiempo es decir mejoro el escenario con respecto al escenario base.

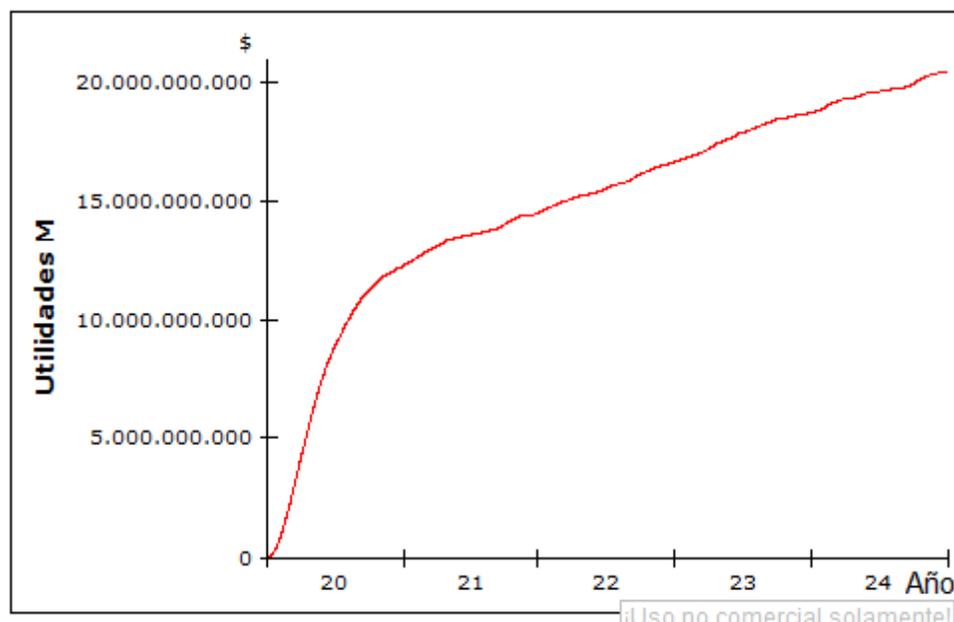
El porcentaje para minimizar los costos se halló, realizando validaciones en el modelo y se evidencio que a partir del 22.5% ya empieza el modelo a producir utilidades.

$$220.000 * 22.5\% = 49500$$

$$220.000 - 49500 = 170.500$$

\$170.500 sería como queda el costo por tonelada de carbón metalúrgico para que produzca utilidades, con un precio de venta de \$210.000.

Figura 24. Utilidades del carbón metalúrgico Política 1



Fuente: Elaboración propia en Powersim 2020.

La figura 24. Muestra las utilidades del carbón metalúrgico y como mejoraron significativamente con respecto al escenario base y su crecimiento a través del tiempo, por ejemplo

Podemos ver unas ganancias en la gráfica de 20.000.000.000 al año 2024, por las 40 empresas que hicieron parte del estudio realizado lo que significa que: una compañía podría tener unas utilidades de \$100.000.000 por año.

$20.000.000.000 / 40 \text{ empresas} / 5 \text{ años} = \$100.000.000$ de utilidades

4.3.2. POLÍTICA 2

En esta política se plantea establecer estrategias de control para que no se dé ninguna devolución por parte de los clientes del carbón metalúrgico (Tasa de devoluciones=0)

Las devoluciones actualmente se presentan por las no conformidades del mineral, es decir no cumplen con las características y especificaciones que requiere el cliente, lo que conlleva a castigos por calidad o en su defecto la devolución del carbón.

Para poder disminuir estas devoluciones a un 0% es necesario optar por implementar el sistema de gestión de calidad (ISO 9001), en el cual se lleva a cabo cada uno de los diez numerales que exige la norma, al hacer una buena implementación del sistema en la mina, se van a obtener resultados muy favorables y factibles pues los clientes cada vez son más exigentes, prefieren comprar el mineral en una mina que cumpla con todos los estándares de calidad.

Optar por este sistema representa una gran oportunidad de mejora continua y un buen reconocimiento tanto a nivel regional, nacional e internacional, estandarizando todos los procesos lo que lo vuelve una mina competitiva y reconocida en el mercado ya que actualmente la gran mayoría de las minas no cuentan con el sistema de gestión de calidad.

Se debe estructurar y diseñar toda la documentación requerida que exige la norma para la estandarización de los procesos y procedimientos, crear un manual de calidad el cual determina la política de la mina en todo lo referente a la calidad del producto, se definen los objetivos, responsabilidades, entre otros, además que la información sirve para la medición y el seguimiento por medio de indicadores.

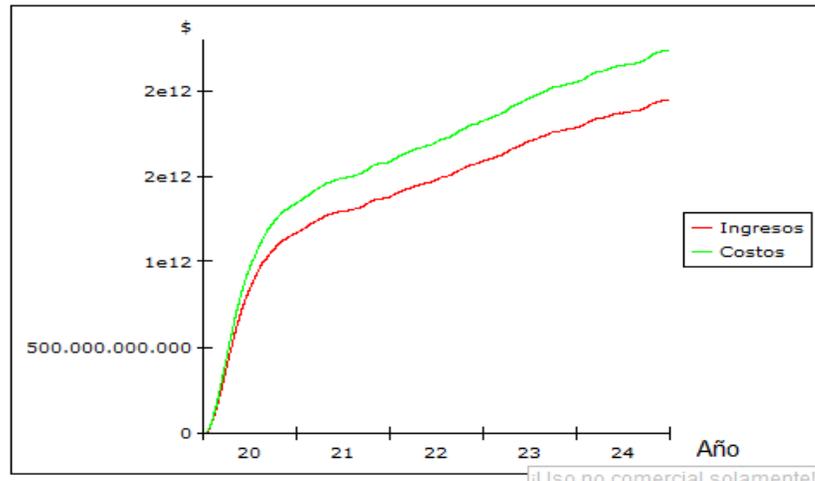
Se deben establecer unos controles de inspección de calidad en cada uno de los procesos productivos el cual va a garantizar que el mineral extraído sea un producto conforme con la calidad y especificaciones que el cliente requiere haciendo que no existan devoluciones de igual manera es indispensable realizar toda la trazabilidad del producto en cada uno de los eslabones de la cadena productiva y de esta manera mejorar el posicionamiento de la misma en un mercado competitivo.

En cuanto a la prestación de servicio a los clientes es necesario que la mina cuente con un proceso de planificación de recepción de pedidos que le permita cumplir con todos los requisitos y características solicitadas haciendo que se garantice una buena interpretación de los requerimientos del cliente, es indispensable realizar una serie de verificaciones e inspecciones al mineral con el fin de entregarle al cliente un producto con todos los estándares de calidad.

Logrando el éxito de la implementación anteriormente mencionada se procede a cambiar en la simulación la tasa de devoluciones del 8% al 0% para lo cual obtendremos los siguientes escenarios.

4.3.2.1. Escenario 2

Figura 25. Gráfica ingresos y costos del carbón metalúrgico Política 2

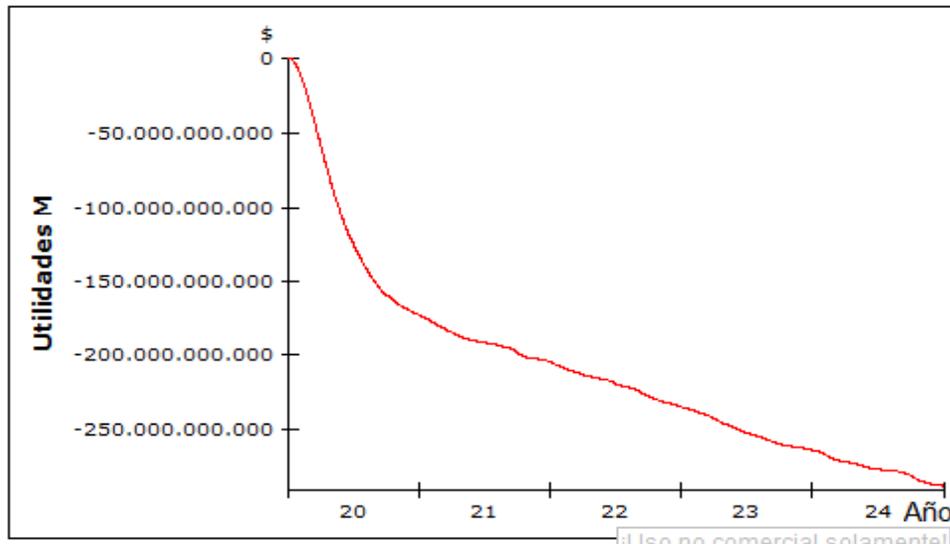


Fuente: Elaboración propia en Powersim 2020.

Se pensaría que al no haber devoluciones los costos disminuirían, pero el escenario 2, figura 25 no presenta utilidades positivas con respecto al escenario base los costos siguen siendo superiores que las utilidades lo que significa que ese 8% de devoluciones solo es un pequeño porcentaje al lado de todos los costos operativos.

Al implementar esta política no se visualizan cambios, lo que no quiere decir que no haya una disminución pequeña en los costos, Si existe una mínima disminución en costos, así como también al no existir devoluciones aumenta la calidad entregada lo que incurre en satisfacción del cliente y su fidelización.

Figura 26. Utilidades carbón metalúrgico Política 2



Fuente: Elaboración propia en Powersim 2020.

Al llevar a cabo la política dos con una tasa del 0% se opta por implementar más controles e inspecciones al mineral durante su proceso productivo, además que se reducirían los costos que acarrear la logística inversa por esas devoluciones, y de esta manera empezaría a aumentar las utilidades, pero al aplicar esta política no se dan los resultados que se esperaban ya que se siguen presentando grandes pérdidas económicas. Lo que significa que esta política no es favorable para el modelo, pero cabe resaltar que para el escenario base las perdidas en utilidades según la figura 20 son por el doble en cada año a diferencia en la figura 26 política 2, las utilidades han disminuido su pérdida por periodo a la mitad, existe una reducción mínima.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Por todo lo expuesto anteriormente se puede concluir que:

- ❖ El departamento de Boyacá actualmente es una de las regiones pioneras en la extracción y comercialización del carbón mineral cuenta con grandes aglomeraciones en las zonas norte, centro y oriente, en el cual se destacan dos tipos de mineral el carbón metalúrgico y el térmico, el primero se caracteriza por tener propiedades altamente coquizables, la mayor parte de la producción de este mineral es tipo exportación, a diferencia del metalúrgico el térmico se destaca por ser utilizado para producir energía, en su gran mayoría es de consumo interno.
- ❖ A partir de la información recolectada, se halló que la economía carbonera no se encuentra en su mejor momento, pues desde el 2015 ha venido presentada disminución en su precio esto se les atribuye a las fuentes de energía amigables con el medio ambiente, adicional mente a la extracción de carbón reciente en otros países que han influido negativamente con la exportación lo que significa que los costos siguen siendo los mismos mientras que el precio si ha disminuido.
- ❖ Al realizar el diseño de diagrama causal y Forrester mediante la dinámica de sistemas se evidenciaron todos los eslabones que intervienen y afectan la cadena de suministro del carbón, puesto que a la hora de hacer la simulación el escenario base mostro resultados de las condiciones actuales del sector, afirmando que la producción del carbón metalúrgico presenta significativas pérdidas.
- ❖ Se presentaron dos políticas para minimizar los costos del carbón metalúrgico, en la primera política se tomaron estrategias del VRP, donde se evidencia que es

un sistema aplicable en los modelos logísticos de ruteo que reduce costos sin que se afecte el producto, garantizando una entrega eficiente.

❖ En la segunda política efectivamente no se evidenciaron cambios con respecto al escenario base, a lo que se concluye que tener una tasa de devoluciones del 8% no está afectando tanto la problemática como lo hacen los costos operacionales.

❖ La dinámica de sistemas es un avance tecnológico para las cadenas de suministros de cualquier sector, teniendo en cuenta que los datos tomados para el diseño del modelo son datos generales, se evidencia que es un modelo aplicable a cualquier empresa que desee conocer o identificar sus falencias logísticas ayudando a minimizar errores producidos por las suposiciones humanas.

5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda al análisis realizado

Aplicar la política uno a los costos de transporte para el carbón metalúrgico, pues es una parte de los costos operacionales que se puede mejorar y que al reducirlos produce utilidades para el sector, en el transporte se encuentran varias falencias que incurren en costos innecesarios pero cuantificables y que suman considerablemente.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, D. (2016). Impactos ambientales de la minería de carbón y su relación con los problemas de salud de la población del municipio de Samacá (Boyacá). (Tesis especialización). Universidad distrital francisco José de caldas, Bogotá, Colombia.
- Agencia Nacional de Minería. (2013). El título minero. Recuperado de: https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/titulo_minero.pdf
- Aguilar, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Saludtab Tabasco*.11 (1-2), 333-338.ISSN: 1405-2091. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=487/48711206>
- Amaya, L. (2019). Caracterización logística de puntos de explotación y centros de acopio mineros del norte de Boyacá. (Informe técnico). Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, Duitama, Colombia.
- Aracil, J. y Gordillo, F. (1997). *Dinámica de sistemas*. México Editorial Alianza.
- Ballou, R. (2004). *Administración de la Cadena de Suministro*, México DF, México. Pearson Education.
- Ballesteros, E. (2009). Modelado de cadenas productivas con dinámica de sistemas. *Revista de Investigaciones UNAD*. 8. 10.22490/25391887.640.

Boletín estadístico de minas y energía. (2018). Reservas de carbón. Recuperado de: https://www1.upme.gov.co/PromocionSector/SeccionesInteres/Documents/Boletines/Boletin_Estadistico_2018.pdf

Brijaldo, F. (2015). Gestión de la cadena de suministros desde la dinámica de sistemas. Aproximación al mejoramiento de la toma de decisiones (Trabajo de grado). Universidad del rosario, Bogotá, Colombia.

Bermeo. M, Elver, A. Calderón, S. y Hernán. J. (2009). Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte. Revista Redalyc. (32) ,52-67. ISSN: 0121-0777.

Camacho, H., Gomez, K., y Monroy, C. (2012). La importancia de la cadena de suministros en las organizaciones. *Tenth LACCEI Latin American and Caribbean Conference (LACCEI'2012), Megaprojects: Building Infrastructure by Fostering Engineering Collaboration, Efficient and Effective Integration and Innovative Planning*. Recuperado de <http://www.laccei.org/LACCEI2012-Panama/RefereedPapers/RP200.pdf>

Consorcio Sergeing - Sisocoal – Rmr (2016). Informe final. Recuperado de: <https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/1323/1/Informe%20Final.pdf>

Cano, J., Panizo, C. García, F. y Rodríguez, J. (2015). Strategies for improving the supply chain of coal in Norte de Santander, Colombia. Revista Boletín Ciencias de la Tierra. 38 (1), 65-74 Recuperado de: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/rbct%0Ahttp://dx.doi.org/10.15446/rbct.n38.49572>

Castillo, J. (2018). Caracterización de la red logística de la empresa mineralex ubicada en el municipio de paz del rio- Boyacá. (Tesis pregrado). Universidad

pedagógica y tecnológica de Colombia, Duitama, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2619>

Castro, F. (2011). Evaluación del comportamiento térmico de carbones del Cerrejón, carbones coquizantes y sus mezclas en la producción de coque metalúrgico. (Tesis Magister). Universidad Nacional de Colombia, Bogota, Colombia.

Cely, E. (2016). Caracterización geológica y fisicoquímica de los carbones explotados por la empresa Intercarbon Mining S.A.S. (Tesis pregrado). Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, Sogamoso, Colombia.

Chopra, S y Meindle, P. (2007). Supply Chain Management: Strategy, planning and operation. New Jersey. Prentice Hall.

Correa, A. y Gomez, R. (2009). Analysis of Opportunities for Implementation Logistic Information Technologies and Comunications in The Gold Supply Chain of Tolima. Boletín de Ciencias de la Tierra. 26 (1). 47–60. Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/16591/17820>.

Correa Espinal, A., Y Gómez Montoya, R. (2010). Seguridad en la cadena de suministro basada en la Norma ISO 28001 para el sector carbón, como estrategia para su competitividad. Boletín de Ciencias de la Tierra, (28), 39-49. ISSN: 0120-3630. Recuperado de en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1695/169520001004>

Comisión Económica para América Latina. (2015). Caso de Estudio: Logística de la Pequeña y Mediana Minería del Carbón de Colombia. Recuperado de: http://conferencias.cepal.org/gobernanza_transporte/Lunes%2030/Pdf/Diego%20Duque.pdf.

Chavarro, I. y García, E. (2013). Modelo logístico de transporte de carga con asignaciones mono-fuente a multi-destino empleando dinámica de sistemas sector transportador de carga. (Tesis pregrado). Universidad libre, Bogotá, Colombia.

Fallis, A. (2013). No Title No Title. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

García, R. y Escobar, J. (2016). Characterization of supply chain problems. *DYNA*, 83(198), 68-78. [Doi: https://doi.org/10.15446/dyna.v83n197.44532](https://doi.org/10.15446/dyna.v83n197.44532).

Garza, R. y Barragán, J. (2012). La importancia de la cadena de suministro y su administración. Recuperado de: <https://docplayer.es/650163-La-importancia-de-la-cadena-de-suministro-y-su-administracion.html>

García, J. Riaño, J. Cuevas, F. y Amaya L. (2020). Propuesta metodológica para la

Higuera, R. (2015). Minería del carbón en Boyacá: entre la informalidad minera, la crisis de un sector y su potencial para el desarrollo. *Revista Zero*. Recuperado de <https://zero.uexternado.edu.co/mineria-del-carbon-en-boyaca-entre-la-informalidad-minera-la-crisis-de-un-sector-y-su-potencial-para-el-desarrollo/>

Identificación de peligros en el sector minero: caso Provincia del Valderrama. Colombia, Fondo Editorial Universitario de la Universidad Nacional Experimental Sur del Lago Jesús María Semprúm.

González, M., y Ardila, D. (2014). *Análisis y mejoramiento de los procesos logísticos de distribución de “inversiones AJOVECO S.A.* (Tesis de pregrado).

Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Recuperado de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2014/154122.pdf>

Grupo de investigación XUÉ (2020) El carbón: fuente de energía de la Región Central RAP-E. Recuperado de: <https://regioncentralrape.gov.co/wp-content/uploads/2020/05/Cptl08-EL-CARBO%CC%81N-FUENTE-DE-ENERGI%CC%81A-EN-LA-REGIO%CC%81N-CENTRAL.pdf>.

Heyns, G. y Kilbourn, R. (2013). Logistics opportunity costs: A mining case study. Original Research. 1–11. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/269972969_Logistics_opportunity_costs_A_mining_case_study.

Jaimes, A. (2016). Modelo de simulación con dinámica de sistemas para el sistema productivo de la fábrica calzado Brioso y Blessing. (Tesis pregrado). Universidad industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

León, N. (2016). Estudio de la dinámica competitiva del subsector carbón en Colombia, aplicando el modelo de Competitividad Sistémica del Instituto Alemán de Desarrollo. (Tesis Magister). Universidad Nacional de Colombia, Bogota, Colombia.

Márquez, L. (2011). Optimización de una Red de Transporte Combinado para la Exportación del Carbon del interior de Colombia. Revista EIA, 457–471. Recuperad de: <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n16/n16a08.pdf>.

Martínez, K. y Rivera, L. (2018). Caracterización de la cadena de suministro de la asociación ruta de la carne en el departamento de Boyacá. (Tesis pregrado). Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, Sogamoso, Colombia.

Ministerio de minas y energía (2003). Glosario técnico minero. Recuperado de:
<https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>

Ministerio de minas y energía. (2018). Reservas de carbón en el departamento de Boyacá. Recuperado de:
<https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/614096/4CapituloMinas.pdf/fbd3bdeb-7d06-4817-9af0-6c43136fef18>

Ministerio de minas y energía. (2019). Producción y exportación de carbón en Colombia. Recuperado de:
<https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24089918/Produccion+y+Exportaciones+Carb%C3%B3n+primer+trimestre+2019.pdf/64893cd1-e103-4f47-9d8d-a078796e32af>

Monterroso, E. (2000). El proceso logístico y la gestión de la cadena de abastecimiento. *Researchgate*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1607.1444>.

Morlan, C. (2010). Modelo de Dinámica de Sistemas para la implantación de Tecnologías de la Información en la Gestión Estratégica Universitaria (tesis de doctorado). Universidad del País Vasco, España.

Ortiz, J. (2015). Manual de procesos y procedimientos en el área de acopio y distribución del carbón de la empresa Agrocoal S.A.S ubicada en el municipio de Socha – Boyacá. (Tesis pregrado). Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, Sogamoso, Colombia.

Parejo, J. (2018). Mejoramiento de controles de calidad en patio de acopio de carbón, mina el hatillo. (Tesis pregrado). Fundación universitaria del área andina, Valledupar, Colombia.

Ramón, J. (2011) La Gestión de la Cadena de Suministro. Recuperado de: <http://www.elmayorportaldegerencia.com/Documentos/Cadena%20Suministros/%5BPD%5D%20Documentos%20%20Gestion%20de%20la%20Cadena%20de%20suministros%202.pdf>

Rengifo, M. (2017). Caracterización de la Cadena de Suministro Primaria del sector Minero Aurífero en la Región Centro de Colombia y Diseño de una Propuesta para la Mejora de su Gestión (Tesis de Maestría). Universidad de Ibagué, Ibagué, Colombia.

Rocha, L. (2018). Monografía de estudio: minería del carbón en Boyacá y sus impactos ambientales. (Tesis pregrado). Universidad nacional abierta y a distancia, Tunja, Colombia.

Rueda, M. (2019). Análisis dinámico de la cadena de suministro de una empresa textil. (Tesis pregrado). Universidad de Cantabria, España.

Sierra, S. y Hernández, Y. (2015). Análisis de las prácticas de RSE en las minas de carbón del municipio de Samacá. (Tesis pregrado). Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia.

Sistema de Información Minero Colombiano. (2019). Producción de carbón en Boyacá. Recuperado de: <https://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Paginas/carbon.aspx>.

Sistema de Información Minero Colombiano. (2019). Exportaciones de carbón de Boyacá. Recuperado de: <https://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Paginas/carbon.aspx>.

Stock, J y Boyer, S. (2009). Developing a consensus definition of supply chain management: a qualitative study. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. 39 (8). 690-711. Recuperado de: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/09600030910996323/full/html>

Toro, E. Santa, J. y Granada, M. (2013). Solución del problema de ruteamiento de vehículos en la distribución de papa en Colombia. Revista Scientia Et Technica. pp. 139-148. ISSN: 0122-1701.

Unidad de planeación minero energética [UPME]. (2012). La cadena del carbón. Recuperado de: http://www.upme.gov.co/docs/cadena_carbon.pdf.

Unidad de planeación minero energética [UPME]. (2018). Boletín estadístico. Recuperado de https://www1.upme.gov.co/PromocionSector/SeccionesInteres/Documents/Boletines/Boletin_Estadistico_2018.pdf

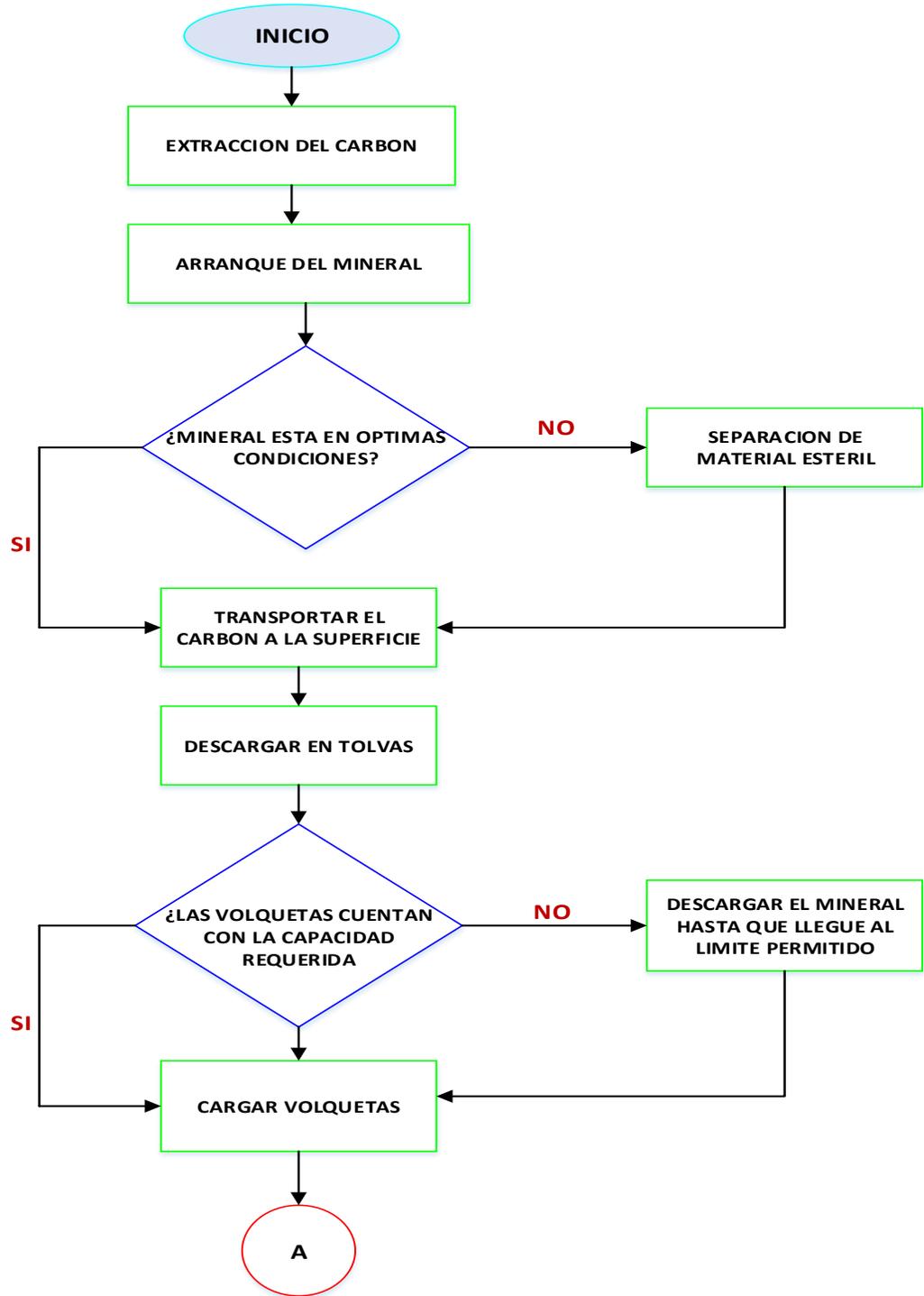
Unidad de planeación minero energética [UMPE]. (2018). Carbón metalúrgico. Recuperado de http://www1.upme.gov.co/simco/CifrasSectoriales/Datos/mercadointer/Producto2_Carbon_met_FINAL_12Dic2018.pdf.

Uribe, C. (2012) Caracterización del sector de transporte terrestre de carga de la ciudad de cali. Recuperado de: <https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/4976/1/TID01357.pdf>

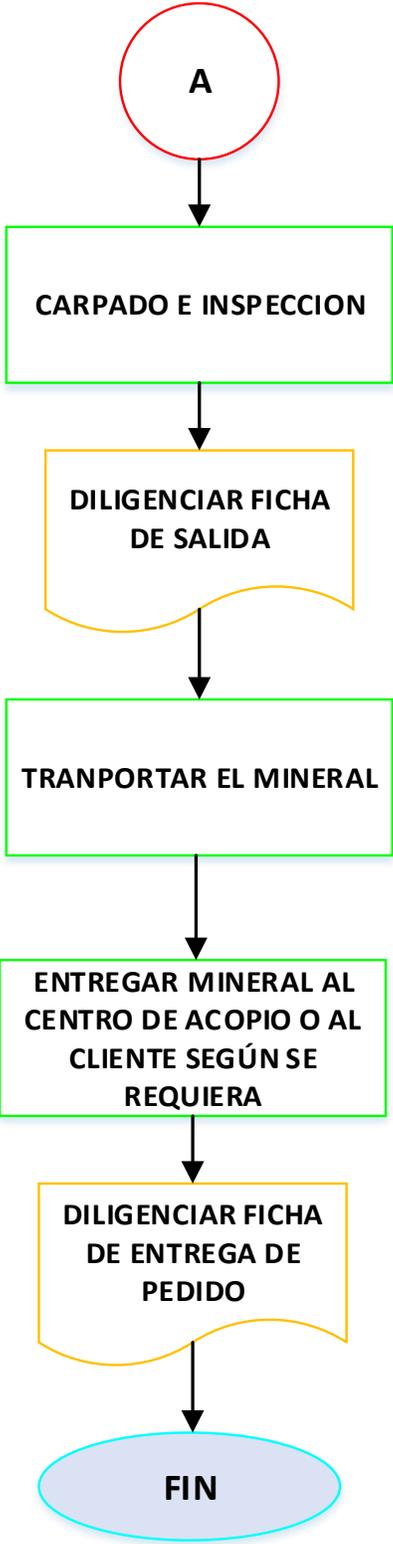
Van Weele, A. (2010). Purchasing and Supply Chain Management. UK. South – Western Cengage Learning.

ANEXOS

Anexo 1. Caracterización proceso de la extracción



Continuación Anexo 1. Caracterización proceso de la extracción



Anexo 2. Centros de acopio





Anexo 3. Formatos inspecciones para vehículos

ESTE DOCUMENTO DEBE SER DILIGENCIADO A MANO ÚNICAMENTE POR EL CONDUCTOR, DE LO CONTRARIO NO SERÁ VÁLIDO.													
		HOJA DE VIDA CONDUCTOR, PROPIETARIO Y VEHICULO					PLACA		Codigo			RGDP01	
							Edición		13				
							Fecha		18/02/2020				
Marque con una "X" en las casillas (SI, NO)						7. Declaro bajo la gravedad de juramento que todos los datos aquí contenidos son ciertos y veraces. De comprometerse la contrastación legal realizada a los datos de Verdad en documentos públicos o privados y demás cosas del Patrimonio económico, así como también que el vehículo se encuentra en condiciones óptimas para la prestación del servicio y que Corredor S.A. no ha informado de manera alguna a ninguna persona que los datos personales suministrados por mí sean falsos por Corredor S.A. para el cumplimiento de las actividades que se desempeñen de la actividad económica de Corredor S.A.							
Hora elaboración:		Hora de envío correo a Operaciones:		Hora autorización o rechazo:		(i) Si los datos están sujetos de modificación, actualización, actualización, y copia de seguridad.							
1. DOCUMENTACIÓN ADJUNTA OBLIGATORIA						NUEVO			ANTIGUO				
VEHICULO		SI	NO	VERIFICADO	CONDUCTOR		SI	NO	VERIFICADO				
1.1 Tarjeta de propiedad				1.6	Cédula conductor								
1.2 Seguro Obligatorio				1.7	Licencia conductor								
1.3 Tarjeta Trailer "R"				1.8	Recibo de pago A.R.L								
1.4 Poliza Res. Civil				1.9	Recibo de pago E.P.S.								
1.5 Revisión Técnico-mecánica													
2. DATOS PERSONALES DEL CONDUCTOR (Escriba con letra Legible)						Firma Conductor		Huella					
2.1 Nombres y apellidos						C.C. No.							
2.2 De						celulares No.							
2.3 Dirección residencia						Ciudad		Fecha					
2.4 Tel. Fijo residencia						Cel. Casa							
2.5 Email:													
2.6 Referencia familiar						Telefono		Nombre funcionario		GUSTAVO CUERVO		Fecha	
2.7 Confirmación:								Agencia		DUITAMA			
3. REFERENCIAS LABORALES						10. Consulta Centrales de Riesgo para vehículo y personas, indique (SI/NO)							
3.1 Tiempo laborado con el vehículo actual:						Destino seguro		SI	NO	Alianz			
3.2 Nombre último jefe:		Celular		Placa		Runt		SI	NO	Smit			
4. DATOS PERSONALES DEL PROPIETARIO (el que aparece en la tarjeta de propiedad)						Colfecar		SI	NO	Procuraduría			
4.1 Nombres y apellidos						C.C. No.		RISKS		SI	NO	Policia Nacional	
4.2 De						celulares No.		Exámenes Medicos		SI	NO	DDMM/AA	
4.3 Dirección residencia						Ciudad		Pruebas Teóricas		SI	NO	DDMM/AA	
4.4 Tel. Fijo residencia						Cel. Casa		Pruebas Prácticas		SI	NO	DDMM/AA	
4.5 Email:								Aseguradora		Tipo:		RC TR Veramiento	
4.6 Referencia familiar						Telefono:							
4.7 Confirmación:													
5. TENEDOR ACTUAL Y/O RESPONSABLE						11. REF. EMPRESA DE TRANSPORTE, ÚLTIMOS 3 MESES (Escriba con letra Legible)							
5.1 Nombres y apellidos						C.C. No.		Capacitaciones:		SI	NO	Mercancías Peligrosas Manejo Defensivo Psv	
5.2 De						celulares No.		Fecha:		Otro, Cual?			
5.3 Dirección residencia						Ciudad		Funcionario que consulta y verifica los datos					
5.4 Tel. Fijo residencia						Cel. Casa		Nombre Completo (Escriba con letra Legible)					
5.5 Email:								Fecha					
5.6 Referencia familiar						Telefono:							
5.7 Confirmación:													
CONTACTO ADMINISTRADOR NOMBRE Y APELLIDO		No C.C. Y/O NIT		CELULAR		TEL. FIJO		11.1 Empresa		Telefono		Ciudad	
5.8								11.2 Empresa		Telefono		Ciudad	
6. DATOS DEL VEHICULO (Escriba con letra Legible)						OBSERVACIONES GENERALES:							
6.1 Marca		Modelo		Rep. SI () NO ()		Color		Capacidad					
6.2 Empresa unidad satelital		Ulvano		Clave									
8.3 CATEGORIAS DE VEHICULOS						12. Como funcionario de S047251 seguridad delegado a la revisión de información del presente formato y sus soportes, considerando al presente conductor y su vehículo aptos para cargar por la empresa.							
CONFIGURACION		TIPO DE VEHICULO				EQUIPO							
CAMIONETA		PATINETA 3 EJES		PLANCHA		VOLCO		ONCHAS		CARPA			
TURBO		TRACTOR M/LA 2 EJES		GRILLO		PLATON		CADERNAS		ANILLO			
SEMICILLO		TRACTOR M/LA 3 EJES		CARRIZADA		REFRIGERADO		TROMBOS		MANILA			
DOBLE TROQUEL		CAMABAJA 3 EJES		FURGON		DESCARROZABLE		MAMPARA		RESOLUCION			
CUATRO MANOS		CAMABAJA 4 EJES						PIÑES		LUZ ADORRA			
PATINETA 2 EJES		CAMABAJA 5 EJES						MADEROS		LUZ NEGRA			
						Firma Funcionario							
						RECHAZADO		APROBADO					

Fecha de la inspección:

Desde: Hasta: Placa: Manifiesto No:

Conductor: Kilometraje: Remesa No:

Estimado conductor recuerde que este reporte se debe realizar cada vez que se enciende el vehículo por día para iniciar el transporte de cualquier mercancía. La inspección preoperacional está a cargo de usted y es indispensable que revise y verifique la información.

Utilice un si está en buen estado o correcto y * en caso contrario ó N/A si no aplica

	CONDICIONES QUE DEBE MANTENER	CRITERIO	INSPECCIÓN DEL VEHICULO				OBSERVACIONES	
			DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4		
DOCUMENTOS	VEHICULOS	Tarjeta Propiedad de Cabezote						
		Tarjeta Propiedad Trailer						
		Póliza Contractual						
		Póliza Hidrocarburo						
		Soat						
		Revisión Tecnicomecánica						
	CONDUCTOR	Certificado de Quinta Rueda	Verificar que se encuentren y su fecha de vigencia sea la adecuada					
		Licencia de Conducción						
		Cédula de Ciudadanía						
		Planilla Seguridad Social						
		Orden de Cargue						
		Remesa						
VIAJE	Manifiesto							
	Radicado Puertos							
LLANTAS	Presión	Cada día antes de comenzar la marcha, verificar su estado, profundidad del labrado y presión.						
	Labrado (Mínimo 2,5 mm)							
	Tuercas completas y aseguradas							
LUCES	Enciende la luz de reversa	Funcionamiento de bombillas, cubierta sin rotura, leds no fundido						
	Encienden luces Altas							
	Encienden luces bajas							
	Encienden cocuyos							
	Encienden luces de freno							
	Encienden direccionales (adelante y atrás)							
INDICADORES DEL TABLERO	Nivel de Combustible	Verificar que el nivel sea el óptimo para realizar el viaje						
	Indicador de Presión de Aceite							
	Indicador Nivel de Batería							
FRENOS	Freno de Seguridad	Verificar cada día antes de comenzar el inicio de marcha del vehículo						
	Mangueras de aire							
	Frenos funcionando							
CABEZOTE	CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO	Espejos retrovisores funcionando	Verificar que se encuentren en buen estado					
		Todas las puertas del vehículo	Verificar que las puertas del vehículo cierren y estén ajustadas					
		Nivel de aceite del motor	Verificar que el nivel de los fluidos que se encuentren dentro de rango permitido					
		Nivel del líquido de la dirección						
		Nivel del líquido refrigerante						
		Nivel de agua radiador						
		Indicador Nivel de Agua						
		Pito	Accionar antes de iniciar la marcha debe responder de forma adecuado					
		Cinturón de Seguridad	Verificar que abroche y se encuentre en buen estado					
		Vidrio Frontal en Buen Estado	Verificar que el vidrio no este fisurado					
		Limpiabrisas funcionando	Verificar que no se encuentre cristalizada					
		Radiador con tapa ajustada	Verificar si se encuentra en buen estado					
	Correa del ventilador tensionada	Verificar plataforma						
	Dispositivo de Monitoreo de Satelital A	Verificar plataforma						
	Escalera y Pasamanos	Verificar que los estribos no se encuentren lisos y sin sustancias adheridas						
	Extintor de 20 lb ABC	Verificar fecha de vencimiento y que este en buen estado						
	Linterna	Verificar que encienda						
	Botiquín de Primeros Auxilios	Verificar que se encuentre el Botiquín cuente con los elementos requeridos						
Batería y Cables sin residuos	Verificar el nivel de líquido de batería y que se encuentre en buen estado							
SILLETERÍA	Ajuste horizontal sillas delanteras	Verificar que la silla del vehículo se encuentre apta para realizar el viaje						
	Ajuste vertical sillas delanteras							
	Tapizado sin roturas o manchas							
TRAILER	Luces tráiler	Verificar que la inspección del elemento realizada se encuentre en buen funcionamiento y sean aptas para realizar el viaje						
	Llantas y rines del tráiler							
	Llantas de repuesto							
	Frenos de Seguridad							
	Bandas tráiler							
	Muelles							
VERIFICACIÓN DEL SEGUIMIENTO		Vbo. Conductor						
		Responsable de la Empresa						

OBSERVACIONES ADICIONALES: 	<p style="text-align: center; font-size: x-small;">NOTA IMPORTANTE:</p> <p style="font-size: x-small;">La inspección preoperacional debe realizarla el CONDUCTOR y hacer entrega de la misma al Analista de transporte y seguridad al momento de cumplir el viaje. Para los vehículos de HUMALA INVERSIONES si se llega a presentar una falla se le informara al Director de Operaciones INMEDIATAMENTE</p>
---	---

Placa Vehículo: _____ Nombre y C.C. Conductor: _____ Fecha: _____
 Vigencia SOAT: _____ Vigencia Técnico Mecánica: _____ Hora: _____

1. INSPECCIÓN FÍSICA DEL VEHÍCULO		SI	NO	N/A
1.1	Compartimiento del motor			
1.2	Defensa delantera			
1.3	Llantas delanteras y traseras del cabezote			
1.4	Cabina y camarote			
1.5	Tanques de aire y agua			
1.6	Compartimiento de batería			
1.7	Cuello de ganso o área de enganche del trailer			
1.8	Cajas de herramientas o baúl			
1.9	Tanques de combustible			
1.10	Estructura del chasis y otros compartimientos			
1.11	Ejes y sistema de transmisión			
1.12	Llantas y estructura de repuesto			
1.13	Conjuntos de llantas del trailer			
1.14	Defensa trasera del trailer			
1.15	Compartimientos al interior de la cabina y la litera			
1.16	Sección de pasajeros y techo de la cabina			
1.17	Sección de pasajeros y techo de la cabina			
1.18	Sección de pasajeros y techo de la cabina			

Todas las partes del vehículo que se inspeccionan deben ser sometidas a una revisión minuciosa y metódica que ayude a descubrir a que el medio de transporte terrestre no constituya a la inspección de riesgos. Marque con una "X" en las áreas (SI, NO o N/A).

2. FOTOGRAFIA

2.1 Se tomó fotografía del vehículo con el conductor

Todo vehículo despachado con carga de exportación debe ser fotografiado con el conductor, permitiendo la identificación de

3. ELEMENTOS DE INSPECCION		SI	NO	N/A	4. EQUIPO DE SEGURIDAD			SI	NO	N/A			
					Extintor /	Vence	dd	mm	aa	CP			
3.1	Luces traylor				4.1								
3.2	Licudadora				4.2	Herramientas							
3.3	Farolas delanteras				4.3	Cruceta							
3.4	Direccionales				4.4	Gato							
3.5	Luces cabezote :				4.5	Tacos							
	Altas	SI	NO	Bajas	SI	NO							
	Parqueo	SI	NO	Reversa	SI	NO							
	Stops	SI	NO		4.7	Chaleco							
	Estado de riatas				4.8	Boliquin							
	Estado de las guayas				4.9	Kit de derrames							
3.6	Limpiabrisas				5. ULTIMA FCH / MANTENIMIENTO						dd	mm	aa
3.7	Frenos				5.1	Cambio de aceite							
3.8	Espejos				5.2	Sincronización							
3.9	Pito				5.3	Alineación y Balanceo							
3.10	Pito de Reverse				5.4	Cambio de Llantas							

Registro de Novedades y Observaciones:

Todo vehículo despachado con carga de exportación debe ser sometido a una revisión minuciosa y metódica que permita establecer si el estado mecánico-operacional del automotor, Marque con una "X" en las áreas (SI, NO o N/A). Si significa que ya encuentra defectos.

CONFIRMO INSPECCIÓN FÍSICA Y REVISIÓN TÉCNICA DEL VEHÍCULO:

Nombre Inspector CONALTRA _____
 Firma Inspector CONALTRA S.A. _____
 Nombre Conductor _____
 Firma Conductor _____

Anexo 4. Ficha técnica del carbón

ID Laboratorio: CU1901791.001
ID Muestra: SANTA MARTHA 2

Fecha de Recibido: 30/12/2019

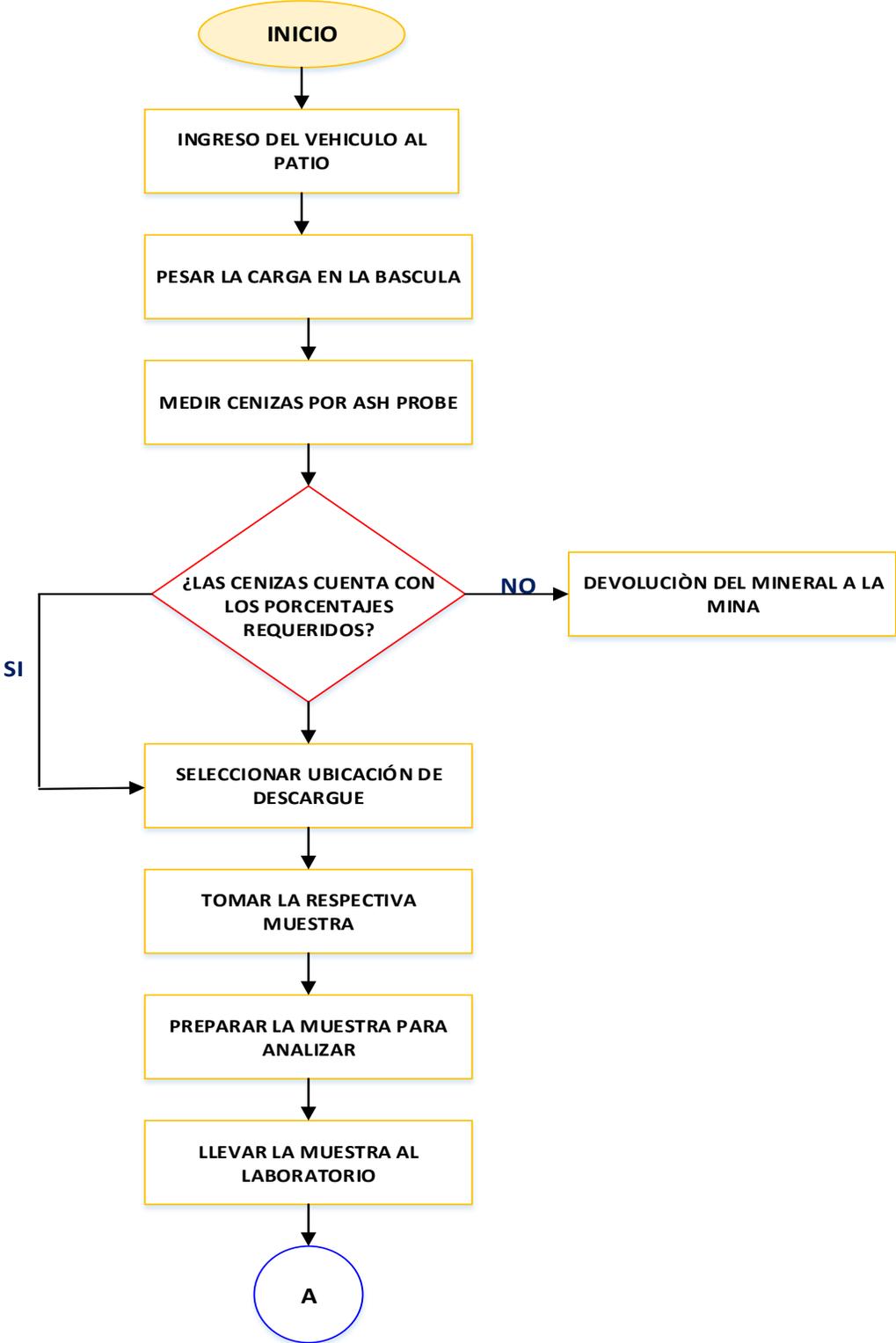
Fecha de Análisis: 02/01/2020

*-ANALISIS PROXIMO COMPLETO ASTM COAL H D3302, C D	Base Como Se Recibe	Base Seca	Método
Humedad Total, % en peso	1.55		ASTM D3302/D3302M-15
Ceniza, % en peso	8.81	8.95	ASTM D 3174-12
Materia Volátil, % en peso	14.53	14.76	ASTM D 3175-11
Carbono Fijo (por diferencia), % en peso	75.11	76.29	ASTM D 3172-13
Azufre, % en peso	1.66	1.68	ASTM D 4239-14 E02
Poder Calorífico Bruto (Btu/Lb)	13944	14163	ASTM D5865-13
Poder Calorífico Bruto (Kcal/Kg)	7747	7869	ASTM D5865-13
Poder Calorífico Bruto (GJ/Ton)	32.43	32.94	ASTM D5865-13
Poder Calorífico Bruto (J/g)	32434	32944	ASTM D5865-13
*-ANALISIS DE FSI- FREE SWELLING INDEX		Secado Al Aire	Método
Indice de Libre Hinchamiento (FSI)		3.5	ASTM D720/D720M-15E01

Anexo 5. Hornos para coque



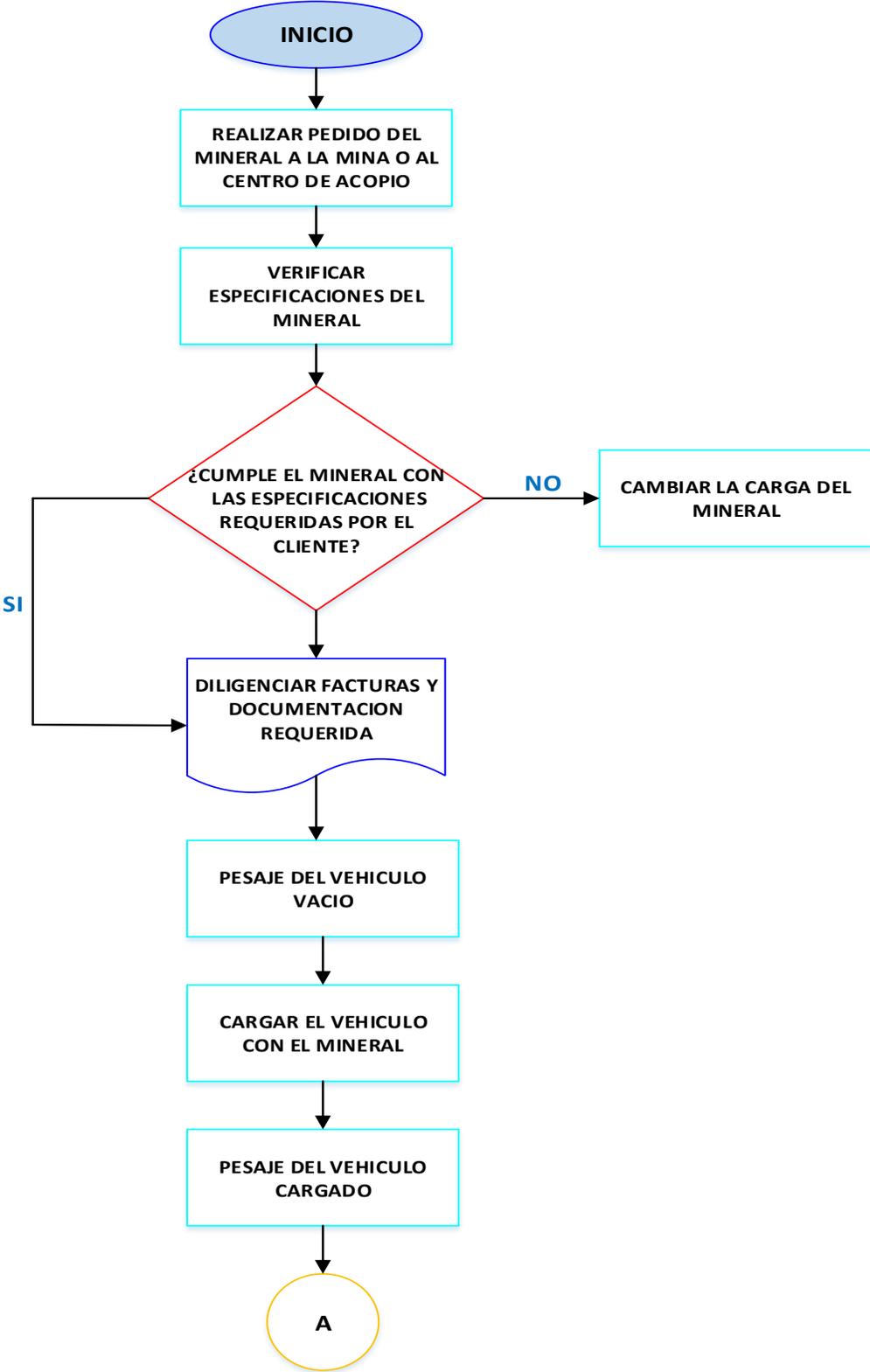
Anexo 6. Caracterización del proceso en el centro de acopio



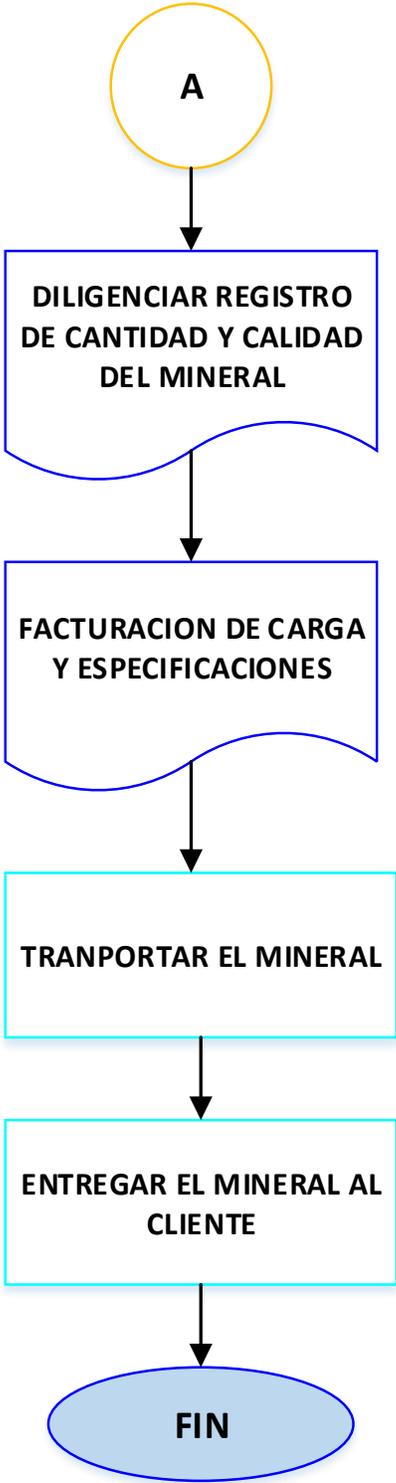
Continuación Anexo 6. Caracterización del proceso en el centro de acopio



Anexo 7. Caracterización del proceso de despacho del mineral



Continuación Anexo 7. Caracterización del proceso de despacho del mineral



Anexo 8. Entrevista

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO

Facultad Ingeniería Industrial

Proyecto de grado: **Análisis de la cadena de suministros del carbón en Boyacá bajo la metodología de la dinámica de sistemas.**

Objetivo: **Caracterizar la cadena de suministros.**

Agradecemos su sinceridad y valiosa colaboración en la realización de esta investigación sabiendo que la finalidad de la encuesta es recolectar información de minas de carbón, centros de acopio y clientes, que facilitara la trazabilidad de la cadena de suministros.

Marca la que es correcta, y completa -----, si es necesario.

MINAS

Nombre de mina: _____

Ubicación:

1. Señale el tipo de trámite y documentación requerido para poder explorar, explotar y comercializar el carbón.

- Título minero
 Licencia Ambiental
 Rutcom
 Contrato de concesión
Otro _____

2. Señale el método de extracción de carbón más utilizado en Boyacá.

- Extracción a cielo abierto
 Extracción subterránea

3. En caso de ser subterránea la extracción, señale cuales son los servicios disponibles dentro del socavón o mina.

- Ventilación
 Electricidad
 Agua
 Aire comprimido
 Desagües
 Buena comunicación
 Detector de gases

Otros _____

4. ¿Cuáles serían los gases producidos de la mina?

5. Señale el tipo de carbón que se extrae.

Carbón metalúrgico

Carbón térmico

Antracita

Otros: _____

6. Señale el costo de extracción para cada mineral.

Carbón metalúrgico

carbón térmico

antracita

60.000 y 70.000

60.000 y 70.000

60.000 y 70.000

70.000 y 90.000

70.000 y 90.000

70.000 y 90.000

90.000 y 120.000

90.000 y 120.000

90.000 y 120.000

Otro:

Otro:

Otro:

- Porque los costos varían:

7. Señale los precios de venta del carbón

Carbón metalúrgico

carbón térmico

antracita

120.000 y 140.000

120.000 y 140.000

120.000 y 140.000

140.000 y 160.000

140.000 y 160.000

140.000 y 160.000

160.000 y 190.000

160.000 y 190.000

160.000 y 190.000

190.000 y 210.000

190.000 y 210.000

190.000 y 210.000

Otro:

Otro:

Otro:

8. ¿Cuántas personas pueden ingresar a la mina?

9. ¿Cuál es la profundidad de la mina?

10. Señale las formas de extracción.

Mecanizada

Manual

Otros: _____

11. Señale las herramientas y equipos usados en la extracción.

Picas y palas

Taladro manual

Taladro neumático

Cargador manual

Cargador neumático

Motobomba

Otros: _____

12. Señale el tiempo de extracción por tonelada de carbón.

- 1 hora a 2 horas
 2 horas a 3 horas
 3 horas a 4 horas

Otro: _____

13. Señale los equipos utilizados para sacar el mineral a la superficie o bocamina.

- Vagoneta con carrilera, capacidad: _____
 Bandas transportadoras

14. ¿Cuál es el porcentaje de mineral que sale sucio o contaminado en la extracción?

15. Señale donde se almacena el mineral al salir de bocamina.

- Tolva, capacidad _____
 Patio o acopio, capacidad _____

16. Señale el tiempo de stand bike del mineral en bocamina.

- Medio día - un día
 Un día - día y medio
 Día y medio - dos días

17. ¿Cuenta la mina con laboratorio para las pruebas necesarias?

- Si
 No

18. Señale el tipo de transporte utilizado para transportar el mineral.

- Volqueta sencilla 10 toneladas
 Volqueta doble troque 20 toneladas
 Tracto mula 32 toneladas

19. Señale para dónde va el mineral de boca mina,

- Centro de acopio, nombre _____
 Cliente, nombre _____

20. En caso de ser cliente señale si es.

- Regional
 Nacional
 Para exportar (puerto), nombre _____

21. Señale cuantos carros hay disponibles al día para trasladar el mineral.

- 5 – 7 Carros
 7 – 10 Carros
 10 – 15 Carros

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO

Facultad Ingeniería Industrial

Proyecto de grado: **Análisis de la cadena de suministros del carbón en Boyacá bajo la metodología de la dinámica de sistemas.**

Objetivo: **Caracterizar la cadena de suministros.**

Agradecemos su sinceridad y valiosa colaboración en la realización de esta investigación sabiendo que la finalidad de la encuesta es recolectar información de minas de carbón, centros de acopio y clientes, que facilitara la trazabilidad de la cadena de suministros.

Marca con la que es correcta, y completa -----, si es necesario.

CENTRO DE ACOPIO

Nombre del centro de acopio: _____

Ubicación: _____

Capacidad: _____

1. ¿Cómo se llaman las minas que abastecen el centro de acopio?

2. Señale el costo de transportar el carbón de mina a centro de acopio por tonelada de carbón.

20.000 – 30.000

30.000 - 40.0000

40.000 – 50.000

Otro: _____

3. Señale el costo de transportar el carbón de centro de acopio a cliente (puerto) por tonelada de carbón.

100.000 - 120.000

120.000 – 140.000

140.000 – 150.000

Otro: _____

4. Señale el costo por tonelada de carbón en centro de acopio.

20.000 – 30.000

30.000 – 40.000

40.000 – 50.000

5. Señale el tipo de transporte utilizado para transportar el mineral.

- Volqueta sencilla 10 toneladas
 Volqueta doble troque 20 toneladas
 Tracto mula 32 toneladas

6. ¿Cuál es el proceso de recibido del mineral al centro de acopio?

7. ¿El centro de acopio cuenta con la disponibilidad de un laboratorio en las instalaciones?

- Si
 No

8. Señale la clase de pruebas que se le realizan al mineral.

- Porcentaje de cenizas
 Materias volátiles
 Factor de hinchamiento
 Humedad
 Poder calorífico
 Carbono fijo
 Azufre
 Petrografía
 Macérales
 Plasticidad

Otros: _____

9. Señale los equipos y herramientas utilizadas en el laboratorio

- Mufla
 Balanza
 Sulfuro metro
 Ash probe

Otros: _____

10. Señale el tiempo de stand bike del mineral en el centro de acopio.

- 15 días – 30 días
 30 días – 45 días
 45 días – 60 días

11. Señale el tipo de equipos y herramientas en el centro de acopio.

- Bascula para carros
 Cargador
 Pala excavadora

12. ¿Cuáles son los requerimientos de los clientes?

13. Señale la documentación enviada a los clientes.

Ficha técnica del carbón

Facturación

Guía técnica del viaje

14. ¿Cuál es el consumo del cliente?

15. ¿Cuál es la Capacidad del centro de acopio?

16. Señale si sus clientes son:

Regionales

Nacionales

Para exportación (puerto)

Nómbrelos: _____

17. Señale el tiempo que lleva completar un buque en puerto.

15 días – 30 días

30 días – 60 días

60 días – 90 días

18. Señale el porcentaje de carbón devuelto.

2% - 5%

5% - 8%

8% - 10%

