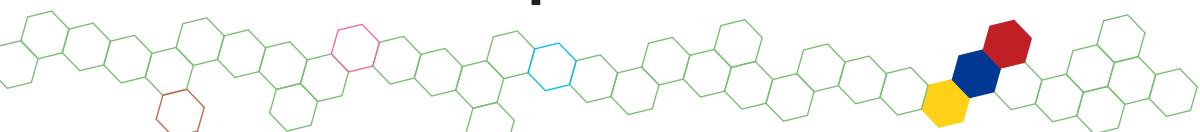


Caracterización de los Procesos Asociados a la Producción de Materiales para la Construcción y Productos Derivados en Sucre, Colombia.

Un Enfoque de Integración y Colaboración para la Mejora de Competitividad



Holman**Ospina Mateus**
Jorge**Bravo Madera**
Jairo**Montero Pérez**
Angelly**Pérez Fernández**



Caracterización de los procesos asociados a la producción de materiales para la construcción y productos derivados en Sucre, Colombia.

Un enfoque de integración y colaboración para la mejora de competitividad

Núcleo

Procesos Asociados a la Producción de Materiales para
la Construcción y Productos Derivados

*Holman Ospina Mateus
Jorge Bravo Madera
Jairo Montero Pérez
Angelly Pérez Fernández*



2019

Este libro es resultado de investigación, evaluado bajo el sistema doble ciego por pares académicos.

Diego Fernando Hernández Losada
Director de Colciencias

Edgar Enrique Martínez Romero
Gobernación de Sucre

Merlys Cristina Rodelo Martínez
Secretario de Educación Departamental de Sucre

Noel Morales Tuesca
Rector de la Corporación Universitaria del Caribe- CECAR

Jhon Víctor Vidal Durango
Vicerrector de Ciencia, Tecnología e Investigación CECAR

Piedad Martínez Carazo
Directora Científica Proyecto

Andrés Vergara Narváez
Asistente Operativo del proyecto

Rafael Bustamante Lara
Coordinador de núcleos

Jorge Luis Barboza
Coordinador Editorial CECAR

Libia Narváez Barbosa
Directora Literaria

© 2019, Holman Ospina Mateus, Jorge Bravo Madera, Jairo Montero Pérez, Angelly Pérez Fernández, autores.

ISBN: 978-958-5547-00-1 (impreso)

ISBN: 978-958-5547-31-5 (digital)

DOI: <https://doi.org/10.21892/9789585547315>

Sincelejo, Sucre, Colombia

Caracterización de los Procesos Asociados a la Producción de Materiales para la Construcción y productos derivados en Sucre, Colombia. Un enfoque de Integración y Colaboración para la Mejora de Competitividad. Núcleo Procesos Asociados a la Producción de Materiales para la Construcción y Productos Derivados. / Holman Ospina Mateus...[y otros tres] . – Sincelejo : Editorial CECAR, 2019.

260 páginas : ilustraciones, gráficas, tablas ; 23 cm.

Incluye referencias bibliográficas al final del texto.

ISBN: 978-958-5547-00-1 (impreso)

ISBN: 978-958-5547-31-5 (digital)

1. Minas – ARMARC 2. Recursos Minerales - ARMARC 3. Minerales - ARMARC I. Ospina Mateus, Holman II. Bravo Madera, Jorge III. Montero Pérez, Jairo IV. Pérez Fernández, Angelly V. Título.

622.286113 ID19 2019

CDD 21 ed.

CEP - Corporación Universitaria del Caribe, CECAR. Biblioteca Central - COSiCUC

Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1 Generalidades	16
1.1.1 Planteamiento del Problema	16
1.1.2 Justificación	17
1.1.3 Aspectos Metodológicos y Fases de Investigación	18
2. CONTEXTO DE LA MINERÍA GLOBAL Y NACIONAL	21
2.1 La Minería desde la Prehistoria	23
2.2 Clasificación de los Tipos de Yacimientos	28
2.3 Métodos y Sistemas de Explotación	29
2.4 Clasificación de los Sistemas de Arranque para la Explotación de Materiales	31
2.5 Principales Productores de Minerales No Metálicos a Nivel Mundial	34
2.6 Historia y Estado Actual de la Minería en Colombia	38
2.7 Marco Legal en Materia Minera en Colombia	51
2.8 Entidades Relacionadas con el Sector Minero en Colombia	54
2.9 Títulos Mineros en Colombia	59
2.10 Cadena de Valor del Sector de la Construcción en Colombia	63
3. PLATAFORMA DE SOLUCIONES LOGÍSTICAS EN LA MINERÍA GLOBAL	65

3.1	Cadena de Suministro Global de la Minería	72
3.2	Colaboración en la Cadena de Suministro	77
3.2.1	Principales Componentes de la Colaboración.	77
3.2.2	Tipos de Colaboración	79
3.2.3	Cadena de Suministro Global	80
3.2.4	Cadenas de Suministro de la Minería	81
3.3	Métodos de Solución para la Optimización de la Cadena de Suministro Global de la Minería No Metálica	82
3.4	Beneficios de la Planificación Colaborativa.	85
4.	DIAGNÓSTICO MINERO NO METÁLICO DEL DEPARTAMENTO DE SUCRE.	87
4.1	Departamento de Sucre y Minería Regional.	89
4.2	Ubicación Geográfica de las Principales Zonas de Explotación y Procesamiento de Materiales Agregados para la Construcción	99
4.3	Canteras, Extractores o Productores en el Departamento de Sucre.	105
4.4	Actividad Minera en Extracción de Materiales de Construcción	108
4.4.1	Minería a Cielo Abierto	109
4.5.	Explotación de Arenas y Arcillas	110
4.6	Perfil Sobre Extracción de Minerales No Metálicos.	112
4.7	Perfil Transportistas.	114
4.8	Perfil Plantas de Procesamiento.	116

4.9	Transportistas de Minerales No Metálicos en el Departamento de Sucre	118
4.10	Comercializadores de Minerales No Metálicos en el Departamento de Sucre	122
4.11	Consumidores de Minerales No Metálicos en el Departamento de Sucre	126
5	CARACTERIZACIÓN DE MINERÍA NO METÁLICA EN DEPARTAMENTO DE SUCRE	129
5.1	Caracterización de Procesos Productivo de Agregados de Piedra Caliza y Derivados.	131
5.1.1	Remoción o Eliminación del Material Estéril	132
5.1.2	Extracción del Material o Materia Prima en el Departamento de Sucre.	134
5.1.3	Cargue del material	136
5.1.4	Transporte del Material.	137
5.1.5	Descargue del Material	138
5.1.6	Trituración	138
5.1.7	Clasificación del material triturado	140
5.1.8	Acopio o almacenamiento del material.	141
5.1.9	Venta	142
5.1.10	Cadena de Valor de Materiales para la Construcción en el Departamento de Sucre.	145
5.1.11	Cadena de Comercialización de Materiales para la construcción en el departamento de Sucre	146
5.1.12	Capacidad Productiva y Volúmenes de Producción del Sector	152

5.1.13	Tiempo de Funcionamiento de las Organizaciones	156
5.1.14	Turnos de Trabajo	156
5.1.15	Cantidad de Trabajadores por Empresa	157
5.1.16	Diagnóstico de Seguridad y Salud en el Trabajo . .	158
5.1.17	Inversión en Publicidad de los Negocios de Agregados para la Construcción.	160
5.1.18	Documentación y Registros de las Empresas del Sector de Agregados para la Construcción.	160
5.1.19	Transporte y Distribución de los Agregados.	163
5.2	Caracterización de la Cadena de Suministro de la Arcilla en el Departamento de Sucre	164
5.2.1	Descripción del Proceso de Producción de una Ladrillera Objeto de Aplicación en el Departamento de Sucre	175
5.2.2	Descripción del Proceso de Producción de ladrillera. caso de estudio.	175
6	MODELOS DE OPTIMIZACIÓN EN LA MINERÍA GLOBAL	185
6.1	Modelo de Optimización para la Cadena de Suministro Global de la Minería No Metálica Bajo la Consideración de Estructuras de Colaboración con Elementos de Planeación de la Capacidad	187
6.1.1	Modelo Conceptual	189
6.1.2	Modelo Matemático	191
6.2	Modelo Matemático Multiobjetivo para la Planeación Colaborativa de la Cadena de Suministro de los Materiales para la Construcción.	205

6.2.1	Definición del Problema	206
6.2.2	Parámetros del Modelo	207
6.2.3	Supuestos	207
6.2.4	Formulación del Modelo Matemático Multiobjetivo para la Planeación Colaborativa de la Cadena de Suministro los Materiales para la Construcción.	212
7	CONCLUSIONES.	215
7.1	Introducción	217
7.2	Oportunidades y Potencial Minero en el Departamento de Sucre	218
7.3	Aspectos Generales	222
7.4	Conclusiones en Sector Caliza.	225
7.5	Conclusiones e sector Arcilla	226
7.6	Justificación de un Clúster Minero.	228
7.6.1	Enfoque del Sector de Construcción:	230
7.6.2	Segmentos de Negocio Estratégico del Sector de Construcción:	231
7.6.3	Panorama del Sector de Construcción:.	232
Bibliografia	235

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a Carter (2012) la industria minera es un sistema extremadamente complejo y dinámico, que está inmerso en un mercado que se distingue por un gran número de partes interesadas con objetivos disímiles, evolucionando de forma poco sinérgica, en medio de los ciclos de auge e inestabilidad. Pimentel et al., (2016) afirman que muchas empresas mineras pueden necesitar un cambio estructural para su viabilidad, a través de la reducción de costos, enfoque en la productividad y los rendimientos de valor para los accionistas, disciplina en la asignación de capital, y la adopción de nuevas formas de innovación, incluidos nuevos enfoques para tratar con las comunidades locales, los gobiernos y los organismos reguladores.

Para Hopwood (2014) los principales problemas que afectan al rendimiento de minería son los bajos niveles de productividad; altos costos de producción e inversión; precios altamente inestables; un imperativo de innovación, con un enfoque más integrado al diseño y la planificación de la mina, y la atención al suministro de energía y la demanda; altos niveles de endeudamiento, y una tendencia a la consolidación del mercado; prácticas de asignación de capital cuestionables; intensificación de las demandas de las comunidades en la licencia social para operar; creciente hostilidad en las relaciones del gobierno; entornos normativos cada vez más estrictos; un imperativo de cero muertes y una brecha significativa en la adquisición y retención de talento humano.

Al analizar la minería en el departamento de Sucre es interesante su vocación minera, la cual no se desliga de los problemas antes mencionados que afectan la productividad de la región. El departamento de Sucre corresponde casi al 1% del territorio nacional y casi el 2% de la población nacional, cuenta con más de 26 municipios, donde el 66% de la población habita en cabeceras municipales y el resto en áreas rurales. A través de los últimos años en el departamento de Sucre se ha consolidado en el sector minero, debido a su dedicación a la extracción y procesamiento de

materias primas en el mercado de construcción, esto se evidencia como un mercado creciente y con altas oportunidades de proyección económicas, de modo que han permitido la aparición de nuevos actores locales, los cuales han crecido a grandes ritmos y generan nuevos emprendimientos en la fabricación de materiales de construcción. Las actividades mineras se concentran inicialmente en Sincelejo y en los municipios de Toluviejo (cerros de Coraza y serranía de Toluviejo) y Tolú, ubicados en el noroccidente del departamento de Sucre, en la subregión del golfo de Morrosquillo. (Departamento Nacional de Planeación, 2015).

El crecimiento del sector está controlado por la industria de la construcción, donde se fabrican concretos, mortero, mezclas asfálticas, prefabricados y otras materias primas propias para el desarrollo de proyectos de vivienda, inmobiliarios entre otros. Este sector minero se caracteriza por su dependencia en el ciclo económico y el peso de las actividades económicas de una región. El mejoramiento en calidad de vida de una región se fundamenta con la calidad de sus viviendas, su entorno urbanístico y la definición de las facilidades para el asentamiento poblacional. De esta forma, un desarrollo del sector de la construcción demandará productos mineros y asociados. A nivel mundial es latente el impacto que genera un producto como el cemento, bajo la expectativa de desarrollo global. El sector de la construcción espera continuar sostenido y en crecimiento. (Departamento Nacional de Planeación, 2015).

Los materiales e insumos propios de las actividades de explotación minera permiten la obtención de productos a base de piedras calizas y materiales de arrastre, principalmente arcillas y arenas, que incluyen el carbonato de calcio, marmolina, clinker, triturado, polvillo, cemento portland, cemento blanco y arena lavada. Entre las propiedades que potencializan la minería de la región, en Toluviejo el nivel de calidad de la caliza se alcanza un nivel de pureza del 98% de Carbonato de Calcio (CaCO_3), hallada en mantos terrestres de máximo 150 metros de espesor, cuyas variedades pueden tener usos desde agregados para la construcción hasta productos de gran interés en el desarrollo territorial. Además, se cuenta con yacimientos de arcillas, fundamentales para la producción de cemento, con variadas aplicaciones en el mercado.

De acuerdo con la Agencia Nacional Minera (ANM) existen en el departamento 10,4 mil hectáreas concesión minera, de las cuales el 33,6%

están en etapa de exploración, el 10,5% está en construcción y montaje, el 55,9% están en etapa de explotación. De la totalidad de productos que se extraen el 94,1% están dedicadas a materiales de construcción (arena, arcilla, grava, caliza, entre otras).

La minería contribuye con la generación de 350 mil empleos directos, equivalentes al 1.5% de la generación de empleo en el país. Este sector genera un encadenamiento productivo debido a la integración de varias actividades económicas como el transporte, la infraestructura, los servicios financieros, los productos químicos, entre otros y debido a los proyectos de Cuarta Generación que se adelantarán en el periodo 2015- 2020, crecerán de manera importante los sectores de cemento, asfalto y agregados, con requerimientos aproximados 75 millones de toneladas de dichos insumos para bases, sub bases, asfaltos y concretos hidráulicos, presentando una oportunidad de crecimiento para el sector en el departamento de Sucre.

El departamento de Sucre en su formación geológica presenta características que le permiten desarrollar actividades de minería, especialmente de materiales no metálicos. La minería no metálica se compone de los materiales agregados para la construcción. Estos agregados se dividen en dos grupos, agregados finos como arenas, materiales de arrastre y arcillas, y agregados gruesos como derivados de la piedra caliza y margas. Siendo estos dos grupos materias primas fundamentales para la construcción.

La producción de materiales agregados para la construcción en el departamento de Sucre es realizada principalmente en la zona estratégica para la actividad minera Calamarí – Sucre, y en menor proporción en otros municipios. En vista del potencial minero y encadenamiento con el sector de la construcción, se debe comprender y fortalecer el modelo de negocio minero conociendo la condición actual del sector, actores, capacidades, características de proceso productivo para aumentar el crecimiento económico en procura de un desarrollo económico, humano y sostenible.

Las capacidades tecnológicas de producción del sector son artesanales, con baja tecnificación y participación de mano de obra no calificada. Los negocios mineros poseen inadecuados programas y estrategias de subsistencia dentro del mercado y la cadena de suministro, que va desde la extracción hasta la comercialización, lo cual los hacen pocos competitivos y

rentables con respecto al resto de las regiones. Es importante resaltar que los índices de construcción han aumentado, se ha generado un impacto directo en las compañías y empresas de servicios, sin olvidar que el objetivo de este sector está dado por la fabricación de materiales de construcción (Comisión Regional de Competitividad, 2014). Aunque el mercado nacional seguirá creciendo a ritmos interesantes, se están produciendo una serie de cambios en el negocio que van a afectar de forma clara a los actores locales: la mayor concentración de la distribución y el incremento de las importaciones y las inversiones directas de jugadores internacionales.

El impacto generado dentro del sector está dado por un conjunto de causas entre las cuales se encuentran: inadecuada estructuración de políticas públicas; insuficiencia en planes de desarrollo tanto departamental como municipales; vacíos normativos en la consigna de títulos mineros; escasa vías de conexión primarias y secundarias; y bajo nivel de transferencia tecnológica. Por todo lo anterior, el nivel de desarrollo de la región es bajo, las cifras de pobreza son alarmantes, y el nivel de empleabilidad es deficiente (Departamento Nacional de Planeación, 2015).

Las características generales en nivel de desarrollo de la región no son competitivas, los desarrollos de los negocios son de baja escala, los costos logísticos relacionados no son los deseados en términos de gestionar adecuadamente las cadenas productivas mineras dentro de la región (PEDCTI, 2013). Es inminente trabajar en el desarrollo de alternativas que promuevan la competitividad de la región. Por ejemplo, la penetración en nuevos mercados, el desarrollo de sistema logísticos, la disminución de costos de transportes y asociados, generación de economías de escalas, precios atractivos al mercado, disponibilidad y oportunidad en respuesta a la demanda, y elevar el nivel de calidad de los materiales de construcción.

Estas características de producción, comercialización y oferta de materiales, que intervienen en el sector, son la oportunidad para potencializar el sector minero no metálico en el departamento de Sucre, debido al crecimiento de los índices de construcción y con el conocimiento de las condiciones actuales asumiendo su baja tecnificación y métodos artesanales de producción, se podrían generar estrategias que permitan la formalización de minera, aumentar la competitividad del sector, y potencializar las oportunidades y proyecciones futuras del sector en el departamento de Sucre.

El desarrollo del documento está contenido en las siguientes Fases:

- Introducción: este ítem contiene los elementos base del estudio, que plantea y justifica el problema, así como su estructura metodológica.
- Contexto de la minería global y nacional: en este capítulo se definen en contexto teórico los precedentes de la minería a nivel mundial, y se evidencian las estructuras de producción para la extracción de minerales. Desde el contexto colombiano se define su historia, el marco normativo y legal, así como las entidades involucradas, los títulos mineros y la definición de su cadena de valor.
- Plataformas de soluciones logísticas en la minería global: este apartado define elementos teóricos, conceptuales y referenciales en las cadenas de suministro y su desempeño en la Minería Global. Dentro los elementos relevantes se contextualizan los mecanismos de colaboración, cadenas de suministro global, métodos de optimización y sus beneficios.
- Diagnóstico de la minería no metálica en el departamento de Sucre: este capítulo desarrolla una identificación de las estructuras mineras de la región, definiendo las actividades necesarias para la extracción, el perfil de los actores involucrados (Extractores, Transportadores, Procesadores-trituradores, Transportadores, Comercializadores y Consumidores).
- Caracterización de minería no metálica en Departamento de Sucre: esta etapa del documento define las estructuras de procesos productivos para la extracción de agregados como lo es la caliza y la arcilla, describiendo su cadena de valor y actividades claves.
- Modelos de optimización en la minería global: esta fase del documento, define los mejores modelos que se pueden implementar desde el contexto de la optimización matemática que pueden ser aplicables para la integración y colaboración de la cadena de suministro de la minería global, que permite la cooperación y la interacción de un flujo de producción que se enfoca en productos minerales.
- Conclusiones: en este aparte se consolidan todas las estrategias que propendan por la potencialización del sector de la minería no metálica del departamento de Sucre, recogiendo información clave desde la identificación, el diagnóstico y caracterización, que conllevan a un adecuado modelamiento que tribute a la generación de alianzas para la conformación de un clúster de la minería en Sucre.

1.1 Generalidades

1.1.1 Planteamiento del Problema

En el Departamento de Sucre de acuerdo con el registro minero nacional del año 2016, suministrado por la agencia nacional minera, existen 64 títulos mineros. El sector minero en Sucre está representado principalmente por la extracción de agregados, refiriéndose a cualquier combinación de arena, grava o roca triturada en su estado natural o procesado, estos agregados se subdividen en agregados finos y gruesos. Los agregados finos están representados por arenas naturales de depósitos aluviales, materiales de arrastre y arcillas, con granulometría entre 1/16 y 5 mm, mientras los agregados gruesos corresponden a piedra caliza y margas, con fracciones superiores a 5 mm, los cuales son básicos para la construcción (Agencia Nacional Minera, 2016).

Para la explotación de estos materiales, y aprovechando las características geológicas del terreno, el Ministerio de Minas y energía en sus funciones de administrador de los recursos naturales, delimitó en el Departamento de Sucre un área estratégica con alto potencial minero de materiales para la construcción, denominado, distrito minero de Calamarí-Sucre. El distrito está integrado por los municipios de Toluviejo, Tolú y Sincelejo y ocupa un área de 626 kilómetros cuadrados. Estos municipios realizan la mayor parte de actividad minera y suministro de materiales agregados para la construcción del Departamento (INCOPLAN S.A, 2010).

De los 64 títulos mineros vigentes, en el área de Calamarí - Sucre se encuentran ubicados 33 títulos distribuidos en los municipios de Tolú, Sincelejo y Toluviejo, en los que predomina la explotación de materiales pétreos o agregados de piedra caliza para la construcción (Ministerio de Minas y Energía, 2016). Por eso, no es extraño que la minería en el distrito minero sea el polo de desarrollo y se encuentre priorizado por el departamento y represente una de las actividades económicas de mayor importancia y apoyo al sector de la construcción, aportando cerca del 10% al PIB Departamental.

Esta actividad de extracción y procesamiento de materiales agregados se ha realizado a través de diferentes actores, entre ellos grandes empresas que posee alto grado de tecnificación y capacidad productiva, pero también de

manera artesanal por parte de los pequeños mineros que trabajan agrupados en asociaciones. En este caso, los pequeños mineros o asociaciones utilizan procesos de minería con técnicas muy primarias y poco tecnificadas, que traen consigo alto riesgo y condiciones socioeconómicas difíciles para los productores. (PEDCTI, 2013)

La actividad minera, principalmente la pequeña y mediana minería posee un bajo nivel tecnológico, con métodos o modos de producción artesanales, donde estos materiales extraídos no sigue parámetros establecidos que garantice la eficiencia de los procesos, seguridad e integridad de las personas, en el cual se hace evidente en la baja formalización, uso de técnicas artesanales, escasa de planeación y afecta tanto a los trabajadores expuestos a tales condiciones inseguras, como los niveles de ingresos y productividad de la empresa minera.

Analizando estos factores de baja tecnificación, labores de alto riesgo, escasa planificación y formalización de la actividad, encontramos que en la información referente del sector de la minería no metálica en el departamento de Sucre, no existen estudios e investigaciones referentes a la condición actual del sector que permitan conocer las características del sistema productivo, y los aspectos inmersos en la cadena logística y comercial del sector, para así poder identificar las oportunidades de mejoras y debilidades que enfrenta el sector en el Departamento.

1.1.2 Justificación

Según el estudio técnico sectorial del 2010: infraestructura para transporte multimodal y de logísticas integradas para el desarrollo de la industria minera en Colombia, con énfasis en puertos, elaborado para el Ministerio de Minas y Energía, el departamento de Sucre actualmente cuenta con un distrito minero llamado Calamarí-Sucre el cual está integrado por los municipios de Toluviejo, Tolú y Sincelejo y ocupa un área de 626 kilómetros cuadrados (INCOPLAN S.A, 2010, p. 28), además gran parte de esta actividad es desarrollada en el municipio de Toluviejo, en el cual, las operaciones realizadas en este sector poseen un bajo nivel tecnológico, con métodos o modos de producción artesanales según PEDCTI (2013), además la información con la que se cuenta actualmente es escasa y se desconocen diferentes aspectos del panorama minero en el departamento, por lo que realizando una caracterización del sector minero no metálico en

el departamento podremos conocer la condición actual del sector, debido a que actualmente no se han realizado investigaciones formales, veraces y actualizadas de carácter público, las cuales permitan conocer el estado actual de las empresas que integran el sector, los procesos y las condiciones en las que los trabajadores realizan su trabajo.

Como lo señaló el documento PEDCTI (2013), la minería de no metales en Sucre requiere el desarrollo de modelos de trabajo asociado para la explotación eficiente de los yacimientos por parte de pequeños productores, pero también para generar alternativas a la sostenibilidad de las explotaciones, la generación de ingresos a las familias y la erradicación del trabajo infantil.

La realización de esta actividad minera debería ser realizada de manera racional e integral, generando el menor impacto ambiental, analizando las consecuencias sociales, cumpliendo la normatividad y legislación vigente de seguridad. Existen tres aspectos claves como son el sistema productivo, comercial y logístico del sector. Los resultados de la investigación permitió analizar estos procesos, sus principales características, debilidades, fortalezas y sugerir alternativas de mejora para los productores o pequeños mineros agrupados en asociaciones quienes de manera artesanal, con técnicas muy primarias y poco tecnificadas, mejorando así las condiciones de seguridad en el trabajo, y aumentando la productividad de las empresas. Esta investigación servirá de base para posteriores investigaciones o estudios en el sector minero que deseen realizar el ministerio de minas y energía, la gobernación, la cámara de comercio, el DANE, las secretarías de gobierno u otras entidades o investigadores particulares en el departamento de Sucre.

1.1.3 Aspectos Metodológicos y Fases de Investigación

El presente estudio buscó conocer las características del sistema productivo, la cadena logística y comercial del sector de materiales para la construcción en el departamento de Sucre, considerando un enfoque de integración y colaboración para la mejora de competitividad, y la conformación de un clúster minero.

Metodológicamente el estudio comprendió inicialmente la revisión de la literatura internacional como textos o estudios sobre minería artesanal, a pequeña y mediana escala, programas, políticas internacionales de minería

no metálica, principales productores a nivel mundial. Nacionalmente se consultó la historia, estudios de pequeña y mediana minería, informes sobre el censo minero en Colombia, diagnósticos regionales o sectoriales.

A nivel local se recopilo información del sector minero y la situación de los municipios mineros, los centros de extracción, producción y procesamiento de minerales no metálicos que se encuentran ubicados u operan en el departamento de Sucre, la titulación minera vigente en departamento y los actores pertenecientes a la cadena productiva del sector de materiales para la construcción.

La identificación de estas zonas de extracción y producción de minerales no metálicos, se llevó a cabo mediante un trabajo de campo de visitas al sector, donde se realizó una serie de encuestas validadas, entrevistas y observaciones directas principalmente para identificar los procesos y aspectos generales, las cuales permitieron identificar las características de los procesos productivos, logísticos y comerciales que actualmente posee el sector minero no metálico en el departamento de Sucre así mismo las características del área y zonas de producción. La encuesta relaciona aspectos productivos, socioeconómicos, comerciales, y logísticos. La encuesta cobijo 34 organizaciones entre asociaciones, trituradores y extractores.

Finalmente, identificadas las características se realizó el diagnóstico del estado actual del sistema productivo, logístico y comercial del sector minero no metálico en el departamento de Sucre, el mapa de actores de la cadena, el panorama laboral y seguridad del strabajo, las capacidades de producción, entre otros aspectos relevantes, que son posible objeto de estudio para establecer oportunidades de mejoras, desventajas y fortalezas.

Adicionalmente, se consolidaron los modelos matemáticos de integración, colaboración y flujo para la producción minera que pueden aportar en la definición de políticas que conformen estrategias de cooperación que fortalezca el desarrollo del sector de la minería en Sucre.

2. CONTEXTO DE LA MINERÍA GLOBAL Y NACIONAL

2.1 La Minería Desde la Prehistoria

La minería ha sido sin dudas una de las actividades más antiguas de la civilización humana, esta actividad potenciada con el aumento demográfico, el aumento progresivo de la agricultura intensiva, la industrialización y la urbanización, destinado a atender las necesidades de las poblaciones humanas, ha transformado los paisajes naturales por el cambio de la topografía, cubierta vegetal, física y las propiedades químicas del suelo, y los saldos de agua en el suelo (Tarolli, Preti, & Romano, 2014)the terraces related to agricultural activities are of great importance. This technique is widely used in various parts of the world under various environmental conditions. In some areas, terraced landscapes can be considered a historical heritage and a cultural ecosystem service to be adequately preserved. However, terraced landscapes subject to abandonment can progressively increase gully erosion and cause terrace failure. Partly because of changes in societal perspective and migration towards metropolitan areas, some countries have been affected by serious and wide abandonment of agricultural lands in recent decades. This review aims to discuss the current state of agricultural terraced landscapes, underlining critical issues and likely solutions. The paper is structured in three main sections. The introduction provides an overview of the available literature on terraced landscapes and their critical issues. The second section presents three case studies: the first is located in the so-called Cinque Terre area (Liguria, Northern Italy, esto ha traído consigo un aumento en la generación de recursos para la supervivencia de las sociedades, además tal industrialización y urbanización ha aumentado lo producción de materiales para la construcción y generación de nuevas tecnologías.

Si nos detenemos por un momento a pensar y tomar una posición reflexiva sobre la gran influencia de la minería en el progreso de la humanidad, tenemos que relacionarla con los períodos tempranos evolutivos del hombre en la prehistoria y así acentuar su relevancia en

el cambio de la edad de piedra a la edad de los metales. Aquí toma su verdadera importancia, el valor que los materiales tenían en ese entonces estaba directamente asociado a las necesidades de supervivencia, y el grado de perfección, transformación y utilización simbolizaba una innovación tecnológica en esa época (Armengot, Espitia, & Vazquez, 2005).

Inicialmente se debe comprender que el reino mineral está constituido por sustancias inanimadas que hacen parte de la composición del planeta, y el proceso de transformación que ha sufrido este con el paso de las eras geológicas del planeta. Estas sustancias casi siempre son compuestos químicos inorgánicos, constituidos por la unión o combinación de dos elementos químicos, y es la necesidad del hombre prehistórico lo que permite transformar estas sustancias para su beneficio. Desde sus inicios los humanos se caracterizaron por la capacidad de transformar su entorno y convertir lo que poseían o les brindaba el medio en herramientas, que asimismo las utilizaba para facilitar su trabajo, generar defensas de los depredadores. Es por ello que hablar de minería es hablar de la historia de la humanidad, esta estuvo presente en las actividades más antiguas y básicas desarrolladas por el hombre, no siendo así casualidad en la historia de la humanidad referirse a la edad de piedra como el periodo donde el hombre aparece en la escena universal, este a su vez domina el fuego y adquiere algunas técnicas, le permitió procesar los metales y materiales que constituyeron la primera revolución tecnológica del mineral. En el primer periodo de desarrollo del hombre, conocido como periodo paleolítico o edad de piedra, comenzó aproximadamente 2,5 millones de años y culmino cerca del año 8000 a.C. se puede evidenciar en los hallazgos arqueológicos en su gran mayoría ubicados en África, herramientas de piedra, cuarzo cristalino, sílice amorfa, elaboradas por los homínidos, esto cerca de hace 2 millones de años. Hace 1,5 millones de años apareció la industria lítica en el cual el Homo Erectus realizó utensilios de piedra con una forma pre establecida, buscando la simetría de las herramientas y así se mantuvieron por cerca de 1 millón de años más, hasta cerca de hace 200,000 a.C y 40.000 a.C años donde estas herramientas adquieren unas características más refinadas y mejor estética. Ya en el paleolítico superior hace cerca de 12000 años, el Homo Neanderthalis y el Homo Sapiens fabricaban hojas de piedras cortantes y muy finas, en materiales de muy buena calidad, y así prevaleció hasta el Neolítico hace 5.000 años, cuando en partes de

Europa como Alemania, Suiza, Bélgica, Holanda, Polonia empezaron a ser extraídos de la parte subterránea del suelo nuevos materiales como el sílex que brindaba a las herramientas mayor calidad, aquí se evidencio las primeras manifestaciones de minería subterránea, siendo así las rocas hasta ese momento de la historia la materia prima más utilizada en todo el mundo (Armengot et al., 2005).

Después de esto aparece la edad de bronce donde inicialmente se trabajaba el cobre encontrado en yacimientos superficiales, mediante métodos en frío por medio del moldeo por golpes o en caliente sometiéndolo a temperaturas cercanas a los 300° C, para mejorar su maleabilidad, y es hasta cerca del 3000 a.C. cuando aparece el estaño generando la aleación de bronce, la cual poseía mayor dureza y resistencia a la corrosión. Otro paso importante que se empezaba a incubarse entonces es la utilización de piedras o bloques gigantes para los inicios de la construcción de las grandes pirámides por parte del imperio Egipto (Armengot et al., 2005).

Finalizando el segundo milenio a.C. comienza la edad del hierro, esta se cree que se empleó por primera vez en la India, Mesopotamia y Asia Menor y que se utilizó en el valle del Indo para hacer herramientas. También se produjo en Egipto de manera esporádica, fabricando objetos de hierro. Para ese tiempo en Europa y el Mediterráneo el suministro de estaño se vio restringido y colapso por la aparición de tropas extranjeras o pueblos del mar, para quitar fortaleza al imperio Romano, esto causo y propicio la búsqueda y aparición de un nuevo material sustituto, que era poco utilizado hasta ese entonces, el hierro. El hierro en ese entonces era muy difícil de producir debido a las altas temperaturas a la cual debe producirse, a diferencia del bronce que se podía tratar a temperaturas fáciles de alcanzar. Este hierro poseía la desventaja de ser altamente corrosivo y de baja calidad por el nivel de impurezas que poseía, pero gracias a la aparición de los primitivos hornos de fuelle que dio paso al acero. En la revolución industrial se logró producir altos volúmenes de producción de aceros y hierros, llegando esta edad del hierro hasta nuestros días y ser la base de las estructuras actuales, junto a los materiales agregados, cements, cerámicas y demás que son comúnmente utilizados en las construcciones modernas (Armengot et al., 2005).

La minería es en sí una actividad económica, que funciona sobre bases legales, aspectos técnicos y comerciales, esta es una actividad extractiva, es

decir que la sustancia que se requiere debe ser extraída de la mina o cantera y llevada a su lugar de uso o de industrialización. Esta actividad consiste en el proceso de excavación y recuperación de mineral y rocas de desecho asociados de la corteza terrestre, pero como dice el autor Haldar (2013), el Principio de la minería no es maximizar la producción de mineral o material sino a objetivos en la generación de mínimos o cero residuos y el desarrollo sostenible a largo plazo de los activos no renovables (Haldar, 2013).

La minería es una actividad integral de la sociedad moderna que tiene una larga historia y se presenta en una amplia gama de configuraciones geomorfológicas (Chen, Li, Chang, Sofia, & Tarolli, 2015). Las actividades mineras pueden tener un impacto significativo sobre la geomorfología y la hidrología de las cuencas, tanto durante la minería y durante muchos años después de la extracción (Hancock et al, 2008; Herrera et al, 2010). De acuerdo con Wilkinson, los seres humanos cada vez más mueven grandes cantidades de roca y sedimentos durante las diversas actividades de construcción y explotación de yacimientos, por lo tanto, se convierte en un agente geológico(Wilkinson, 2005). La minería también ha sido de interés para los geomorfologías e investigadores ambientales debido a sus implicaciones para los peligros y los procesos geomorfológicos o como va cambiando la superficie terrestre debido a estas actividades (Mossa & James, 2013). La minería a cielo abierto impone efectos ecológicos graves en la tierra, con alteraciones que afectan a la vegetación, el suelo, la roca madre y accidentes geográficos (Martín-Duque et al, 2010)mostly from Australia, Canada and the USA. This paper discusses the reclamation problems of contour mining and quarries on slopes, where steep gradients are prone to both mass movement and water erosion. To address these problems simultaneously, a geomorphic model for reclaiming surface mined slopes is described. Called the 'highwall-trenchconcave slope' model, it was first applied in the 1995 reclamation of a quarry on a slope (La Revilla, que contribuyen a los cambios en la hidrología de superficie, los niveles de agua subterránea y vías de flujo.

Para la extracción de los materiales se necesita un método, este método consiste en proceso iterativo, que permite llevar a cabo por medio de un conjunto de procesos, sistemas y máquinas que funcionan de una

forma ordenada, repetitiva y rutinaria. En el sentido más amplio de su clasificación solo existen dos métodos los cuales son:

- Explotación de minería subterránea o interior
- Explotación minera de superficie o a cielo abierto

Los métodos de minería de superficie “a cielo abierto”, está caracterizada por la extracción de grandes volúmenes de material, así mismo consiste en explotación de minerales en los que al depósito se accede por la excavación de una gran abertura superficial en el suelo que expone el mineral. Un desafío global en los próximos años es el suministro respetuoso de estos recursos no renovables para satisfacer la demanda cada vez mayor de la sociedad, generando el menor impacto al medio ambiente y que la producción sea económicamente atractiva (Shishvan & Sattarvand, 2015)non-linear constraints and real technical restrictions. The proposed process is programmed and tested through its application on a real scale Copper\u2013Gold deposit. The study revealed that the ACO approach is capable to improve the value of the initial mining schedule regarding the current commercial tools considering penalties and without, in a reasonable computational time. Several variants of ACO were examined to find the most compatible variants and the best parameter ranges. Results indicated that the Max\u2013Min Ant System (MMAS. Esta actividad minera tiene amplia `participación en la economía mundial generando así el 45% del PBI mundial, directamente o a través del uso de productos derivados de esto, que facilita a otras industrias. La minería a cielo abierto u open pit tiene tanta importancia mundialmente que más del 95% de todos los minerales no metálicos extraídos se realiza bajo operaciones de minería a cielo abierto, aproximadamente más del 90% de los minerales metálicos se extraen a cielo abierto y una gran parte del carbón (60%) se extraen por métodos superficiales(Shishvan & Sattarvand, 2015)non-linear constraints and real technical restrictions. The proposed process is programmed and tested through its application on a real scale Copper\u2013Gold deposit. The study revealed that the ACO approach is capable to improve the value of the initial mining schedule regarding the current commercial tools considering penalties and without, in a reasonable computational time. Several variants of ACO were examined to find the most compatible variants and the best parameter ranges. Results indicated that the Max\u2013Min Ant System (MMAS.

El subsuelo de la tierra es la única fuente para los productos energéticos fósiles y minerales, y la minería es la única manera de llegar a ellos. Para llegar a estos se emplea una amplia variedad de métodos de minería de superficie como son operaciones de perforación, voladura, carga y acarreo, que son comunes en la mayoría de los métodos.

También es común a la mayoría de los métodos la eliminación de la cubierta o vegetación de la superficie sobre el depósito, los cambios en la topografía original, los efectos sobre las condiciones del suelo e hidrológicos, los problemas de residuos de extracción y procesamiento, y el efecto sobre el futuro potencial económico de la minada zonas y comunidades. Sin embargo, el alcance de los problemas y las posibles soluciones a los problemas varían ampliamente y son a menudo específico en cada lugar de explotación del yacimiento. Si bien se necesitan investigación y desarrollo para hacer frente a los aspectos técnicos relacionados con estos problemas, se necesitan políticas innovadoras para abordar el problema general de la planificación ambiental y ecológica para el desarrollo después de la minería.

La mina subterránea es la que desarrolla su actividad de explotación en el interior de la tierra y puede profundizar en ella a través de túneles, ya sean verticales u horizontales. Seguido por el túnel entran las personas que trabajarán en la mina y entran la maquinaria, para que, al excavar, se pueda sacar en coches a la superficie. Dichos túneles tienen un sistema de ventilación que lleva el aire fresco a los mineros y evita la acumulación de gases peligrosos.

2.2 Clasificación de los Tipos de Yacimientos

Para la clasificación de los tipos de yacimientos de explotación por medio de minería a cielo abierto se tomó como base el libro de métodos de minería a cielo abierto publicado por Herrera & Ortiz de Urbina (2006) y es necesario en cuenta las siguientes características como son:

Forma: Establecer la morfología del terreno permitirá la secuencia o periodicidad de las explotaciones y el método de explotación más adecuado que se puede emplear.

Relieve del terreno original: El relieve o geometría que posee el terreno es sin duda una característica relevante, esta determina en gran medida el método de explotación del material, así mismo los medios

mecánicos posibles para la extracción de los materiales y su aplicabilidad en el lugar.

Proximidad a la superficie: La posición con respecto al espacio superficial permitirá establecer el tamaño de la zona de explotación, el tamaño de la planta, profundidad, y método de transporte de los materiales, esta clasificación se da en tres dimensiones.

Inclinación: Este depende del ángulo o talud en el cual se encuentre el material, permite establecer el método, afecta de la economía y costo de producción y al momento de recuperar ambientalmente el terreno puede afectar positiva o negativamente la facilidad o complejidad de recuperación.

Complejidad o número de mineralizaciones: Simples, su principal característica es la homogeneidad de su estructura, donde el material se explota continuamente y no existe otros niveles de mineralizadores en el lugar de explotación.

Distribución de la calidad del mineral en el yacimiento: Se clasifica en uniformes y no uniformes. Uniforme es clasificada de esta forma cuando la distribución del material es homogénea en todo el yacimiento. No uniformes, existe la presencia de mineralización, lo cual causa diferentes calidades del material en diferentes direcciones del yacimiento, lo cual obliga la mezcla para así obtener cierto grado de homogeneidad en los materiales extraídos.

2.3 Métodos y Sistemas de Explotación

Existen diferentes métodos para la explotación de materiales y este va a depender de las características estructurales y geográficas del suelo, en las operaciones a cielo abierto expuestas por Herrera & Ortiz de Urbina (2006), encontramos las siguientes:

Cortas: En este tipo, los yacimientos masivos o que poseen capas inclinadas, el proceso de explotación de los materiales se lleva a cabo de tridimensionalmente, por cortes de bancos descendente, en el cual en cada banco se realiza extracción de material, las explotaciones de este tipo pueden alcanzar en algunos casos los 300 metros de profundidad. Estas clases de explotaciones son características y tradicionales en la minería metálica, pero que en la década de 1970 mediante modificaciones se adoptó para yacimientos de carbón.

Descubiertos: Esta clase de método es característico en la minería del carbón y es aplicado a yacimientos horizontales con un solo banco, en el cual el recubrimiento estéril superficial es inferior a 50 metros, y para su explotación se realiza un avance unidireccional en el módulo de explotación, una vez haya realizado la excavación y extracción del material en el primer módulo, se remueve la capa estéril del siguiente y este es depositado en el módulo anterior, con el fin de restaurar el terreno.

Terrazas: Consiste principalmente en establecer un banco de explotación y avanzar unidireccionalmente, los yacimientos para las terrazas suelen ser un poco horizontales o varios niveles de mineralización, lo que permite depositar la capa estéril en la terraza anterior.

Contorno: Los métodos de explotación por contorno, se aplica a la minería que posee una configuración topográfica un poco desfavorable, inicialmente se remueve el material estéril con el fin de utilizarlo posteriormente para el relleno de la explotación, y el material útil se explota con sentido transversal hasta alcanzar un talud de banco único.

Canteras: Una cantera es un término general utilizado para hacer referencia a la explotación de rocas tipo industrial, materiales para la construcción y todas aquellas utilizadas como ornamentales o decorativas. Este constituye un sector muy importante, debido a que es la fuente de abastecimiento de materias primas utilizadas en el sector de construcción. Estas pueden dividirse en dos grupos, en el primer grupo se encuentran aquellas canteras en las cuales se explota un material fragmentado y es destinado para la producción de cementos, productos industriales o agregados. En el segundo grupo se encuentran las explotaciones donde se extraen bloques que permitan su posterior corte en piezas más pequeñas o demandadas por el mercado.

Graveras: En este tipo son explotados los materiales detríticos, a este grupo pertenecen las gravas, arenas, los cuales son transportados naturalmente en los valles o terrazas de fuentes hídricas dinámicas. Debido a que poseen una débil cohesión, la explotación en estos depósitos es realizada de forma directa por equipos mecánicos como son palas, cargadores o volquetas y suele realizarse a profundidades no superiores a los 20 metros. Esta clase de materiales tiene así mismo altos niveles explotación y se debe a la utilidad en el sector de construcción.

Minería hidráulica: La utilización de la minería hidráulica, se ve reflejada en la aplicación del dragado, el cual se realiza en zonas donde existe la presencia de minerales auríferos u otros similares, que están presentes en aluviones o cuerpos de agua dinámicos o estacionarios. Por lo general este sistema utiliza dragas con cabeza de cangilones o cabezas de corte, además de eso poseen altas capacidades para el procesamiento del material, el cual separa los materiales para procesarlos posteriormente con mayor facilidad.

Disolución: La disolución de materiales se presenta primordialmente en los depósitos de salinos, en el cual se realiza la voladura, luego de eso se genera la disolución del material con agua caliente, está en forma de salmuera es transportada por un sistema de tuberías a la planta de procesamiento. Una vez allí se realiza la cristalización del material para así ser procesado en el producto final.

2.4 Clasificación de los Sistemas de Arranque para la Explotación de Materiales

Los sistemas de arranque son los que permiten la explotación de los materiales, existen 6 tipos principales de sistemas de arranque dependiendo del ciclo o proceso de producción (Herrera Herbert & Ortiz de Urbina, 2006).

- Sistema totalmente discontinuo: se caracteriza porque las operaciones se realizan de forma intermitente o con equipos discontinuos, en el cual se puede o no realizar voladura, el transporte del material se lleva a cabo en volquetas al lugar de transformación o destino final.
- Sistema mixto con trituradora estacionaria dentro de la explotación: funciona con el mismo principio anterior, pero difiere en la instalación de una planta de trituración, la cual permite alcanzar la granulometría o dimensiones deseadas del material y desde allí el material es transportado por sistemas de cintas o bandas transportadoras.
- Sistemas mixtos con trituradora semi-móvil dentro de la explotación: difiere del sistema con trituradora estacionaria porque la trituradora se puede mover de un lugar de la explotación a otro lugar, esto con el fin tener cercanía con el material o simplemente atendiendo un aspecto estratégico específico determinado.
- Sistema de transporte mixto y arranque continuo: este sistema está caracterizado principalmente por el sistema de arranque el cual realiza la extracción del material de forma continua mediante roto palas, el

cual es transportado a la trituradora y una vez lograda la granulometría ideal, el sistema de cintas lo depositan en el lugar de apilamiento, almacenamiento o acopio.

- Sistema continuo con trituradora móvil y arranque discontinuo: la operación de transporte del material que se realizaba por volquetas, en este sistema es suprimida, esto es debido al acompañamiento que realiza el triturador móvil en la zona de extracción del material, por lo general la maquina con que se realiza la explotación del material cumple la función de cargar el material en la planta de trituración.
- Sistema de arranque y transportes continuos: el grado de utilidad de equipos mecánicos disminuye, este es remplazado por sistemas de motores eléctricos. Este sistema presenta como principal característica un flujo continuo de material y extracción.

En las últimas dos décadas, la industria minera ha visto la consolidación de las empresas que operan, el crecimiento en el tamaño de las operaciones individuales, aumento de tamaño de los equipos, y mayores exigencias para el desarrollo sostenible. Estas tendencias continuarán en el futuro impactando tanto la apertura de nuevas minas y el cierre de operaciones existentes en otras (Ramani, 2012)

Esta actividad tiene efectos sobre los países y su economía, siendo la Industria minera un sector económico vital para muchos países, pero también es una de las actividades más peligrosas, tanto ocupacional y medio ambiente. Las operaciones mineras comprenden una serie de etapas que implican el descubrimiento y extracción del material debajo de la superficie de la tierra. Durante estos procesos varios desechos tóxicos se producen y liberan en el medio ambiente circundante causando la contaminación del aire, del agua potable, ríos y suelos, cambios en la topografía, hidrología, y la química de los ecosistemas terrestres y acuáticos (Coelho, Teixeira, & Gonçalves, 2011).

Desde un punto de vista práctico, y atendiendo a la utilización que se da a los minerales, se acostumbra a dividirlos en cuatro grupos:

- Minerales metalíferos: Se utilizan para conseguir un determinado metal.
- Minerales industriales: Se usan como insumos o materias primas para lograr sustancias o productos industriales.
- Sustancias combustibles y minerales energéticos: Sirven para generar

energía.

- Rocas de aplicación y materiales de construcción.

2.5 Principales Productores de Minerales No Metálicos a Nivel Mundial

En la actualidad la minería no metálica y de materiales para la construcción ocupa la mayor participación en diferentes países, que producen diferentes tipos de materiales según la geología de suelo que poseen, a continuación, se presentaran datos de los principales productores mundiales de minerales no metálicos, entre los principales productos y productores tenemos (Betzabe, 2015).

*Tabla 1.
Principales países productores de minerales
no metálicos a nivel mundial.*

Material	Principal país Productor	Características	Usos
Talco	China	Este cuenta con 120 minas distribuidas en 16 provincias, y las más importantes están ubicadas en la península de Liaodong y Shandong, con reservas de 48 y 43 millones de toneladas respectivamente.	Este material posee valor industrial en la industria de cosméticos, pinturas, papel y cerámicos

Material	Principal país Productor	Características	Usos
Yeso y Anhidrita	China	China con una capacidad de producción de 30 millones de toneladas/año de este material, cuenta con las mayores reservas a nivel mundial, las cuales pueden alcanzar los 70 mil millones de toneladas. Estos depósitos están ubicados en 24 provincias, la explotación del yacimiento se da a cielo abierto y subterráneo.	El yeso es principalmente utilizado en la fabricación de yeso para albañilería, de igual forma para la elaboración de objetos de decoración y pedestales y la anhidrita al pertenecer al grupo de sulfatos solo es utilizada como roca ornamental, como abono y para la elaboración de ácido sulfúrico.
Barita	China	Este país además de ser el principal productor, es así mismo un gran consumidor de este mineral. Existen aproximadamente 28 depósitos de explotación distribuidos geográficamente en 20 provincias.	La barita es un mineral constituido químicamente por el sulfato de bario (BaSO_4), donde los depósitos en su concentración de BaSO_4 alcanzan un porcentaje del 92,5%.

Material	Principal país Productor	Características	Usos
Fosfatos	China	China es el mayor productor de este mineral no metálico y habían estimado reservas cercanas a las 13,326 toneladas métricas, sin embargo, ocupa el tercer lugar en cuanto a reservas se trata, superado por Marruecos y Estados Unidos. La extracción de este material se da en la mayoría a cielo abierto.	Existen cerca de 120 variedades diferentes de fosfatos en la naturaleza, este es un mineral no metálico con formula química (P2O5.), el cual es destinado entre un 84% y 90% a la fabricación de fertilizantes, cerca del 3% se destina a la producción de alimentos y un 4% a los detergentes
Arena y grava industrial	Estados Unidos	Este país es el mayor productor de arenas y gravas, aunque a veces Importa y la demanda insatisfecha de materiales es cubierta por Canadá. El estado con la más alta concentración es California con 1,7 millones de toneladas métricas, sin embargo otros estados como Arizona, Utah, Texas, Michigan, Washington, New York, Colorado, Minnesota, y Wisconsin, producen unidos cerca del 49% del total de la producción del país	Estas arenas y gravas son destinadas al sector de la construcción.

Material	Principal país Productor	Características	Usos
Calizas y Dolomitas	China	China cuenta con alrededor de 1840 minas y canteras de caliza, este país cuenta con una capacidad productiva de 2000 millones de toneladas métricas. Estas minas por lo general son a cielo abierto, pero existen algunas de tipo subterráneo.	Las calizas tienen su principal uso en las industrias cementeras, azúcar, metalurgia, agropecuaria y química
Diatomitas	Estados Unidos	Esta son rocas conformadas por sílice y de origen biogénico. Estados Unidos produce anualmente cerca de 590 mil toneladas métricas de este material y sus principales minas las encontramos ubicadas en los estados de California, Nevada, Oregón y Washington. Dado que el material es blando y se encuentra superficialmente, la producción es a cielo abierto y casi no requiere el uso de perforaciones y voladuras.	Las principales aplicaciones de este material son en la industria de las pinturas como expendedor de pigmentos, así mismo es utilizado en la industria de plásticos, aceites lubricantes, glucosa, lacas y barnices, jabón, maltosa, pectina, adhesivos, etc.
Mica (Moscovita)	Rusia	Rusia es el mayor país productor de Micas, la zona más conocida con mayor concentración de Micas son los Urales. Aquí las Micas más conocidas son las moscovitas y anteriormente se utilizaban como paneles para las ventanas	Este tipo de material es utilizado actualmente como aislante térmico, pigmentos, industria electrónica y eléctrica, material para pinturas y la industria de los cosméticos.

Material	Principal país Productor	Características	Usos
Magnesita	Japón	Este material cuenta con una estructura química ($MgCO_3$) y es conocido carbonato de magnesio. En china la producción anual de este material esta entre 6 y 7 millones de toneladas métricas por año, y cuenta con reservas estimadas de 8000 millones de toneladas métricas.	Es utilizado para la elaboración de aceros
Feldespato	Italia y Turquía	Estos dos países son quienes cubren cerca del 48% de la demanda mundial de feldespato, los tipos de feldespato más utilización son la albita, ahorita y ortosa, donde cerca del 85% y 90% son demandados para su uso en la industria del vidrio y cerámicas.	Estos feldespatos son básicamente utilizados en la industria de cerámicas, vidrios, plásticos, pigmentos, cauchos y Adhesivos.
Bentonita	Estados Unidos	Estados unidos es el mayor productor, aquí se encuentran empresas como American Colloid Co, Wyoming Bentonite, Oil Drilling, Kaycee Bentonite, Cowboy Mining las cuales se encargan de la producción de este material.	Es utilizada en industria de cosméticos, farmacéuticos y productos médicos.

Material	Principal país Productor	Características	Usos
Tierra de batan	Estados Unidos	En todo este país hay 13 compañías distribuidas en 11 estados, pero el principal estado que produce este material es Florida, donde una de esas minas ubicadas en Quincy, Florida. Tiene capacidad de 18000 toneladas métricas por año	Esta es utilizada con fines sanitarios y como absorbentes industriales. Además de servir como fertilizante y para control de plagas.
Caolín	Estados Unidos	Estados Unidos tiene cerca de 17 minas de caolín ubicadas en 9 estados, Carolina del sur, Alabama, Arkansas, Nevada, Florida, Texas, North Carolina y California, sin embargo, el mayor estado productor es Georgia. La mayoría de estas minas son a cielo abierto y también muchas de estas poseen bauxitas.	Los principales usos del caolín se dan en la industria del papel, pinturas, adhesivos y textiles.
Diamantes Industriales	Bostwana	Este país es el mayor productor de diamantes en el mundo, cuenta con minas como Jwaneng, que ha producido 11,5 millones de quilates, es una mina open-cast y tiene 330 metros de profundidad. Y la mina Orapa que desde 1971, ha producido 9.528 millones de quilates de diamantes a la fecha y es open-pit	

Fuente: (Betzabe, 2015)

Estos son los países con mayor participación y volumen de producción de minerales no metálicos en el mundo, pero sin embargo ¿cómo se encuentra Colombia referente a los materiales para la construcción, y minería no metálica?

2.6 Historia y Estado Actual de la Minería en Colombia

Durante la época precolombina, la minería estaba asociada con el misticismo, el reconocimiento del estatus social y fantásticos procesos tecnológicos de valor agregado, cuando la conquista, llegó a América, se creó una apreciación distinta, una percepción ligada a un sistema de comercio de altos volúmenes, a métodos de expansión imperiales, al poder y a la riqueza asociada más que a la supervivencia de la especie a la codicia que cada día crece en los seres humanos (Ministerio de Minas y Energía - MME, 2007).

La minería ha sido una actividad económica central en Colombia desde la época Precolombina. Las diferentes culturas indígenas realizaban trabajos de cerámica y orfebrería de alta calidad. La actividad minera en un principio dio nacimiento al comercio regional, el cual su principal característica fue el trueque de varios minerales. Seguidamente, en el transcurso de la época de la Colonia la actividad minería progresó en grandes ritmos y con ello se abrió paso a la comercialización de esclavos africanos. Con el régimen colonial se favoreció en gran medida los comerciantes antioqueños, ya que ellos realizaban la operación de transporte del oro en polvo a otras regiones de la Nueva Granada y al exterior (Sierra, 1989), esto con el fin de intercambiarlo por otros productos como textiles y alimentos. Así mismo, la población de zonas despobladas en esta región correspondió en gran medida a la búsqueda de zonas para la explotación aurífera. Para el periodo de la República, la actividad minera, representada casi en su totalidad por la explotación de oro y piedras preciosas, ya tenía una posición aventajada frente a otros sectores básicos como la agricultura. El alto comercio produjo en la región de Antioquia significativos excedentes que, fueron atesorados por la clase comerciante, y permitió el nacimiento de la Sociedad Minera en Antioquia (Cárdenas, Steiner, Reina, & Yanovich, 2008).

El progreso favorable de la actividad minera en las épocas pasadas ha llevado a que la exploración, explotación, la producción y la exportación de oro llegaran a ser catalogadas como las actividades económicas más

antiguas y una de las de mayor relevancia para el país. Durante buena parte del siglo XIX la exportación de este metal, acompañada de las de la plata y el platino, permitió nivelar la balanza comercial y se convirtieron en una transcendental fuente de atracción de inversión procedente del extranjero, haciendo que los metales preciosos hasta finales de ese siglo se establecieran como los únicos productos significativos de la minería en Colombia.

A principio de años del siglo XX otros minerales comienzan a ganar importancia en la actividad minera colombiana. Para 1910, con el arribo de las primeras máquinas de vapor se empieza a producir carbón en pequeñas cantidades, este era destinado básicamente a la industria manufacturera y al funcionamiento de las locomotoras. En la década de los 1930 surgen algunas explotaciones de materiales de construcción como calizas, yesos, arcillas y gravas, los cuales tenían como destino una emergente industria de la construcción (Cárdenas et al., 2008).

También, comenzaron a explotarse en mayor volumen otros minerales que son materia prima en la producción de fertilizantes, vidrio y plásticos. La crisis económica internacional de finales de los años treinta representó un profundo quiebre en la historia económica de Colombia. Fue entonces cuando la importancia de la minería, constituida esencialmente en oro, se hizo más notoria para compensar la caída que experimentaban los demás productos y así la industria empezó a fortalecerse con tasas anuales de crecimiento de 9% y se destacó la producción de cemento en 1939 que fue 17 veces superior a la registrada 10 años antes (Cárdenas et al., 2008).

En el período de los años 1950 se generan importantes encadenamientos productivos de la minería con el resto de la economía. En esos años se empieza a hacer evidente la integración vertical del carbón como materia para la producción industrias en desarrollo, como es el caso del cemento, el papel y las primeras termoeléctricas.

En 1982 se inició la explotación de ferroníquel en el país, tras el hallazgo de un pequeño depósito de hierro en Córdoba, que más adelante fue estudiado de forma detenida y se llegó a la conclusión de que contenía altos niveles de níquel. Luego de esto se inicia la instalación de la planta de Cerro Matoso en Montelíbano, proyecto diferenciado por grandes inversiones en tecnología y un creciente aporte a la economía colombiana, gracias a esto hoy día, este ferroníquel producido en Colombia ha sido

reconocido en el ámbito mundial como el de mejor calidad en el mercado (Cárdenas et al., 2008).

Además de esto, se consolida en los años ochenta la entrada en operación de grandes explotaciones carboníferas en La Guajira y Cesar, dándole al sector minero el perfil que conocemos hoy, y cuyo aporte se ha convertido en fundamental para la economía colombiana (Cárdenas et al., 2008).

Colombia tiene sin dudas una abundancia de recursos naturales y un alto potencial geológico minero, que convendría ser la base de su estructura productiva y su especialidad para el comercio internacional, aunque es complicado decidir si la minería constituye un potencial o una amenaza, esta puede generar un creciente impacto macroeconómico sobre el PIB, las exportaciones, las finanzas publica, generación de infraestructura, carreteras, aeropuertos, puertos, red eléctrica, pero no siempre crea grandes encadenamientos en países en desarrollo y tiende a centralizar sus actividades en el lugar de la mina y no con el entorno, debido a que ocasionalmente la explotación de minerales atrae conflicto y violencia, economía local y sociedad, problemas ambientales como la afectación de fauna, flora, biodiversidad, contaminación y disminución del agua, estos efectos de la minería en el entorno si no son constantemente objeto de regulación, supervisión y control conduce a efectos no deseados (Martínez Ortiz, 2012). De manera general, los minerales o materiales explotados en Colombia pueden clasificarse en cuatro grupos de la siguiente forma (Quijano & Pardo, 2012).

Tabla 2.
Clasificación de los minerales explotados en Colombia.

Carbón mineral	Lignito, turba, hulla, carbón metalúrgico, carbón térmico.
Concentrados de uranio y torio	
Minerales metálicos	Níquel, hierro, oro, cobre, oro, platino, plata, aluminio, zinc, cromo, estaño, etc.
Minerales no metálicos y para la construcción	Arenas, arcillas, piedras, gravas, mármol, yeso, fosfatos, calcita, barita, sales, mica, talco, grafito, feldespatos, etc.

Fuente: (Quijano & Pardo, 2012)

Según el último censo minero departamental realizado en 23 departamentos en el periodo de 2010-2011 por el ministerio de minas y energía se contabilizaron un total de 14.357 unidades de producción minera (UPM), de las cuales se descubrió que el 63% de las mismas trabajan sin el amparo de un título minero, existiendo así alta informalidad legal, el 66% de estas unidades de producción tienen informalidad empresarial, no contando con ninguna herramienta empresarial. Además de eso el 50% de estas explotaciones que cuentan con título minero y el 84% de las que no tienen título minero no implementan normas de seguridad, higiene y salud en el trabajo, generando condiciones inseguras para las personas que allí laboran. Se encontró que el 50% de las personas que allí trabajan son contratadas informalmente. En materia ambiental el 47% de las explotaciones que cuentan con un título minero no tienen licencia o autorización ambiental y el 97% de las que no tienen título minero, tampoco tienen autorización o licencia ambiental para la explotación del material (Ministerio de Minas y Energia, 2013).

El potencial minero de Colombia permitiría la explotación de una amplia gama de recursos minerales, que debido al elevado aporte macroeconómico sobre el PIB nacional genera un gran interés por parte de las empresas nacionales, e inversores extranjeros o transnacionales. Entre los productos mineros que podría explotar Colombia tenemos:

- Metales preciosos como, el oro, el platino, la plata, y piedras preciosas como las esmeraldas y el ámbar.
- Minerales metálicos como manganeso, zinc, hierro, níquel, cobre, plomo, y titanio.
- Minerales no metálicos como, sal terrestre, sal marina, caliza, arenas, arcilla, asbestos, azufre, yeso, entre otros.

El sector de minas y canteras en su comportamiento histórico sigue siendo uno de los sectores que presentan crecimiento continuo y de los que genera mayores aportante a la economía, y para el sector de Minería (ver figura 1). La participación en el PIB total del año 2015, asciende al 1,99%, con un decrecimiento de 1,71% frente al año 2014, al pasar de 10.761.000 a 10.577.000 millones de pesos, esto se debe a un disminución en los volúmenes de producción y de exportaciones, lo mismo que a los menores precios en el mercado internacional (DANE, 2016).

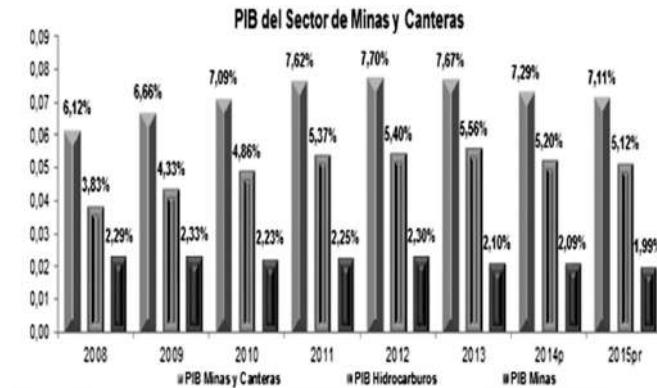


Figura 1: PIB del Sector de Minas y Canteras

Fuente: Dane, Cálculos dirección de Minería Empresarial, Minminas – 2016

Para el año 2015, la participación de estas actividades se ve reflejada en la siguiente gráfica.(Ministerio de Minas y Energía, 2016a)



Figura 2: Participacion por actividades economicas en el PIB nacional.

Fuente: Dane, Calculos direccion de Mineria Empresarial, Minminas - 2016

La participación por actividades en el PIB total para el cuarto trimestre de 2015, la encabeza el sector de establecimientos financieros, seguros, actividades inmobiliarias y servicios a las empresas con 20,11%; 15,35% en servicios sociales, comunales y personales; 12,17% en

comercio, servicios de reparación, restaurantes y hoteles; 10,97% para industrias manufactureras; 7,26% en construcción; 7,18% en transporte, almacenamiento y comunicaciones; 7,07% en explotación de minas y canteras; 6,19% en agricultura, silvicultura, caza y pesca; 3,45% en electricidad, gas de ciudad y agua; y lo referente a impuestos, derechos y subvenciones, su participación fue del 9,84% respectivamente (figura 2) (Ministerio de Minas y Energía, 2016a).

Según lo observado en el histórico podemos observar que el sector de minas y canteras realizó aportes al PIB nacional del 7,07% y 7,26% en construcción, pero revisando el comportamiento histórico de estos datos encontramos que los que estos dos sectores tuvieron variación y crecimiento de 0,63% respecto al año inmediatamente anterior, debido a una mayor sinergia y fortalecimiento de estas dos cadenas para aumentar su participación (Ministerio de Minas y Energía, 2016a).

El PIB de los minerales no metálicos, fue de \$461.000 millones de pesos para el cuarto trimestre de 2015 y la participación, en el cuarto trimestre de 2015, es de 18,29% en el PIB minero y de 0,34% en el PIB total, siendo igual al primer trimestre de 2015.

Revisando el sector de la minería durante el año 2015, encontramos que la participación del PIB de minas y canteras durante este año, se reflejo de la siguiente manera.

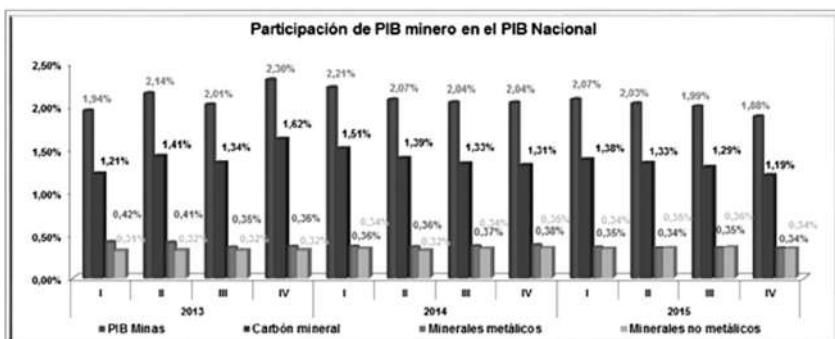


Figura 3. Participacion del PIB minero nacional.

Fuente: DANE, Calculos Dirección de Minería Empresarial – MME-2016

El sector de hidrocarburos tiene la mayor participación dentro del PIB nacional, pero si solo miramos la participación del carbón en el PIB minero es de 65,14% para el año 2015, para el rubro de los minerales metálicos, la participación en el PIB minero del 2015 asciende a 17,44% y los minerales no metálicos el 17,42 %. (figura 3). Esto permite deducir que la mayor influencia de minería en Colombia se ve marcada por los hidrocarburos y carbón, que en su mayoría son exportados (Ministerio de Minas y Energía, 2016a).

Cuando analizamos los históricos de algunos minerales durante los años 2000 a 2011 encontramos altos crecimiento de la producción de carbón, pero que ese crecimiento se ve más reflejado en los históricos desde los años 1990 (figura 4) (Sabogal, 2012).

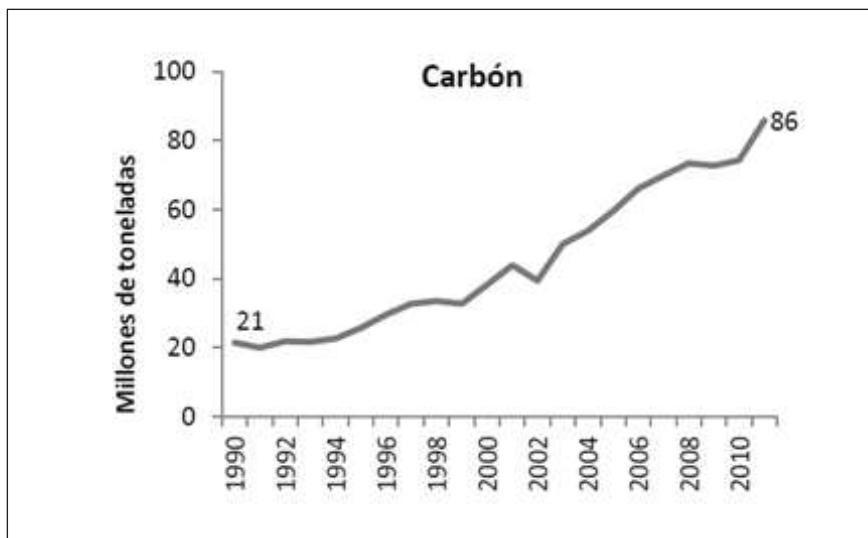


Figura 4. Producción histórica de calizas a nivel nacional.

Fuente: (Sabogal, 2012)

De igual manera, en lo concerniente a minerales no metálicos, como lo es la producción de azufre tuvo un incremento de 45%, las calizas del 44,5%, sin embargo la producción de sal marina y terrestre disminuyó en un 38,6% en las últimas dos décadas (figura 5-7) (Sabogal, 2012).

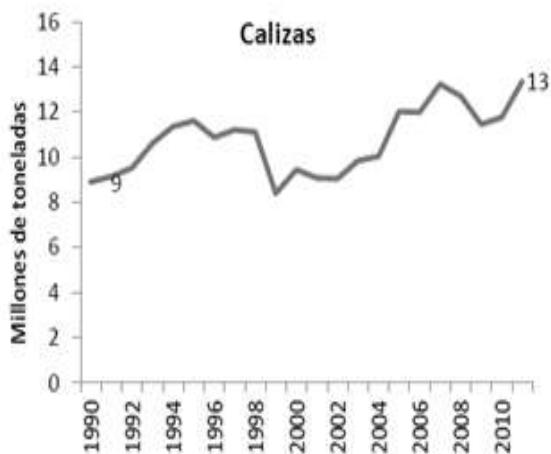


Figura 5. Producción histórica de calizas a nivel nacional.

Fuente: (Sabogal, 2012)

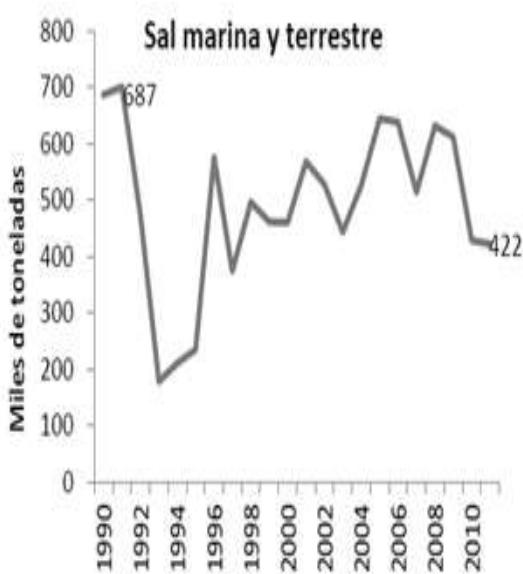


Figura 6. Producción histórica de sal marina y terrestre a nivel nacional.

Fuente: (Sabogal, 2012)

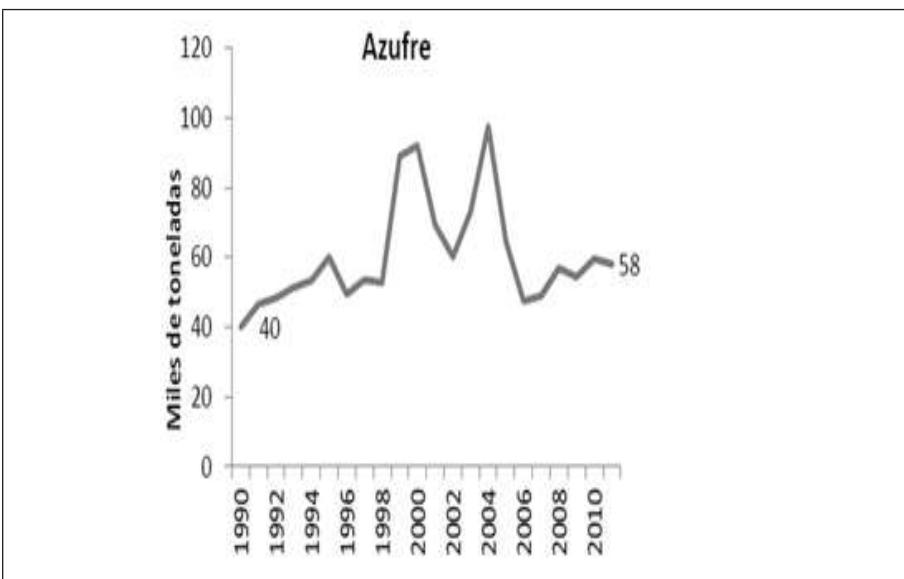


Figura 7. Producción histórica de sal marina y terrestre a nivel nacional.

Fuente: (Sabogal, 2012)

La demanda de títulos mineros normalmente revelaría el interés de los inversionistas estratégicos por el potencial minero del país y el número de títulos conferidos sería un indicador de la actividad, sin embargo en Colombia el código de minas vigente excluye la minería de los Parques Naturales Nacionales y de reservas de carácter regional, sin embargo, no excluye actividades mineras en ecosistemas sensibles de alto valor estratégico como son los páramos, humedales o reservas protectoras en cuencas abastecedoras de agua, o zonas de recarga acuífera. Esto muestra desajuste con normas de carácter ambiental, de ordenamiento territorial o de preservación de zonas de interés cultural o histórico (Ministerio de relaciones exteriores, 2010, p. 14).

Anteriormente el estado actuaba como propietario y empresario minero de los recursos, pero a partir de la expedición de la Ley 685 de 2001, el estado colombiano renunció a ser empresario minero y como dueño del recurso prefirió el esquema de transferir a empresarios privados el derecho a explorarlo y explotarlo, mediante el modelo del contrato de concesión. Como contraprestación, el concesionario se obliga a pagar al Estado un impuesto superficiario durante el periodo de exploración montaje

y construcción, así como una regalía por el material explotado. En el tema ambiental el concesionario se exige realizar sus trabajos de exploración de acuerdo a los términos de las guías minero-ambientales aprobadas por los ministerios del Ambiente y de Minas asumiendo el trámite de una licencia ambiental para realizar el montaje y explotación del yacimiento (Ponce Muriel, 2010).

Sin embargo, es competencia y responsabilidad del Gobierno nacional, y sus apoyos como es el Ministerio de minas y energía, la agencia nacional minera, Ministerio de medio ambiente, La Autoridad nacional de licencias ambientales, entre otras adelantar el proceso de definición de zonas de valor estratégico, por su potencial minero, que correspondan salir a licitación. En esos procesos se establecerán parámetros que garanticen la exploración y explotación por parte de mineros formales (Martínez Ortiz, 2012). En el año 2014 la unidad de planeación minero energética (UPME), muestra los indicadores de la minera en Colombia mediante la fiscalización minera, la Agencia Nacional Minera (ANM) inspecciona, por primera vez, la totalidad de títulos en el país, bajo un enfoque integral, con el cual se podrá fortalecer el control sobre la actividad minera y encaminarla hacia mejores estándares con el fin de crear un sector consolidado que permita competir internacionalmente, la titularidad minera en Colombia se presenta en la siguiente tabla, en la cual se totaliza todos estos títulos y mediante que modalidad fueron solicitados a la agencia nacional minera (Unidad de planeacion minero energetica, 2014).

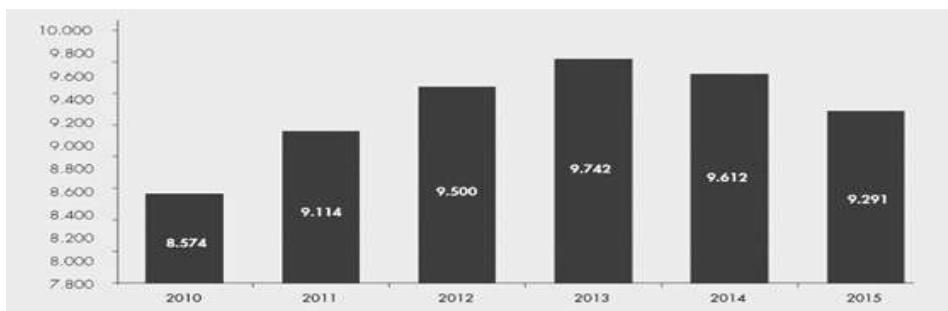


Figura 8. Títulos Mineros inscritos en el Registro Minero Nacional.

Fuente: Política Minera de Colombia., 2016 – Ministerio de Minas y Energía.

De acuerdo con la figura 8, La titularidad minera en Colombia varía constantemente debido al vencimiento de algunos títulos mineros y a la concesión de otros títulos en diferentes periodos de tiempo. A partir de 2010 hubo un incremento de la titularidad minera: pasó de 8.574 títulos inscritos en el Registro Minero Nacional a 9.742 en 2013. Para el 2014, los títulos mineros inscritos en el Registro Minero Nacional fueron de 9.612, y para 2015 este número descendió a 9.291 (Agencia Nacional Minera, 2016).

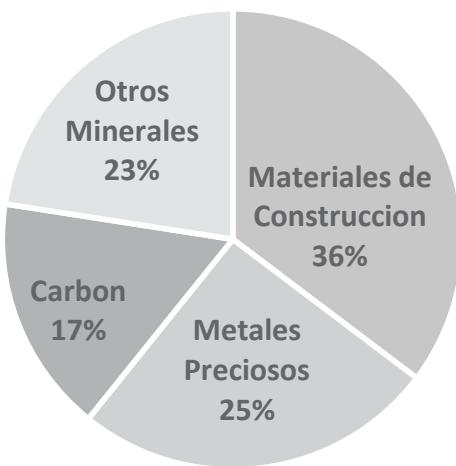


Figura 9. Títulos mineros inscritos en el Registro Minero Nacional por Tipo de Mineral.

Fuente: Dirección de Minería Empresarial. 2016

La participación de estos títulos a nivel nacional según el tipo de material para explotación corresponde a 36% para materiales de construcción, 25 % a los metales preciosos, principalmente oro; 17 % al carbón; y 23 % a otros minerales (Figura 9) (Arcillas, cuarzo, hierro, esmeralda, sal, sílice, yeso, etc.)(Ministerio de Minas y Energía, 2016).

Antioquia a periodo del año 2013, es el departamento con el mayor número de títulos mineros vigentes, agrupando el 42.8% y el 31.5% de los títulos para la explotación de oro y plata. A nivel nacional se observa que para la extracción de materiales de construcción se encuentran asignados la mayor cantidad de títulos mineros con un 43.2% del total de títulos vigentes

esto sería 4,384 títulos, para la extracción de carbón existen 1,684 títulos que significarían 16.6% del total de títulos vigentes, el oro ocupa 1,050 títulos es decir el 10.3% de los títulos. La plata y níquel se comprenden el 1.9% de los títulos vigentes y el remanente 28% de los títulos mineros es dedicado a la extracción de otros minerales (Escobar & Martínez, 2014).

2.7 Marco Legal en Materia Minera en Colombia

Los grandes cambios del sector minero en los últimos años han hecho ineludible un replanteamiento de las instituciones sectoriales, la variación de los precios de los commodities a nivel mundial ha causado una dinámica en el sector industrial nacional, el cual ha provocado el aumento de las solicitudes de titulación, áreas contratada, producción y reservas minerales, exportaciones, inversión extranjera y consumo nacional de las materias primas derivadas de la minería.

Para ello, el Estado colombiano con el fin de fomentar la formalización de la actividad minera a nivel nacional ha establecido un marco legal, con la finalidad de propender por la protección y desarrollo de las comunidades; debido a que la aplicación de malas prácticas, el poco grado de mecanización en algunos sectores de la minería, especialmente las pequeñas y medianas explotaciones, generan un riesgo ambiental, social, económico, así como un aprovechamiento desmedido de los recursos del subsuelo y de los recursos naturales renovables (Ministerio de Minas y Energía, 2013).

El marco legal inicia principalmente con la carta magna del estado, para ello en el artículo 8 de la constitución nacional de 1991, en el cual establece como primer lineamiento transcendental la obligación a cargo del Estado y de las personas de proteger las riquezas naturales de la Nación, incluyendo los recursos naturales no renovables y renovables dentro del espacio geográfico del país.

De igual forma el en artículo 80 de la constitución política, establece como función esencial del estado “planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados (...)”(Constitución política de Colombia, 1991).

El estado Colombia, mediante la rama legislativa y otras entidades gubernamentales estableció el código de minas Colombia, el cual fue creado y soporta su legitimidad en la ley 685 del año 2001, la cual fue modificada por la ley 1382 del 2010. Esta establece en su artículo 1 como objetivo de interés público el fomento a “la exploración técnica y la explotación de los recursos mineros de propiedad estatal y privada; así como, estimular estas actividades en orden a satisfacer los requerimientos de la demanda interna y externa de los mismos y a que su aprovechamiento se realice en forma armónica con los principios y normas de explotación racional de los recursos naturales no renovables y del ambiente, dentro de un concepto integral de desarrollo sostenible y del fortalecimiento económico y social del país” (ley 1382, 2010).

La ley 658 sancionó el actual código de minas, de allí en adelante han surgido nuevas normativas que apoyan esta ley y suplen algunos vacíos normativos, en la siguiente figura se presentan de forma general algunos aspectos legales que han surgido desde la sanción del actual código de minas (figura 10).



Figura 10. Legislación en materia minera nacional.

Fuente: Autores.

La legislación aplicable al tema de minería es amplia pero la más importante a nivel legal y ambiental es:

Tabla 3.*Principales leyes en materia minera a nivel nacional en Colombia.*

Ley 685 del 15 de agosto del 2001	Actual Código de Minas
Ley 1450 del 16 de junio de 2011	Plan Nacional de Desarrollo, introduce algunas modificaciones sobre multas, reservas mineras estratégicas, prohibiciones a la minería por razones ambientales, plan nacional de ordenamiento minero, adiciona causales de caducidad y suspensión por razones de seguridad minera, control a la explotación ilícita
Decreto 2235 del 30 de octubre de 2012	Destrucción de maquinaria pesada y sus partes en actividades de exploración o explotación de minerales sin las autorizaciones y exigencias previstas en la Ley.
Resolución 205 del 26 de marzo de 2013	Se establece el procedimiento para la declaración y delimitación de Áreas de Reserva Especial de que trata el artículo 31 de la Ley 685 de 2001.
Decreto 933 del 9 de mayo de 2013	Define la minería tradicional, trámite para la formalización de mineros tradicionales, causales de rechazo.
Ley 1658 del 15 de julio de 2013	Disposiciones para la comercialización y los usos del mercurio, incentivos para la reducción eliminación, incentivos para la formalización, subcontrato de formalización minera, devolución de áreas para la formalización minera, beneficios para la formalización, establecimiento del sello minero ambiental Colombiano.
Decreto ley 2811 del 28 de diciembre de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente.
Ley 99 del 22 de diciembre de 1993	Por la cual se crea el Ministerio de Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINAE, y se dictan otras disposiciones.

Ley 1333 del 21 de julio de 2009	Régimen Sancionatorio Ambiental
Decreto 2820 del 5 de agosto de 2010	Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales
Resolución 918 mayo 20 de 2011	Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para la sustracción de áreas en las reservas forestales nacionales y regionales, para el desarrollo de actividades consideradas de utilidad pública o interés social y se adoptan otras determinaciones.
Decreto 3573 del 27 de septiembre de 2011	Por el cual se crea la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA y se dictan otras disposiciones.
Decreto 953 del 17 de mayo de 2013	Reglamenta el artículo 111 de la Ley 99 de 1993, modificado por el artículo 210 de la Ley 1450 de 2011 con el fin de promover la conservación y recuperación de las áreas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos que surten de agua a los acueductos municipales, distritales y regionales, mediante la adquisición y mantenimiento de dichas áreas y la financiación de los esquemas de pago por servicios ambientales.
Decreto 1374 junio 27 de 2013	Por medio del cual se establecen parámetros para el señalamiento de unas reservas de recursos naturales de manera temporal y se dictan otras disposiciones
Resolución 90325 de 2014	Criterios de los Planes de Mitigación en los Sectores de Energía Eléctrica, Minería e Hidrocarburos
Fuente: (Ministerio de Minas y Energía, 2016).	

2.8 Entidades Relacionadas con el Sector Minero en Colombia

El sector minero colombiano está compuesto por diferentes entidades encargadas de suministrar apoyo e información para la toma de decisiones en el sector energético. Las entidades están divididas en entidades de primer y segundo orden respectivamente. En las entidades de primer orden se

encuentran las entidades mineras como es el ministerio de minas y energía, la agencia nacional minera, la unidad de planeación energética, etc. Y las entidades ambientales como es la agencia nacional de licencias ambientales y las corporaciones autónomas regionales.

Las entidades de segundos orden la conforman las entidades de soporte como son el ministerio del interior, agencia nacional de infraestructura, instituto de desarrollo rural, ministerio de defensa, etc. Y las entidades de control como es la procuraduría, fiscalía, y contraloría general de la nación. Cada una de estas entidades con funciones específicas para el buen desarrollo del sector minero en Colombia. En la siguiente figura se muestra la relación de las entidades.

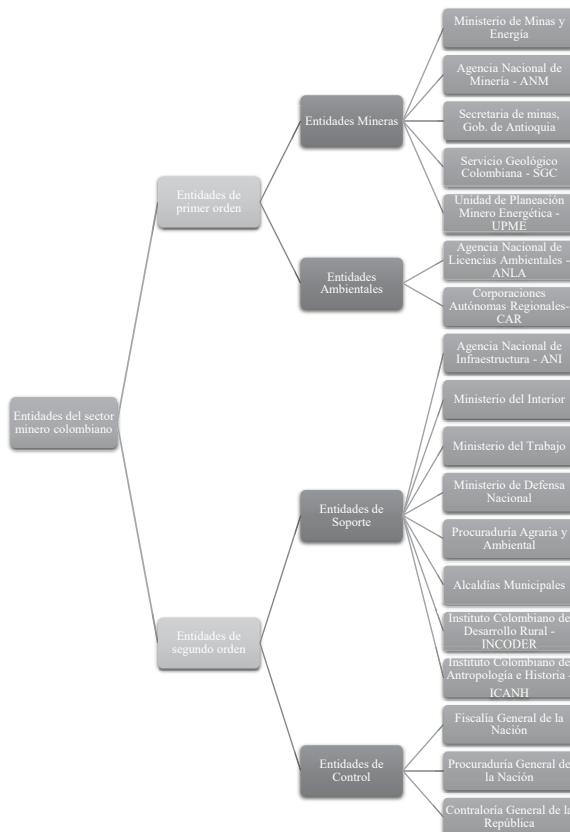


Figura 11. Entidades asociadas al sector minero en Colombia.

Fuente: (Ministerio de Minas y Energía, 2013).

De acuerdo con la figura 11, La primera de las entidades de primer orden es el Ministerio de minas y energía (MME), esta entidad es la máxima autoridad minera en el país y es responsable de la administración de los recursos naturales no renovables. De manera general es responsable de realizar la exploración básica para conocer el potencial de recursos y limitaciones inherentes a las condiciones geológicas del subsuelo colombiano, pero su función principal es articular la formulación, adopción e implementación de la política pública del sector administrativo de minas y energía. Además, es responsable de formular, adoptar, dirigir y coordinar la política nacional en materia de exploración, explotación, transporte, refinación, procesamiento, beneficio, transformación y distribución de minerales, hidrocarburos y biocombustibles y así poder divulgar las políticas, planes y programas del sector. El ministerio de minas y energía posee su regulación en el decreto 0381 del 2012 y la ley 489 de 1998 (Ministerio de Minas y Energía, 2013).

A su vez el ministerio de minas y energía tiene adscritas varias entidades con funciones específicas, responsables de suministrar información y control en temas mineros nacionales, las principales son:

- La Agencia Nacional Minera (ANM), posee su regulación en el Decreto 4134 de 2011, el Decreto 0922 de 2012, la Resolución No. 50 del 22 de junio de 2012 y la Resolución No. 152 del 9 de agosto de 2012. Esta es una agencia estatal de naturaleza especial, la cual está descentralizada de la rama del poder ejecutivo del orden Nacional, con personería jurídica, patrimonio propio y autonomía administrativa, técnica y financiera. Entre sus funciones principales está administrar los recursos minerales del Estado y conceder derechos para su exploración y explotación. La ANM es responsable de administrar el catastro minero y el registro minero nacional, y así promover, celebrar, administrar y hacer seguimiento a los contratos de concesión y demás títulos mineros. Por último como función vital debe liquidar, recaudar, administrar y transferir las regalías y cualquier otra contraprestación derivada de la explotación de minerales.
- La Unidad de Planeación Minero – energética (UPME), está regulada mediante la ley 143 de 1994 y el decreto número 255 del 28 enero de 2004. La UPME es una unidad nacional de orden administrativo la cual debe establecer los requerimientos de minería y energía de la población del país, mediante la viabilidad y rentabilidad económica y social de los recursos mineros, energéticos y energéticos no convencionales.

cionales el análisis económico de las principales variables sectoriales y el comportamiento e influencia del sector en la economía del país, además de eso está encargada de la elaboración y actualización del Plan Nacional Minero, el Plan Energético Nacional, el Plan de Expansión del sector eléctrico, y los otros planes sub sectoriales de acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo vigente.

- El Servicio Geológico Colombiano (SGC), era anteriormente conocido como Ingeominas, pero cambio su naturaleza jurídica por SGC apoyándose en el decreto No. 4131 del 3 de noviembre 2011 y sus principales funciones son realizar estudios de exploración científica básica para evaluar el potencial de recursos del subsuelo, hacer seguimiento y monitoreo de las amenazas geológicas para la gestión integral del riesgo

La secretaría de minas ubicada en la gobernación de Antioquia, mediante la resolución No. 0271 del 18 de abril de 2013 por delegación de la ANM, realiza funciones de seguimiento, control minero, contratación, tramitación, titulación minera, liquidación de los contratos mineros una vez se caduquen, entre otras funciones.

Todas estas entidades son de gran importancia para el país en temas mineros, aunque cada una cumple funciones específicas quien se encarga de la planificación del sector minero es la UPME, con la creación los planes nacionales de minería y energía, por consiguiente, todas las entidades deben funcionar en concordancia a estos planes.

La legislación ambiental inicia en cabeza del ministerio del medio ambiente, el cual se encarga de las funciones de definir los planes, políticas programas y marco legal en temas de ordenamiento territorial y ambiente colombiano. Sin embargo en el tema ambiental las principales reguladoras del sector minero en Colombia es la agencia nacional de licencias ambientales y las corporaciones autónomas regionales, estos son entes corporativos de carácter público, creados por la Ley, integrados por las entidades territoriales que por sus características constituyen geográficamente un mismo ecosistema o conforman una unidad geopolítica, biogeográfica o hidrogeográfica, dotados de autonomía administrativa y financiera, patrimonio propio y personería jurídica, encargadas por la Ley de administrar dentro del área de jurisdicción, el medio ambiente y los recursos naturales renovables y propender por su desarrollo sostenible, de

conformidad con las disposiciones legales y las políticas del Ministerio del Medio Ambiente (Ministerio de Minas y Energía, 2013).

La agencia nacional de licencias ambientales (ANLA), posee sus bases legales en la ley 1333 de 2009 y el decreto 3573 de 2011, su función principal es otorgar o negar las licencias, permisos y trámites ambientales de competencia del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, así mismo realizar seguimiento y control de las licencias o permisos ambientales. Realiza funciones de apoyo para la elaboración de reglamentación ambiental y puede ordenar la suspensión de los trabajos o actividades cuando no se está cumpliendo la normativa ambiental.

En el artículo 3 del decreto 2820 de 2010, define la licencia ambiental como la autorización que otorga la autoridad ambiental competente para la ejecución de un proyecto, obra o actividad, que de acuerdo con la ley y los reglamentos pueda producir deterioro grave a los recursos naturales renovables o al medio ambiente o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje; la cual sujeta al beneficiario de ésta, al cumplimiento de los requisitos, términos, condiciones y obligaciones que la misma establezca en relación con la prevención, mitigación, corrección, compensación y manejo de los efectos ambientales del proyecto, obra o actividad autorizada.

Para el trámite de estas licencias se deben tener en cuenta instrumentos ambientales exigidos por la normativa como es Programa de Obras y Trabajos Mineros resultantes de la exploración, el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto minero incluyendo informaciones, datos y recomendaciones necesarias para describir y caracterizar el medio físico, social y económico del lugar o región de las obras y trabajos de explotación; los impactos de dichas obras y trabajos, planes de prevención, mitigación, corrección y compensación de los impactos, medidas aplicables para el abandono y cierre de los frentes de trabajo o explotación, plan de manejo de inversiones necesarias y sistemas de seguimiento de las anteriormente mencionadas, después de presentar todo este compilado de información la autoridad nacional de licencias ambientales o la corporación autónoma regional correspondiente realizará su evaluación para determinar si se otorga o no la licencia ambiental (Quijano & Pardo, 2012).

Las corporaciones autónomas regionales (CAR), cumplen funciones de seguimiento y control de las licencias o permisos ambientales, así mismo

pueden otorgar permisos o licencias ambientales que sean ejecutables en el área de su jurisdicción, pero que tiene algunas excepciones para otorgar estas licencias o permisos. Para el caso del carbón cuando la explotación no sea superior a 800.000 toneladas al año.

Para los materiales de construcción o minerales industriales no metálicos la explotación proyectada no supere las 250.000 toneladas al año y para las arcillas la proyección de la explotación debe ser inferior a 600.000 toneladas al año.

2.9 Títulos Mineros en Colombia

Los minerales metálicos, piedras preciosas y semipreciosas, deben poseer una proyección de remoción total del material útil y estéril no superior a 2 millones de toneladas al año y para otros minerales y materiales la explotación del material proyectado debe ser inferior a 1 millón de toneladas al año, en estos casos las autoridades autónomas regionales son competentes para la expedición y autorización de permisos o licencias ambientales y en caso las explotaciones proyectadas superen estas cifras, la autoridad competente será la autoridad nacional de licencias ambientales.

Colombia además de entregar títulos mineros y licencias ambientales para la explotación de materiales, se encuentra dividido en zonas estratégicas dedicadas a la actividad minera, estas zonas son conocidas con distritos mineros. Es por ello, que, en vista de la importancia del potencial minero del País para el crecimiento económico, en un contexto globalizado e internacionalización, cada día se hace más necesario comprender y fortalecer el modelo de negocio minero nacional desde cada uno de los territorios, en equilibrio con la visión de sus habitantes y del Estado colombiano, en procura de un desarrollo humano y sostenible. Para alcanzar esto, en el marco de la política de Mejoramiento de la Productividad y de la Competitividad del Plan Nacional para el Desarrollo Minero establecido para 2019, el Ministerio de Minas y Energía, avanza en la construcción de estrategias de gestión para la productividad y la competitividad sostenible de los Distritos Mineros. Para ello la Autoridad Minera Nacional establecerá las definiciones, características y condiciones para la operación y funcionalidad de los Distritos, en un contexto práctico y sostenible.

Actualmente existen 33 distritos mineros o zonas estratégicas con vocación minera, estos distritos son categorizados y establecidos dependiendo el producto minero que mayor tiene potencial de aprovechamiento y presencia en la zona. Estos distritos se distribuyen por todo el territorio nacional.

Tabla 4.
Distritos mineros en Colombia.

Distrito	Producto Minero
Amaga – Medellín	Carbón, Materiales de construcción y arcillas
Ataco – Poyande	Caliza, Materiales de Construcción y Otros
Barrancas	Carbón
Calamarí – Atlántico	Caliza, Materiales de Construcción y Otros
Calamarí – Bolívar	Caliza, Materiales de Construcción y Otros
Calamarí – Sucre	Caliza, Materiales de Construcción y Otros
Cali - El Dovio	Caliza, Materiales de Construcción, Carbón, Oro, Plata, Platino y Otros
Chivor	Esmeraldas
Costa Pacífica Sur	Oro, Plata, Platino
Cúcuta	Arcillas, Caliza, Carbón, Roca Fosfórica y Otros
EL Tambo - Buenos Aires	Oro, Plata, Materiales de Construcción, Carbón y Otros
Frontino	Oro, Plata, Platino, Cobre, Manganeso, y Yeso
Istmina	Oro, Plata, Platino
La Jagua	Carbón
La Llanada	Oro y Plata
Lobas	Oro y Plata
Los Santos	Yeso , Caliza
Magdalena Medio Bolivarense	Oro y Plata
Marmato	Oro y Plata
Mercaderes	Oro y Plata
Mojana Bolivarense	Oro y Plata
Montelíbano	Ferroníquel, Carbón, Oro, Plata y Otros
Muzo	Esmeraldas

Nordeste Antioqueño	Oro, Caliza, Arcillas
Oriente Antioqueño	Caliza, Materiales de Construcción, Arcilla y Cao-lín
Pamplona	Caliza, Mármol, Carbón, Roca Fosfórica, Oro y Otros
Paz del Rio	Caliza, Carbón, Mineral de Hierro, Roca Fosfórica y Otros
Puente Nare	Caliza, Arcilla Ferrosa
Putumayo	Oro, Mármol, Caliza, Materiales de Construcción y Otros
Sabana de Bogotá	Materiales de Construcción, arcilla y Otros
Tesalia – Aipe	Mármol, Dolomita, Caliza, Roca Fosfórica, Oro y Otros
Vetas	Oro y Plata
Zipaquirá – Samaca	Carbón, Arena Silícea, Sal Terrestre y Otros

Fuente: Elaborado por el Autor - 2016

En la tabla anterior se nombra cada distrito minero, el nombre y los productos mineros de mayor potencialidad en cada uno, sin embargo, en el siguiente mapa suministrado por el Ministerio de minas y Energía se representa de una mejor forma la ubicación de cada uno y el área en el cual se encuentra ubicado. La figura 12 establece la distribución de títulos mineros en Colombia.

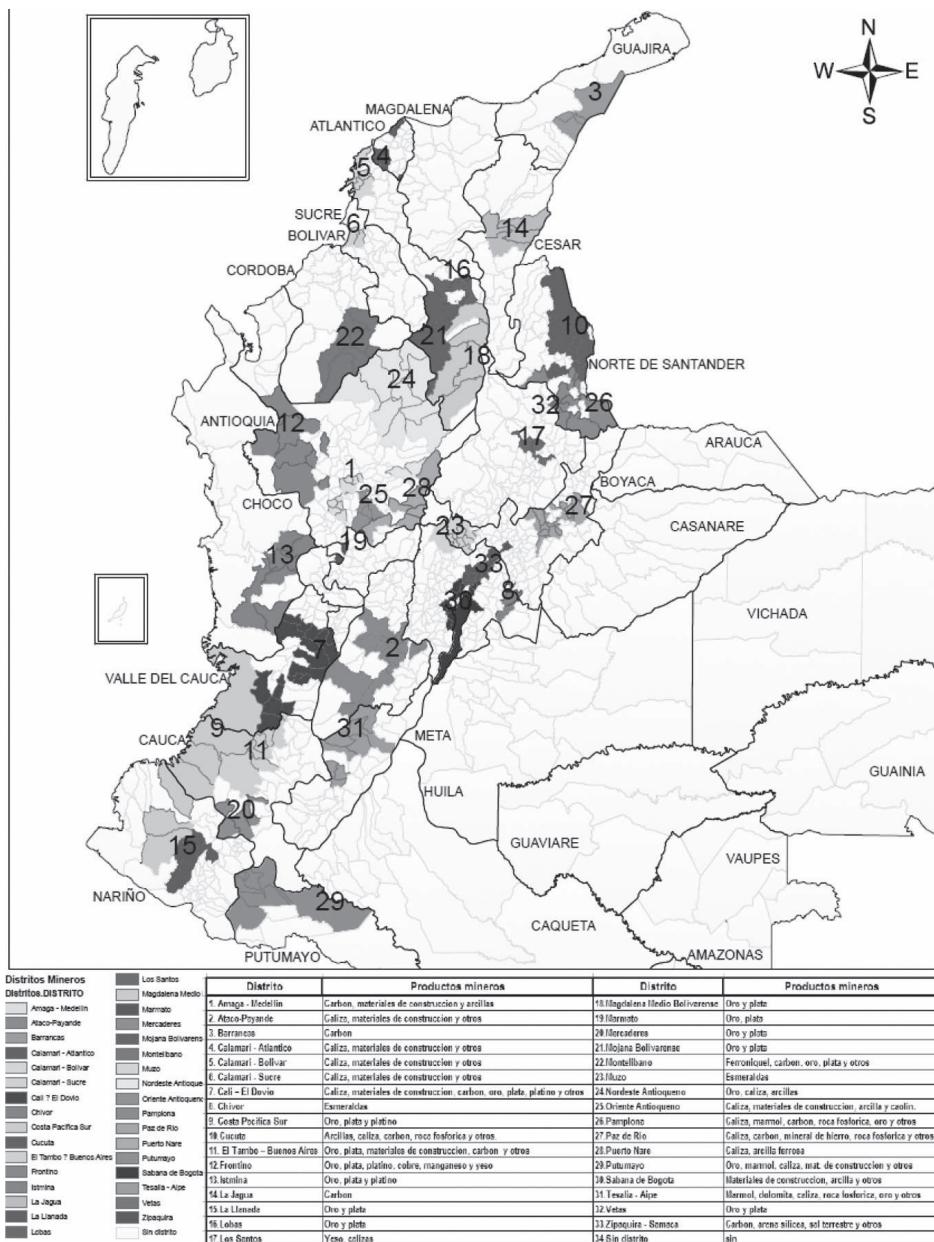


Figura 12. Mapa distritos mineros en Colombia.
(Ministerio de Minas y Energía, 2013)

2.10 Cadena de Valor del Sector de la Construcción en Colombia

La industria de la construcción y materiales en Colombia está organizada por un gran número de actividades y actores, los cuales se integran para dar dinámica al sector, entre estas encontramos la producción de materias primas y su posterior comercialización para construcción de obras residenciales, comerciales o de grandes obras de infraestructura. En la figura 13, diseñada por Rivera León para establecer la dinámica del sector construcción en general y calcular los flujos de materiales a través del sector e identificar riesgos y oportunidades en cuanto al suministro de estos materiales en Colombia, se evidencia las relaciones presentes en la cadena de valor de la construcción, con una variedad de materiales y procesos con el fin de satisfacer la demanda de los clientes o edificaciones.

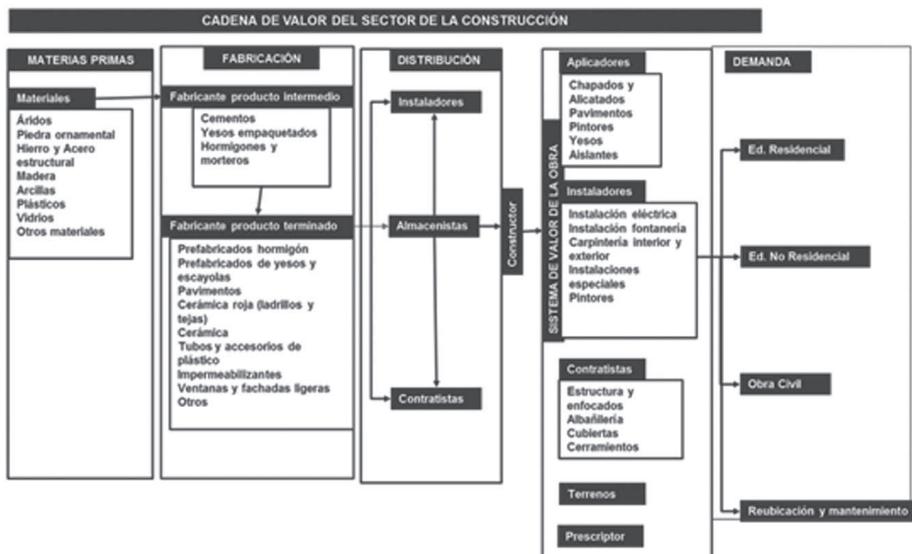


Figura 13. Cadena de valor del sector de la construcción.

Fuente: (Rivera Leon, 2015)

La cadena de valor del sector de la construcción es variada y se identifican cinco actores principales, iniciando con las materias primas que intervienen en la cadena, estos son áridos, piedras ornamentales, hierro y aceros estructurales, madera, arcillas, vidrios, plásticos entre otros. Un segundo actor en la cadena de valor son los fabricantes. El

proceso de fabricación es subdividido en dos. Existen fabricantes de productos intermedios, los cuales se encargan de la elaboración de cementos, yesos, hormigones y morteros. Sin embargo, existen fabricantes los cuales transforman estos productos intermedios en prefabricados de hormigón, prefabricados de yeso, pavimentos, cerámicas, ladrillos, tejas, tubos, ventanas, entre otros. Estos que se encargan de transformarlos son conocidos como fabricantes de productos terminados.

La actividad de distribución de los materiales se convierte en el actor intermedio de la cadena, su importancia radica en el suministro y almacenaje de los materiales. Están compuestos por almacenistas, ferreterías, contratistas e instaladores y su finalidad de satisfacer las demandas del mercado, clientes o constructores.

Los constructores son los implicados de generar un sistema de valor de la obra y materiales, este sería el cuarto actor de la cadena, pero que posee sub actores, que mediante la integración permiten darle su real valor, estos sub actores son: Los aplicadores se encargan de la aplicación de pinturas, yesos, aislantes, chapados, etc. Los instaladores cumplen la función de realizar instalaciones eléctricas, carpintería, instalaciones de servicios, acueducto, alcantarillado, redes de gas, etc. Los contratistas están enfocados a la estructura, labores de albañilería, cubiertas y cerramientos de la obra y por último y no menos importante se encuentran los terrenos y el prescriptor

Los anteriores, mediante sus funciones ejecutan y terminan las obras de construcción, las cuales quedan disponibles para satisfacer al último actor de la cadena conocido como Demanda, o aquellos potenciales clientes de las obras civiles, edificaciones residenciales o no residenciales como instalaciones industriales, y en algunos casos clientes que necesitan el mantenimiento de las edificaciones u obras.

3. PLATAFORMA DE SOLUCIONES LOGÍSTICAS EN LA MINERÍA GLOBAL

Los problemas de optimización en las cadenas de suministro mineras, son abordados de acuerdo a los niveles de decisión y las dimensiones funcionales del negocio (Pimentel *et al.*, 2010). En este sentido, las ciencias administrativas clasifican el proceso de toma de decisiones en tres niveles teniendo en cuenta el horizonte temporal (Bradley, Hax y Magnanti, 1977), que incluyen, la planificación estratégica en lo que se refiere a la toma decisiones en el largo plazo, de gran alcance y de información muy agregada, representando en el entorno minero, por ejemplo, la apertura de nuevas empresas mineras y la expansión de la capacidad de las instalaciones existentes; la planificación táctica, que se focaliza en la asignación eficaz de recursos para satisfacer los requerimientos de la demanda y las restricciones de operación en un mediano plazo, como por ejemplo, el desarrollo de planes de producción en las minas o en los puertos, o planes de transporte ferroviario, por lo que se requiere significante agregación en la información; y por último, las operaciones de control que incluyen programación de bajo nivel, en un corto plazo, lo que requiere que la información generada en niveles de decisión más altos deba ser desagregada a un grado útil, como por ejemplo, la asignación y el envío del equipo de arrastre en la mina, y la programación del tráfico de trenes en vías férreas restringidas.

En la dimensión funcional, los problemas en las operaciones mineras suelen incluir la programación de la mina a cielo abierto y subterránea, que consiste en determinar el calendario de producción óptimo durante la vida útil del yacimiento, desde el estudio de viabilidad hasta la fase de terminación; la asignación y envío del equipo de arrastre y carga en la mina, que consiste en el despliegue eficaz de camiones y excavadoras de acuerdo con algunos criterios de rendimiento, manteniendo una constante y fiable alimentación del mineral a las plantas de procesamiento; el procesamiento, en el que se realizan procesos físicos y químicos destinados a mejorar la calidad del mineral mediante la aplicación de operaciones de clasificación, concentración y aglomeración; la mezcla, que consiste en mezclar el mineral mediante un adecuado almacenamiento y recuperación, tanto el patio de

acopio en la mina como en el puerto, con el fin de entregar el mineral con las especificaciones de calidad requeridas; programación y despacho de trenes, lo que implica efectivamente el enrutamiento y control del movimiento del tren sobre una línea, así como la reunión de planificación y el paso de los trenes en las secciones de una sola línea, mientras se atienden las limitaciones operativas y la planificación y programación en el puerto, que consiste en la determinación de un plan óptimo para satisfacer la demanda de las embarcaciones, mientras se minimizan los retrasos en la cola de arribos de las naves, y la efectiva determinación de rutas para transportar productos minerales desde el recinto a la nave (Pimentel et al., 2010).

En un informe presentado por la CEPAL (2004) se concluye que la minería de los materiales de la construcción (no metálicos), tal como está concebida hasta el momento, no es sostenible. Para revertir esta situación, se resalta la importancia del valor agregado en el producto minero, de tal manera que se involucren a todos los actores. La cadena productiva de los materiales no metálicos del sector minero colombiano, está orientada a la exploración, explotación y comercialización de minerales como arena, calizas y arcillas, que son utilizados en procesos de producción industrial, construcción de viviendas e infraestructura, de allí la importancia de esta cadena en el desarrollo social y económico de una nación (Cárdenas y Reina, 2008). Del censo minero realizado por el Ministerio de Minas y Energía (2013), se identificaron las siguientes problemáticas: nivel de ilegalidad en cerca del 63% en promedio, en minerales como carbón y no metálicos los trabajos sin título minero ascienden al 60% y en oro al 85%, altos niveles de informalidad empresarial y laboral, baja implementación de acciones en seguridad y salud en el trabajo, escasa formación del talento humano y bajos niveles de información sobre la evolución del negocio a nivel nacional e internacional, por lo tanto no existe un programa a largo plazo.

La utilización de modelos matemáticos se convierte en una herramienta esencial para el diseño y la implementación de cadenas de suministro. Vernadat (1996) sugiere dos aspectos básicos en el modelado de las cadenas de suministro: “*las cadenas deben ser modeladas para su manejo propio, y la integración y la coordinación de los procesos necesitan ser modeladas*”. Por ende, el modelo debe ser capaz de capturar la complejidad de la cadena de suministros e integrar sus recursos (Dávila y Ramírez, 2012). Pimentel et al. (2011) afirman que la programación estocástica, representa

la mejor manera de abordar la metodología de solución de los problemas de las cadenas de suministro mineras. Varias metodologías eficientes se han desarrollado en ambientes estocásticos para el problema de programación de la producción minera (Bendorf y Dimitrakopoulos, 2013; Godoy y Dimitrakopoulos, 2004; Goodfellow y Dimitrakopoulos, 2013; Lamghari y Dimitrakopoulos, 2012; Lamghari, Dimitrakopoulos, y Ferland, 2013; Montiel y Dimitrakopoulos, 2013).

En términos de valor total de la producción de minerales, para el año 2011, Europa (excepto Rusia) y los EE. UU representaron el 3,5% y 4,2% de la minería metálica, respectivamente, mientras que países en vías de desarrollo contribuyeron con un poco más del 22%. Además, países desarrollados, ricos en recursos, como Australia y Canadá representaron el 13,3% y 2,6% y China el 12,7% (Ericsson y Hodge, 2012). A pesar de las crisis ocasionales, la industria minera de Australia ha experimentado 10 años de increíble crecimiento, en gran parte debido a la fuerte demanda de recursos de las economías emergentes, como China (Measham et al., 2013). China ha descubierto 171 tipos de recursos minerales, y están siendo probadas las reservas de 158 especies minerales (Xifengru et al., 2011). Canadá, produce a través de su industria minera cerca de 60 tipos de minerales, incluyendo 26 clases de metálicos, 22 de no metálicos y 5 de materias primas minerales desde aproximadamente 250 minas a partir de piedras, arena y grava (March Consulting Associates, 2012). Los países que lideran la producción mundial, han logrado un sólido desarrollo, alcanzando significativos niveles de crecimiento económico, Cárdenas y Reina (2008) identificaron factores de éxito, tales como: calidad de las instituciones, políticas macroeconómicas, formación del talento humano, desarrollo tecnológico, encadenamientos productivos, clúster y adecuadas estrategias de productividad (Gómez y Correa, 2011). Según Cárdenas y Reina (2008) “América Latina fue una de las cuatro regiones del mundo que presentó un crecimiento “record” en exportaciones, debido a la gran cantidad de producción minera”. Dentro de estos países, se encuentran a nivel de Suramérica: Chile, Perú y Brasil.

La minería es una actividad económica de interés en Colombia, a pesar de que el aporte al PIB no es muy significativo (2,32% con respecto al PIB total en 2012), su tendencia se encuentra en incremento en los últimos años, especialmente el sector de los no metálicos (0,32% con respecto al

PIB total) (Ministerio de Minas, 2014). El plan nacional para desarrollo minero visión 2019 liderado por el Ministerio de Minas y Energía (UPME, 2006), se enfoca en la promoción de un conjunto de minerales estratégicos tales como: carbón, oro, níquel, platino, esmeraldas y materiales de construcción, los cuáles son considerados críticos para el desarrollo productivo y económico del país. Los minerales no metálicos, dentro de los cuales se consideran los materiales de construcción no representan un aporte tan importante en volúmenes de exportación, por lo que existe una brecha para la consolidación de una cadena de suministro global, dadas las potencialidades del sector. Además, el Plan Estratégico del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería 2005 – 2015 (Colciencias, 2005), contiene una propuesta de líneas de investigación y desarrollo tecnológico para diferentes fases de la actividad minera y energética en desarrollo y productividad para apoyar la exploración y evaluación de los minerales estratégicos o desarrollar tecnologías tendientes a mejorar la productividad minera y las operaciones.

Respecto al tamaño de la minería no metálica, se puede indicar que, en el 2014, la producción de la caliza alcanzó los 15,37 millones de Toneladas, que representa un incremento del 10,18% con respecto a 2013 y la del cemento gris llegó a los 12,4 millones, que se traduce en un aumento del 10,1% con respecto al año anterior. El incremento en el valor agregado de los minerales no metálicos se debió al aumento en la producción de rocas y materiales utilizados en la construcción en 9,9%, en tanto que la de minerales para usos industriales descendió en 2,2% (DANE, 2013). Esto significa que en Colombia se cuentan con reservas del mineral y es posible, si se invierte en tecnología, suplir el mercado interno lo cual conllevaría a una reducción de costos por el transporte y se generaría más empleo para la población colombiana, además de la reducción de las importaciones (UPME, 2014). Con base en las teorías de la competitividad, para permanecer en mercados competitivos y dinámicos, la diferenciación ya no se enfoca en los productos sino en la manera de construir relaciones perdurables y recíprocamente fructuosas entre proveedores y clientes, por lo que estos principios constituyen la clave para considerar las estructuras de colaboración en la cadena global de la minería, teniendo en cuenta la planeación de la capacidad.

La colaboración en las cadenas de suministros, es llamativa tanto para las organizaciones como para los investigadores (Chandra y Kumar, 2000; Barratt, 2004). De acuerdo con esto, los resultados de estudios asociados a la colaboración en las cadenas de suministro, traen beneficios significativos como el aumento de ingresos, disminución de costos y mejora la flexibilidad operativa para hacer frente a la incertidumbre de la demanda (Simatupang & Sridharan, 2005), fijación de precios de transferencia a través de integración vertical utilizando un modelo de juegos cooperativo con información perfecta, en el cual el valor de Shapley genera los precios de transferencia (Rosenthal, 2008); formación de coaliciones entre los socios de la cadena de suministro para el análisis de la estabilidad, aplicando la teoría de juegos cooperativos de un juego en tres niveles con dos jugadores (Nagarajan & Sosic, 2008); eficiencia de diferentes tipos de contratos cuando la demanda y el tiempo de entrega son aleatorios, combinando la teoría de colas para evaluación y la teoría de juegos para la toma de decisiones (Hennet & Arda, 2008).

Con respecto al enfoque en la solución, los beneficios se traducen en modelos de cadenas de suministro binivel que incluyen factores de costo, así como elementos de competencia y cooperación entre los agentes (Esmaeili, Aryanezhad & Zeephongsekul, 2009); disminución del Efecto Bullwhip en una cadena de suministro estructurada en dos niveles, resuelta mediante la teoría de juegos (Dobos y Pinter, 2010); distribución del riesgo de cooperación con base en la teoría de juegos colaborativos con el valor de Shapley (Xiaofen, J. et al., 2011). Además, dentro de las principales ventajas que generan las relaciones de colaboración, se encuentra el incremento en los niveles de productividad por la unificación de procesos, aumento en los ingresos, en la capacidad de innovación, generación de “supervivencia” en contexto de turbulencia del mercado y disminución el riesgo (Bustamante, 2009).

Por otra parte, para Accenture (2007) una adecuada administración de la cadena de suministro permite a las empresas mineras fijar y obtener beneficios financieros tales como: 1. Mayores niveles de ganancias a través del incremento de la producción y venta de los minerales; 2. Reducciones de los activos mediante una mayor rotación de inventario; 3. Reducción de los costos de tiempo de espera en el envío y despacho de las órdenes de mineral. Así mismo, este autor argumenta que para alcanzar estos

beneficios y obtener una cadena de suministros con niveles de desempeño, las empresas del sector minero cuentan con cuatro estrategias inseparables de la actividad minera: construir habilidades con entrenamiento de calidad, integración entre las partes (empresas), definir el modelo adecuado de operaciones y mejora de los procesos de planificación de la cadena de suministro.

3.1 Cadena de Suministro Global de la Minería

El desarrollo regional, en un mundo globalizado, está determinado por diversos factores, entre ellos, alcanzar el máximo aprovechamiento de las ventajas competitivas, asociado a los niveles de productividad y de manera sustentable, exponiendo la capacidad de una región para sostener y expandir su participación y posicionamiento en los mercados tanto nacionales como internacionales y de esta manera coadyuvando en el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes. En este sentido, la visión de una región y particularmente de sus gobernantes debe apuntar a una adecuada organización de sus territorios (Baena, Sánchez y Montoya; 2006), estudios de localización de las organizaciones, y conformación de complejos productivos o clúster que comprenden, según Porter (2008) empresas relacionadas, proveedores especializados, empresas de industrias e instituciones asociadas que compiten pero que también cooperan.

Para Forrester (1961) el éxito de las organizaciones se relaciona con la interacción entre los flujos de información, materiales, pedidos, dinero, mano de obra y equipos. Este concepto corresponde a una aproximación sobre lo que se conoce como cadena de suministro (SC), entendiendo su gestión como la comprensión y control de los flujos. El modelo propuesto está compuesto por cuatro niveles (fábrica, almacén, distribuidor y minorista) y mediante simulación se realizaron experimentos sobre algunos de los efectos que genera el encadenamiento por etapas, especialmente, el efecto látigo (del término inglés *Bullwhip Effect*). Además, Burns y Sivazlian (1978), con base en las actividades logísticas, conciben a la cadena de suministro como la agrupación de empresas que se desempeñan en el diseño, ingeniería, marketing, fabricación y distribución de bienes o servicios a los consumidores finales. De acuerdo a Stevens (1989), Lee y Billington (1993) y Eksioglu (2001) la cadena de suministros está compuesta por actividades que involucran la planificación, coordinación,

control de materiales y productos terminados, conforme a las necesidades de los clientes, señalando que existen dos tipos de flujos dentro de las organizaciones: de materiales y de información. No obstante, Akkermans *et al.* (2003), Stadtler (2005) y Menguzzato (2009), consideran que es una red compatible con tres tipos de flujos: los flujos de material, que representan los flujos de productos físicos desde los proveedores hasta los clientes, así como las devoluciones de productos, servicios y el reciclado; los flujos de información, que representan la transmisión y seguimiento de pedidos, y coordinación de los flujos físicos; y los flujos financieros, que representan el flujo de dinero. La programación de estos flujos se deberá realizar con base en los principios de calidad, costos mínimos y plazos de entrega, es decir, que los materiales sean movidos de manera económica y efectiva (De la Arada, 2015).

Desde un enfoque sistémico, Christopher (1992) define la cadena de suministro como una red de organizaciones involucradas en actividades que generan valor, representadas en bienes o servicios en las manos del cliente final. Además, Ganeshan y Harrinson (1995) la conciben como una red de instalaciones y de distribución que permite el aprovisionamiento de materiales, su transformación en productos en proceso o finales, y su distribución para satisfacer las necesidades de los clientes. Para Manzini (2012), cuando la cadena de suministro es vista como una red, los sistemas multimodales de transporte (por carretera, ferrocarril, marítimo o aéreo) representan los “arcos” en la red, mientras que las instalaciones en las que se manejan los productos a través de la red, representan los “nodos” e incluyen instalaciones de fabricación, almacenes y centros de distribución, terminales de contenedores (o puertos marítimos), centros de consolidación o des consolidación de cargas, patios, ferrocarril, crossdocks y aeropuertos. A pesar que, la cadena de suministro es una red de organizaciones y funciones geográficamente dispersas en varios sitios, estas deben cooperar para reducir costos y aumentar la velocidad de los procesos y de las actividades entre los proveedores y los clientes (Genin, 2003).

La Londe (1997), Min y Mentzer (2000), Chandra y Kumar (2000) y Mentzer (2004) coinciden en afirmar que la cadena de suministro es un conjunto o integración de varias empresas independientes que están involucradas en la fabricación de un producto, y que implementan acciones para gestionar el flujo dentro del canal de distribución desde los proveedores

hasta el cliente o usuario final. Sin embargo, Min y Mentzer (2000), agregan a este concepto la importancia de que todas las organizaciones involucradas contribuyan en el aumento de la competitividad, mientras que Chandra y Kumar (2000), resaltan la relevancia del consenso entre las distintas firmas para cubrir la demanda del cliente final y buscar el incremento del beneficio. Por su parte, Jagdev y Thoben (2001) aportan a todos los elementos descritos, la necesidad de combinar habilidades para alcanzar y lograr un final común. En tanto que Ballou (2004) la define como una agrupación de actividades funcionales que se repiten en todo el canal de flujo de los productos para transformar las materias primas en productos finales y se añade valor al consumidor. Correa y Gómez (2009) coinciden en que la cadena de suministro “*busca añadir valor al cliente, mejorar las relaciones con proveedores, y aumentar las ganancias a los accionistas*”.

Beamon (1998) manifiesta que se pueden distinguir dos procesos esenciales en la SC, tales como, a) la planificación de la producción y gestión del inventario, y b) distribución y logística. El primero hace referencia a la oferta de bienes o servicios y al almacenamiento de materias primas, productos en proceso y productos terminados, y el segundo, a la forma en la que los productos son entregados a las compañías, distribuidores y clientes finales. No obstante, para Poirel y Bonet, (2006), la cadena de suministro incluye el conjunto de operaciones de distribución física, gestión de la producción y gestión de la oferta, llevadas a cabo por una serie de empresas de tipo industrial, comercial o de servicios en una lógica de coordinación para abastecer la demanda.

Mentzer *et al.* (2001), definieron tres niveles de complejidad en una cadena de suministro: directa o simple, extendida o completa y red de cadenas de suministros. La primera, se compone de una organización, un proveedor y un cliente; la segunda contiene a los proveedores de los proveedores de la organización y a los clientes de los clientes inmediatos (Minoristas); y la tercera incluye todas las organizaciones involucradas aguas arriba y aguas abajo en la cadena de suministro. Para Ballou (2004) en la cadena de suministro extendida se llega hasta los puntos de origen de la materia prima o a los clientes finales, por lo que es importante planificar y controlar las actividades clave y de apoyo y los flujos de información si repercuten en la logística del servicio que se suministra al cliente, así como los costos de suministro en esta etapa, tomando como base que la dirección

de la cadena extendida tiene el potencial de incrementar el desempeño logístico por encima de la cadena inmediata de suministros.

Sánchez (2008) propone una cadena de suministros extendida en la que agrupa el conjunto de procesos en dos niveles: planificación y ejecución, considerando el horizonte de planificación en la toma de decisiones. En el nivel de planificación se utilizan sistemas avanzados o APS (*Advanced Planning Systems*) y en el nivel de ejecución, son usados sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*). A su vez, el nivel de planificación se subdivide en decisiones de tipo colaborativo, estratégico, táctico, operativo y detallado. Los procesos involucrados en el nivel de planificación incluyen el modelado y planificación de la demanda; a nivel estratégico, el diseño de la red de suministro; a nivel táctico, la planificación de la misma; a nivel operativo, la planificación del aprovisionamiento, de la producción, del transporte y de la distribución y a nivel detallado, comprende el aprovisionamiento, producción, transporte y distribución detallados; mientras que el nivel de ejecución lo componen: la gestión del inventario, producción, gestión de almacenes, gestión de las entregas y gestión de pedidos. Cabe mencionar, que ambos niveles siguen la secuencia de la cadena de valor respectivamente en cada nivel jerárquico, así: comprar, fabricar, almacenar, mover y vender (Sánchez, 2008).

La gestión de la cadena de suministro (*del término inglés Supply Chain Management SCM*), desde sus inicios, se centró fundamentalmente en la necesidad de integración de los procesos clave del negocio, desde los proveedores originales hasta el consumidor o cliente final (Burns y Sivazlian, 1978; Menguzzato 2009). Por tanto, la logística es la encargada de lograr que los productos o servicios adecuados, estén en el lugar indicado, en el momento oportuno y satisfaga los requisitos del cliente, con base en tres funciones básicas: abastecimiento, producción y distribución (Ballou, 2004). A su vez, la logística puede ser interna o externa; la primera es encargada de la planificación y gestión de todas las funciones y procesos al interior de la organización de tal manera que actúen en forma coordinada e integrada, considerando el intercambio de información para mantener la sinergia del sistema (Groover, 2007), mientras que, la segunda se enfoca en la gestión e integración de las actividades entre los agentes externos de la cadena y la empresa. Los actores, están constituidos por proveedores,

empresa, clientes, transportistas, almacenes en tránsito y centrales de compra y distribución (De La Arada, 2015).

Según Genin (2003), SCM es un enfoque integrado y su objetivo es reducir la necesidad de capital de trabajo de la empresa, así como satisfacer a los clientes poniendo a su disposición una cantidad de productos al costo más bajo. Stadtler (2005), ilustra la SCM como una casa, en la que cada uno de los bloques que la componen permite mostrar cada aspecto de la gestión. El techo de la casa evidencia los objetivos finales de la SCM: la competitividad y servicio al cliente, los cuales se pueden mejorar con la reducción de costos, flexibilidad ante las fluctuaciones de la demanda y brindando un alto nivel de calidad de los bienes o servicios. Las columnas que lo soportan representan, por un lado, la integración de las unidades de negocio y por otro, la coordinación necesaria que debe existir entre ellas a todos los niveles, teniendo en cuenta los flujos de materiales, información y financieros. En este caso, la base, representa los fundamentos y procesos de apoyo para la gestión de la cadena (la logística, el mercadeo, investigación de operaciones, teoría organizacional, entre otros) (Stadtler y Kilger, 2002).

De acuerdo a la ilustración realizada, para Porter (1999) la competitividad de una nación está relacionada con la capacidad para innovar e implementar mejoras en sus industrias. Según Christopher (1998), el servicio al cliente se estructura en tres elementos: pre-operación que consiste en el acceso del cliente a la información sobre los bienes o servicios ofertados; operación, en el cual son entregados los mismos según los requisitos del cliente y post-operación, que constituye el servicio prestado luego de que la orden se cumple. Por su parte, Van der Vaart y Van Donk (2004) definen la integración como la colaboración entre los distintos actores de la cadena, incluyendo actividades, tales como, la selección de los socios, redes colaborativas entre las empresas, y aspectos del liderazgo ejercido por algunos miembros, de tal forma que se supriman las barreras y se faciliten los flujos, considerando una etapa de transparencia, otra fase de compromiso y coordinación y por último una etapa de planificación integral, relacionada con la toma de decisiones. Es por esto que, Lejeune y Yakova (2005) destacan que la tipología de la cadena de suministro tradicional diferencia cuatro bases de configuración: comunicación, coordinación, colaboración y cooperación. Incluso, para Stank *et al.* (2001) la colaboración entre los integrantes de la cadena de

suministro es un elemento crítico en su proceso de planificación y de los resultados obtenidos por ellos.

3.2 Colaboración en la Cadena de Suministro

3.2.1 Principales Componentes de la Colaboración

En la cadena de suministro comunicativa, predomina la entropía en el proceso de toma de decisiones, pues cada una de las entidades es independiente, y no existe la búsqueda de objetivos globales, por ende, cada entidad usa su poder de negociación para alcanzar sus propios objetivos. En la cadena de suministro coordinada, se genera competitividad en las diferentes organizaciones que integran la cadena, mediante el flujo de información en todos los eslabones, con base en datos transaccionales, de producción y de los procesos relacionados. Mientras que, en la cadena de suministro colaborativa (SCC), priman los procesos de toma de decisiones coordinadas, teniendo en cuenta relaciones ganar – ganar, por lo que las entidades añaden objetivos comúnmente definidos y utilizan sus activos complementarios para generar competitividad en el largo plazo; es por esto, que con frecuencia los objetivos comunes de los actores de la cadena son definidos teniendo como referencia un problema en particular, buscando la necesidad de soluciones conjuntas. A diferencia de la anterior, en la cadena de suministro cooperativa, el proceso de toma de decisiones es a base de paridades y coordinación, hay un conjunto de objetivos que comúnmente serán perseguidos por las entidades de la cadena, siendo este conjunto de objetivos definido por una entidad líder de la cadena (Lejeune y Yakova, 2005).

La colaboración es definida como el trabajo en conjunto entre dos o más empresas para planificar y realizar las operaciones de la cadena de suministro (Simatupang y Sridharan, 2005), con base en el compromiso, confianza, respeto, habilidades y conocimientos de los socios de la cadena (Barratt, 2004; Kumar, 2001). A esto añade Mehrjerdi (2009), los siguientes componentes: integración, automatización, información y confianza, además, la colaboración va más allá del intercambio y la integración de información entre los proveedores y sus clientes, e implica la toma de decisiones tácticas conjuntas entre los socios en las áreas de planificación, previsión, distribución y diseño del producto. Entonces, la

colaboración en la SC debe ser concebida desde un enfoque sistémico, en el existe sinergia entre los socios, coadyuvando a la planificación conjunta y el intercambio de información en tiempo real, por lo que la razón principal de la colaboración en la cadena de suministro es que una empresa no puede competir con éxito por sí misma (Forrester, 1961), debido a que los clientes y la competencia son cada vez exigentes.

Según Bowersox (1990), la gestión de la cadena de suministro puede analizarse como una estrategia de colaboración, basada en la vinculación de la totalidad de las operaciones comerciales de las empresas, con el objeto de lograr una visión compartida de las oportunidades de mercado. De la misma forma, Blackburn (1991), sostiene que la colaboración en la cadena de suministro facilita en las empresas la eficaz respuesta a las necesidades del cliente final con un costo mínimo. Para Fisher (1997) el rol fundamental de la colaboración entre las distintas empresas interrelacionadas a lo largo de la cadena de suministro es hacer coincidir la oferta y la demanda en el momento adecuado y en el lugar correcto, con base a esto, la colaboración en la cadena puede ser definida como un medio para que dos o más empresas encauzen esfuerzos conjuntos en la definición y entrega de productos a los clientes finales, para obtener mayores beneficios, lo que implica que los actores de la cadena estén dispuestos a establecer metas comunes y participar en esfuerzos coordinados que se traduzcan en un mejor rendimiento para todas las partes (Herrera y Acevedo, 2014).

Simatupang y Sridharan (2002) y Barratt (2004) establecieron dos posiciones que conducen a dos nuevos tipos de colaboración, la colaboración vertical o jerárquica y la colaboración horizontal. Además, Sahay (2003) señaló que existen dos tipos de cadena de suministro colaborativa, relacionadas con la colaboración entre los proveedores y los clientes o consumidores. Para Bustamante (2009) y Sun y Ma (2010), los nuevos escenarios de negocios en el marco de la globalización de los mercados definen la red colaborativa como el resultado de combinaciones de colaboración verticales y horizontales entre las organizaciones, mayormente autónomas, distribuidas territorialmente, disímiles en lo relativo a su entorno operativo, cultura, capital social y objetivos, que se unen para lograr ofrecer una completa gama de servicios, con el propósito de atender proyectos que demanden una alta capacidad de respuesta, la cual no podría ser soportada individualmente por alguno de los miembros de tal red. Además, según Rey

(2001), la integración horizontal mostró ventajas similares en cada una de las empresas de un mismo sector industrial, al lograr acceso preferencial a servicios críticos. Las estrategias emergentes de ambas clases de integración se conocen como “Estrategia de Colaboración Controlada”, debido a que esta colaboración inter-empresarial se materializa a través de la adquisición de los capitales de los diferentes miembros.

3.2.2 Tipos de Colaboración

Kanter (1994), en su investigación plantea algunos tipos de colaboración en relación al grado de integración entre las empresas, como son: (i) integración estratégica, que implica la comunicación permanente entre los líderes principales para discutir los objetivos globales o los cambios en cada empresa; (ii) integración táctica, que involucra profesionales para desarrollar planes y proyectos específicos; (iii) integración operativa, proporciona medios para realizar las actividades diarias en el trabajo; (iv) integración interpersonal, construye una base necesaria para construir y sostener el futuro de una relación; (v) integración cultural, personas involucradas con habilidades de comunicación y conciencia cultural, para que sirvan de puente entre las diferencias de las organizaciones. Mientras que, Stadtler (2005) definen cinco tipos de colaboración: (i) estimación de la demanda colaborativa, (ii) inventario colaborativo, (iii) oferta colaborativa, (iv) capacidad colaborativa, (v) transporte colaborativo, (vi) materiales y servicios colaborativos.

Según Mehrjerdi (2009), la capacidad colaborativa permite determinar el plan de capacidad contratada o disponible con sus clientes, para negociar un nivel mínimo y máximo de capacidad, de tal forma que no se afecte la producción, ni los costos de ambos. Para Stadtler (2005) el objetivo típico de la capacidad colaborativa es proporcionar flexibilidad adicional para el fabricante (el consumidor), siendo concebida como un ejemplo de colaboración relacionada con el servicio: el intercambio de información de proveedores y consumidores sobre la demanda y la disponibilidad de servicios de producción. En este sentido, un fabricante (consumidor) colabora con un subcontratista (proveedor) en torno a la utilización de las instalaciones de producción del subcontratista, basado en el plan maestro del fabricante, por tanto, el fabricante busca asegurarse de que él consigue una reserva para una cantidad específica de la capacidad, sin saber el nivel

utilizado de la capacidad de producción y el producto que se fabrica, por lo que, la capacidad colaborativa generalmente es accionada por el consumidor.

Existen diferentes estructuras, de acuerdo al número de agentes y de las relaciones entre ellos; Simatupang y Sridharan (2002) propusieron una estructura simple de cadenas de suministro colaborativas que se componen de un minorista y un proveedor o divisiones autónomas en una empresa. En cambio, Sun y Ma, (2010), clasificaron la estructura de la cadena de suministro colaborativas en tres niveles: el más bajo contiene minoristas, en un segundo nivel, los fabricantes, y por último los proveedores. En lo referente a la estructura de la cadena, cuando existen dos niveles la estructura 1-1 relaciona a un vendedor y un comprador; 1-N relaciona un vendedor y múltiples compradores; N-1 relaciona múltiples vendedores y un comprador. En la de tres niveles, la estructura 1-1-1 relaciona un proveedor, un fabricante y un minorista; la estructura N-1-n, relaciona múltiples proveedores, un fabricante y múltiples minoristas. La arquitectura más analizada ha sido la de dos niveles con una estructura 1-1, por tal razón Nagarajan y Sosic (2008), Xiao y Qi (2008), Xie y Neyret (2009) y Biazaran Gharakhani (2011), proponen para futuras investigaciones la extensión del modelo a un número mayor de niveles.

3.2.3 Cadena de Suministro Global

El entorno económico mundial, trae consigo retos que implican la adopción de una nueva estrategia competitiva para las compañías multinacionales, teniendo en cuenta que la gestión global de la cadena de suministro está basada tanto en una mayor integración de los proveedores y clientes, como en una mayor coordinación a través de múltiples procesos de valor agregado dentro de la empresa (McCormack et al, 1994; Ohmae, 1995). Por tanto, las estrategias mencionadas son requeridas para mantener la base de la capacidad en una escala global para procesos esenciales como la realización de pedidos, gestión de la oferta y desarrollo de nuevos productos (Majchrzak y Wang, 1995; Womack y Jones, 1996). Por su parte, Eksioglu (2001) se refiere a la cadena de suministro global (GSC), como una cadena donde una o más entidades del negocio, tales como, proveedores, fabricantes, distribuidores o minoristas operan en diferentes países. A este concepto, Porter (1999) y Preiss et al. (1996) añaden que

la estrategia global de la SC implica tanto decisiones operativas como financieras, por ende, su implementación exitosa puede conducir a la gestión de riesgos con mayor eficacia y el aprovechamiento de las ventajas específicas de la empresa y puntuales de la ubicación para obtener mayores ingresos y menores costos. Sin embargo, para Manzini (2012) una cadena de suministro global, no es sólo una entidad abstracta integrada por políticas, contratos con proveedores, acuerdos de compra, etc., sino que existe en una red de ordenadores o base de datos, apoyados por un sistema logístico que permite mover variedad de productos de una manera oportuna y generando rentabilidad en el negocio.

3.2.4 Cadenas de Suministro de la Minería

Una cadena de suministro global de la minería se define como una red integrada por instalaciones diseñadas para procesar (usando una variedad de técnicas de producción), y distribuir, (usando una variedad de modos de logística), productos a granel o minerales desde las minas a los clientes, que pueden estar separados por distancias geográficas significativas (Pimentel et al, 2010). En este contexto, la planificación estratégica debe ser dedicada a evaluar grandes inversiones de capital en el establecimiento de una nueva mina (o en la expansión de la capacidad de las existentes), instalaciones para el procesamiento, estaciones de suministro y canales logísticos con el fin de satisfacer la creciente demanda. Sin embargo, en los tiempos de disminución la demanda, las decisiones estratégicas deben también incluir, el cierre o no de las instalaciones específicas de manera temporal o permanente (Diaz et al ,2006). La expansión de la capacidad y los problemas de diseño de redes son difíciles de resolver, por lo que, cuando se considera este riesgo, la complejidad computacional requiere especial cuidado y una mayor precisión en el desarrollo de la formulación matemática y, lo más importante, el enfoque en la solución. (figura 14).

Gómez y Correa (2011) realizaron un análisis del transporte y distribución de materiales de construcción utilizando simulación discreta en 3D. La simulación discreta permite analizar desempeño del transporte y distribución de manera permitiendo medir cantidades movilizadas, eficacia de los procesos y utilización de recursos. Por su parte, Pimentel et al (2011) proponen un modelo estocástico para la planeación estratégica de la capacidad en la cadena de suministro global de la minería que incluye

las zonas de explotación, plantas de procesamiento, transporte multimodal, zonas de embarque en puertos y distribución final.

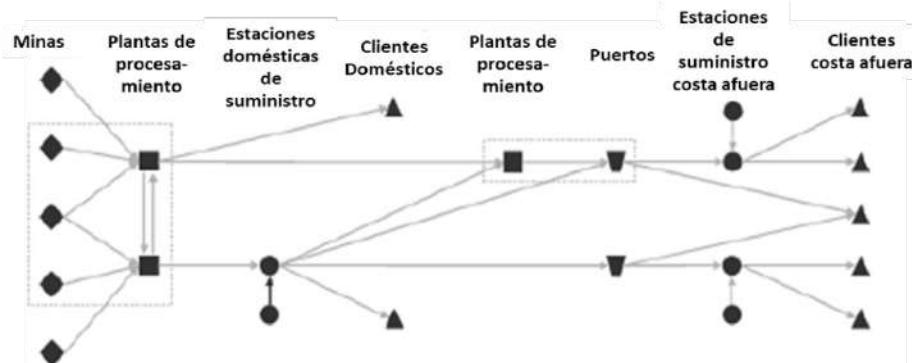


Figura 14. Cadena de suministro global de la minería.

Fuente: (Pimentel et al., 2010)

3.3 Métodos de Solución para la Optimización de la Cadena de Suministro Global de la Minería No Metálica

La formulación matemática del modelo para la planificación de una cadena de suministro global de minería está integrada por el tamaño de lote, la expansión de la capacidad, la ubicación de las instalaciones en la red y las decisiones de diseño, tales como: la gestión de los niveles de producción en la mina y su proceso de transformación correspondiente en la sinterización y alimentación de pellets en las plantas de procesamiento, así como la transformación del pellet en gránulos en las plantas de peletización; el flujo del mineral entre las minas, plantas, puertos, estaciones de suministro y los clientes que utilizan camiones, ferrocarriles, conductos o vasos; ubicación de las instalaciones y diseño de la red, es decir, abrir, cerrar y volver a abrir las instalaciones y los canales de logística de acuerdo a la demanda; expansión de la capacidad incremental en las instalaciones y la logística en los canales originales, o recién creados. Para futuros trabajos, es una prioridad la aplicación de métodos de solución a los problemas integrados de la cadena de suministro minera, ya en instancias del tamaño del problema de manera realista se requieren algoritmos de propósito especial. La solución de los problemas de programación estocástica, parecen más adecuados para hacer frente a todas las incertidumbres inherentes a las operaciones mineras (Pimentel et al., 2011).

Bodon et al. (2011) describieron un método para modelar una cadena de suministro compleja de exportación usando una combinación de técnicas de optimización y de simulación de eventos discretos para permitir el análisis de la capacidad y la evaluación de opciones de expansión. Se presenta un estudio de caso de una implementación exitosa del enfoque, en la cadena de suministro de exportación del carbón en una zona de Indonesia. Por su parte, He *et al.* (2011) construyeron un modelo de optimización multiobjetivo para la selección de socios en las empresas mineras, en combinación con el grado de la relación cercana entre éstas y posteriormente introducen la aplicación de un algoritmo genético, con experimentos, para el mismo propósito haciendo uso de MATLAB.

Dimitrakopoulos (2011) planteó un enfoque no convencional para la estimación de las reservas o comprensión de los depósitos minerales en toda la cadena de la minería, la optimización de la planificación minera, y la previsión de la producción, integrando dos elementos: la simulación estocástica y la optimización estocástica, proporcionando un extendido marco que permite el modelado y la integración directa del yacimiento, la incertidumbre de diseño de la mina, planificación de la producción, y la valoración de los proyectos y operaciones mineras. Este marco estocástico aumenta el valor de los programas de producción en un 25%.

Dávila y Ramírez (2012) presentaron un modelo matemático para la optimización de una cadena de suministro global con consideraciones de cupos de compra, periodos de pago, capacidad en volumen y peso de los medios de unitarización de carga como restricciones del sistema, formulado como un problema de modelación dinámica determinística y de programación lineal. El modelo representa una cadena de suministro para una locación fabril nacional y proveedores de suministros internacionales. En este aspecto, se presenta una aplicación del modelo a un caso real de la industria nacional con una mezcla de veinticuatro tipos de materias primas, con cuatro proveedores internacionales y cada proveedor. Para investigaciones futuras proponen, entre otras, la extensión de la topología del modelo; la consideración de elementos estocásticos, que incluyen variables como la demanda y los leads time, que se ajusten a un entorno más real y aspectos para la apertura o cierre de los puertos.

Zhao *et al.* (2012) plantearon un modelo de la cadena de suministro para la planificación de la mina de carbón mediante la programación

lineal para la programación de la producción. El objetivo del modelo de optimización es maximizar los volúmenes de ventas con las restricciones en la cadena de suministro de demanda del cliente, tiempos de entrega, capacidad y el inventario. Se utiliza un ejemplo de la mina de carbón a cielo abierto para demostrar la adecuación del modelo y su capacidad para reducir la planificación y programación del tiempo y la respuesta a la incertidumbre. El modelo puede ser extendido para planificación de la producción y el uso de minas en más sectores de la minería y para varias plantas de preparación del carbón.

Montiel y Dimitrakopoulos (2013) desarrollaron una extensión del modelo de la cadena de suministro de un complejo minero que contiene varias minas, que operan simultáneamente, donde existen múltiples flujos de procesamiento, reservas y productos, fundamentado en un método de múltiples etapas para la producción minera con base en el riesgo a largo plazo, las operaciones con múltiples tipos de rocas y flujos de procesamiento. El método desarrollado utiliza un algoritmo de recocido simulado en la fase de optimización, tratando de minimizar las desviaciones de los objetivos de producción y diferentes flujos de procesamiento del mineral. El enfoque propuesto se aplica al depósito de cobre en Escondida Norte, Chile.

Fung, Singh y Zinder (2014) diseñaron un modelo para la optimización de la planificación de la capacidad en las cadenas de suministro de minerales, que tiende a minimizar el costo de la expansión de la infraestructura para cualquier escenario con base en la demanda futura. Es diseñado como una metaheurística - un híbrido de la programación lineal entera mixta (MILP), y recocido simulado. Los experimentos computacionales con datos procedentes del mayor exportador de carbón del mundo, muestran la capacidad de la metaheurística desarrollada para resolver instancias del problema industrial escalado. La investigación adicional puede comprender el desarrollo y la comparación de los diferentes modelos de programación matemática basados en el modelo híbrido presentado.

El trabajo desarrollado por Goodfellow y Dimitrakopoulos (2016) muestra, de nuevo, en dos etapas el modelo global estocástico de optimización para la programación de la producción de complejos de la minería a cielo abierto con incertidumbre, que incluye tres combinaciones de metaheurísticas como el recocido simulado, la optimización de enjambre de partículas y la evolución diferencial para evaluar el desempeño del

programa de solución. Para futuras investigaciones se puede investigar el uso de la optimización estocástica de varias etapas con el fin de permitir que las políticas estén adaptadas en virtud de la oferta (geológica) y la incertidumbre en la demanda (precio del metal), lo que probablemente provocará un aumento del valor económico.

Zhang y Kleit (2016) desarrollaron un modelo económico teórico de dos etapas para obtener el valor de las reservas de minerales almacenados para su procesamiento futuro, una vez la mina se agota y cómo afecta a la tasa de extracción óptima, además, investigan la sensibilidad de la tasa de explotación óptima por las variables de entrada, como el precio de los productos básicos, tasa de descuento, costo de capital, y la capacidad de procesamiento, etc. Concluyen que la opción de almacenamiento puede aumentar significativamente las ganancias en las minas y proponen, entre otros aspectos, la inclusión de elementos que cubran los efectos de las economías de escala en el modelo.

3.4 Beneficios de la Planificación Colaborativa

Los beneficios de una cadena de suministro dependen principalmente de la demanda del mercado, y la demanda del mercado depende de ciertos factores vitales como son el precio de venta del producto, la disponibilidad del producto y por supuesto la calidad de los productos. En la práctica, la demanda del mercado no se puede anticipar exactamente. Como resultado la demanda y la incertidumbre juegan un papel muy importante en los procesos vitales de adopción de estrategias óptimas, la incertidumbre de la demanda incluso ha pasado a ser un tema muy importante de la investigación de operaciones, principalmente en el área de la gestión de la cadena de suministro (Roy, 2015).

Vonderembse et al. (2006), establece que los beneficios que se pueden obtener a partir de una planificación desde el punto de vista colaborativo son: (i) reducción en los tiempos de ciclo, (ii) mayor flexibilidad en los procesos asociados a los pedidos y las entregas, (iii) disminución de los niveles de inventarios. También, en el caso de que se requieran recursos, y no estando éstos disponibles, una planificación adecuada apoyará al intercambio de recursos entre los agentes de la cadena de suministro (Binder y Clegg, 2007). Respecto a la generación de productos de calidad, Li et al. (2007) plantea que la colaboración entre los proveedores y los

clientes apoyará a la disminución de los costos operacionales y, por consiguiente, a la generación de procesos de colaboración más eficientes. Por otra parte, Huiskenen (2001) establece que el desarrollo de una planificación colaborativa favorece tanto la gestión con los clientes como la gestión de los inventarios. En este sentido, Alarcón et al. (2004) plantea que las ventajas principales de la utilización de la planificación colaborativa están relacionadas con: (i) reducción del efecto bullwhip, (ii) reducción de los costos, (iii) reducción de los inventarios, (iv) reducción de los tiempos de ciclo y (v) mejora de la satisfacción del cliente. Así mismo, Berning (2004) establece que las metas que debe perseguir el desarrollo de una planificación que considere un intercambio de información para promover la colaboración entre los agentes de la cadena se orienta a: (i) generar transparencia en los procesos productivos, (ii) reducir los tiempos de respuesta, (iii) minimizar los conflictos potenciales entre los socios y (vi) la utilización efectiva de los inventarios.

4. DIAGNÓSTICO MINERO NO METÁLICO DEL DEPARTAMENTO DE SUCRE

4.1 Departamento de Sucre y Minería Regional.

En el departamento de Sucre posee un área de 10,917 Km² y un total de habitantes de 843.202. Este departamento tiene 26 municipios y dividido en 5 subregiones clasificadas dependiendo sus características geográficas y biodiversidad. (figura 15) (Departamento nacional de planeacion, 2015).

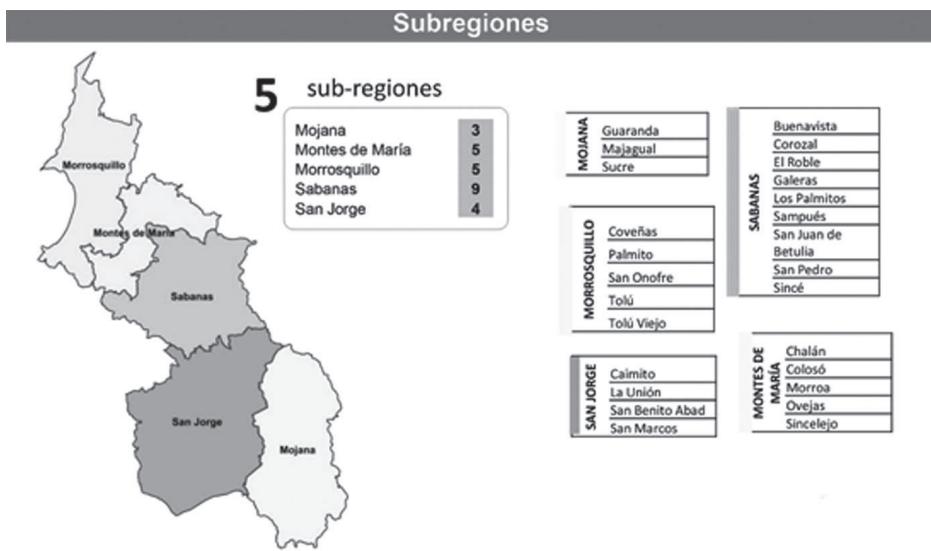


Figura 15. Mapa subregiones departamento de Sucre-

Fuente: DNP 2015.

En los últimos años la economía en el departamento de Sucre ha crecido, sin embargo el PIB del departamento se ve ampliamente dominado por en el sector de servicios sociales, comunales y personales, que a diferencia de los indices nacionales causa admiración (figura 16). Esto significa que el departamento enfocó gran parte de sus esfuerzos y recursos a la actividad antes mencionada y al sertor agropecuario, descuidando un poco el sector de minas y canteras, con aporte al PIB departamental del 1,1%, dedicado a la extracción y procesamiento de materias primas que satisfacen en el mercado y sector de la construcción, presentando la oportunidad para el fortalecimiento de este sector, gracias al potencial que tiene y no ha sido explotado (Oficina de estudios Economicos MinCIT, 2015).

Estructura PIB por sectores*

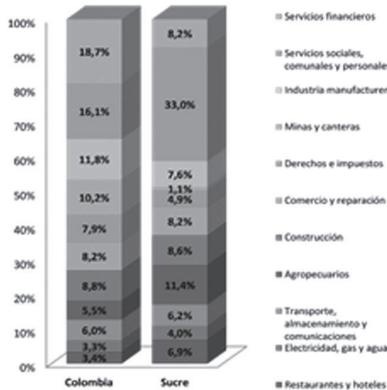


Figura 16. Estructura del PIB por actividad en el departamento de Sucre.

Fuente DANE cuentas departamentales

En el departamento de Sucre existe actualmente un distrito minero denominado Calamarí - Sucre. Los distritos mineros son zonas estratégicas, con encadenamiento geográfica y geológica, en el cual la minería es una actividad económica de interés e impacto social, en el cual los productores o empresarios privados, se comprometen con el negocio minero que garanticé legalidad, competitividad y sostenibilidad, de ello también permite generar el encadenamiento y participación de instituciones, organizaciones sociales, gremios, cooperativas, entes generadores de conocimiento y tecnología, y demás que puedan servir de apoyo en elaboración de la planeación y la gestión de la mejora de la productividad y competitividad sostenible del encadenamiento productivo minero y empresarial, asimismo la articulación institucional, acorde a la visión, las políticas y planes de desarrollo del País. Este distrito en el departamento de Sucre lo integran los municipios de Toluviejo, Tolú y Sincelejo. En el cual se encuentran importantes yacimientos de caliza, arcilla y arena, cuyo aprovechamiento sostenible se pretende realizar con un enfoque dual, pues al tiempo que se extraen los minerales se buscará darles un atractivo turístico a dichas explotaciones, cuyos productos pueden distribuirse nacional e internacionalmente aprovechando la posición estratégica del territorio, que cuenta con buenas comunicaciones terrestres y acceso al mar Caribe (INCOPLAN S.A, 2010, p. 28).

De acuerdo con las estadísticas contenidas Agencia Nacional Minera (ANM) existen en el departamento de Sucre 10,4 mil hectáreas aproximadamente de concesión minera, de las cuales el 33,6% están en etapa de exploración, el 10,5% está en construcción y montaje, el 55,9% están en etapa de explotación. Del total de productos el 94,1% están dedicadas a materiales de construcción (arena, arcilla, grava, caliza, etc.) (Departamento nacional de planeacion, 2015).

Sin embargo, esta actividad minera en Sucre está representada principalmente por la extracción de piedra caliza, arcillas y otros materiales básicos para la construcción. Los materiales para la construcción son productos pétreos explotados en minas y canteras usados, generalmente, en la industria de la construcción como agregados en la fabricación de piezas de concreto, morteros, pavimentos, obras de tierra y otros productos. También son materiales de construcción, los materiales de arrastre, tales como arenas, gravas y las piedras yacentes en el cauce y orillas de las corrientes de agua o cuerpos de agua y otros terrenos aluviales (Ministerio de Minas y Energía, 2003). Esta actividad de explotación se ha realizado, a través de la gran empresa, pero también de manera artesanal por pequeños mineros que trabajan agrupados en asociaciones. En este caso, se trata de una minería con técnicas muy primarias, de alto riesgo y condiciones socioeconómicas difíciles para los productores, para ello La minería artesanal y la pequeña empresa deben ser formalizadas y fortalecidas para evitar la degradación del medio ambiente y la precariedad de las condiciones laborales, así como para implementar prácticas de seguridad industrial (PEDCTI, 2013, p. 239).

En el 2016 de acuerdo con el Registro Minero Nacional y el catastro minero, hubo 64 títulos mineros inscritos vigentes para el departamento de Sucre, de los cuales 27 títulos mineros estaban ubicados en el municipio de Toluviejo y en la titulación minera predomina la explotación de materiales pétreos o agregados de piedra caliza para la construcción, los materiales para la construcción, mármol y puzolana (Ministerio de minas y energía, 2009). Es importante impulsar este sector de materiales para la construcción, que a su vez es jalónado por el sector de la construcción. Ambos han tenido crecimiento, desde 2009 cuando la producción era de 11.449 toneladas de caliza, a producir 13,954 toneladas en el año 2013 (Figura 17) (Unidad de planeación minero energética, 2014).

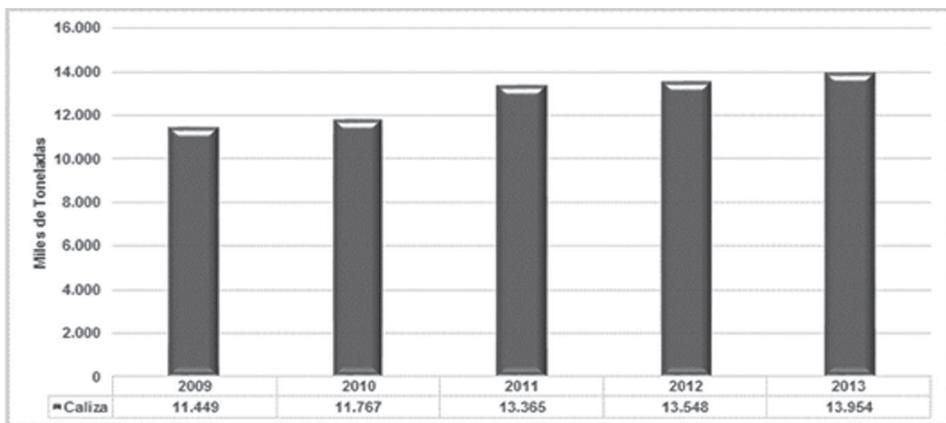


Figura 17. Producción de calizas.

Fuente UPME 2014

Estas zonas ciertamente poseen características similares y analizarla es uno de los principales retos debido al bajo nivel de información que se conoce, para ello Álvaro Correa habla de la explotación racional e integral de canteras, la cual debe incluir o guiarse por los siguientes ítems, el cual muestra algunos de los aspectos más importantes, que se deben conocer o tener en cuenta para conocer la características de estos centros de explotación o producción minera, estos ítems son: localización geológica y geográfica, cubicación del depósito, calidad de los materiales a extraer, métodos de explotación, capacidad técnica del propietario, manejo ambiental y social de la explotación, relaciones con la comunidad, permisos legalizados actualizados, legislación y normatividad (Alvaro Correa Arroyave, 2000).

Es cierto que Sucre no fue incluido en el último censo minero, pero es notable que existe falta de integración en las diferentes cadenas bien sean logística, comercial o productiva, que afecta toda la cadena de suministro y su gestión o Supply Chain Management (SCM), ésta ha sido de importancia para todas las empresas independiente de su actividad económica porque busca aumentar la productividad y competitividad, trata de integrar de forma adecuada los procesos logísticos de la cadena de suministro, con el fin de mejorar su desempeño y eficiencia (Correa Espinal & Gómez Montoya, 2009).

Para establecer esta coordinación entre los procesos, se debe establecer las características de la titulación minera y su distribución en el departamento, representada en la siguiente tabla de número de títulos por modalidad en el departamento de Sucre a 2016.

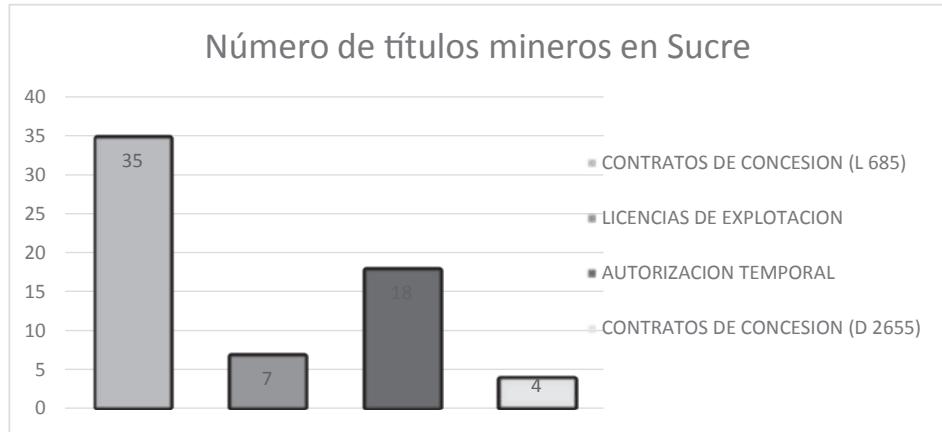


Figura 18. Titulación minera en Sucre.

Fuente: Autor - 2016

Para el 2016, en el departamento de Sucre, existe un número de 64 títulos mineros vigentes inscritos en el catastro minero de la agencia nacional minera de Colombia (figura 18). Estos títulos se encuentran distribuidos de la siguiente forma: por contratos de concesión existen 35 títulos, representando el 55% de total de participación departamental.

En la modalidad de autorización temporal existen 18 títulos, los cuales representan el 28% del total de títulos vigentes en el departamento. Estas dos modalidades son las más representativas del sector minero departamental, sin embargo existen en una menor proporción las licencias de explotación con 7 títulos y los contratos de concesión D 2655 con 4 títulos, representando el 11% y 6% respectivamente. (figura 19).

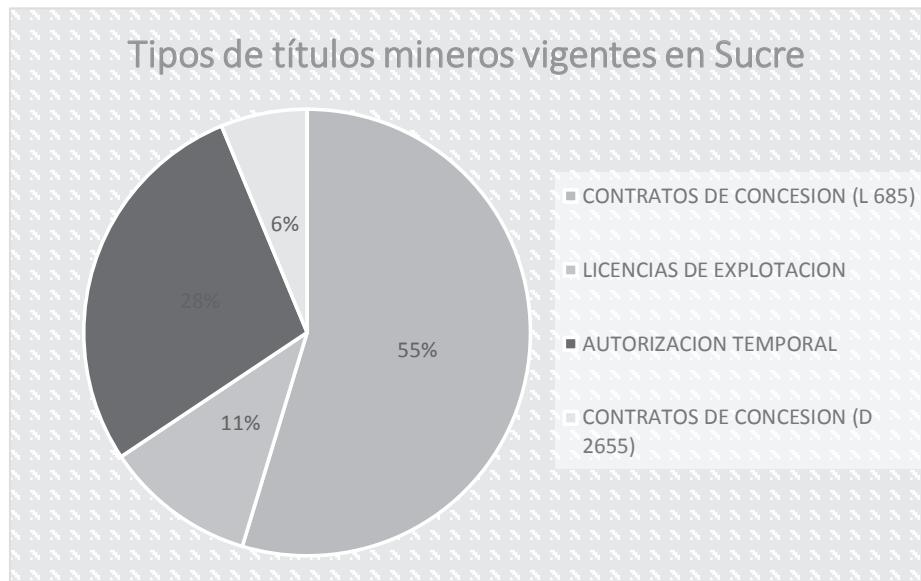


Figura 19. Clases de títulos mineros en Sucre. Elaboración propia, a partir de (Agencia Nacional Minera, 2016)

Tabla 5.
Títulos Mineros vigentes en el departamento de Sucre.

Municipio	Títulos vigentes	# expediente	Área (mts ²)
Colosó	3	GC9-081	9631332
		QKJ-10131	4671454,6
		QKR-08191	2853589
Corozal	2	JG1-11383	80745
		OK8-10541	2505426
Guaranda	4	OFS-15271	256931,62
		OAP-10411	75877,66
		NAH-09201	985336,09
		PCQ-16461	250224,54
Morroa	2	QF5-08151	819924,96
		QD9-14151	1156417

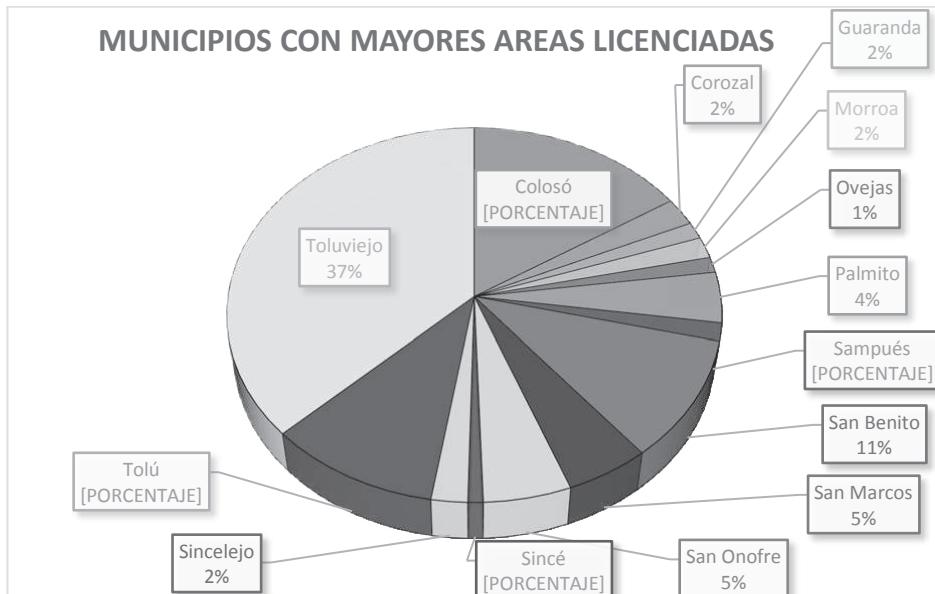
Ovejas	2	KKH-08511	454456,46
		LID-14521	996380,5
Palmito	7	ICQ-0800433X	1,92E+00
		ICQ-0800420X	1,26E+00
		GKM-082	4709252,5
		ICQ-0800423X	1
		HJN-14331	2
		HJN-14321	1,9997999
		ICQ-0800424X	1,701242
Sampués	2	LLG-15541	1258940,1
		QCR-10381	397912,51
San Benito	4	PG1-12121	2940000
		PG1-12291	4659398,4
		PGU-08091	510637,5
		PG1-12461	3150000
San Marcos	3	LK9-15261	2290753,4
		LK9-10051	2257399,8
		NAB-14211	898536,67
San Onofre	1	QKJ-10001	5678359,7
Sincé	1	OK8-10381	977122,56
Sincelejo	4	JHT-15451	888853,55
		GHV-101	657244
		HK7-15473X	775000
		PIP-13501	24939,01
Tolú	2	IHO-08002	8487113
		ICQ-0800437X	2710781

Toluviejo	27	FFU-142	1097134,1
		ILA-15563X	6081,91
		ILJ-08161X	109352,15
		HJJ-15011	532849,98
		GC9-083	78012
		GH3-081	3821585
		HBE-102	83945
		II3-16591X	4146839
		014-70	4945000
		ILA-15565X	25055,89
		3632	9873095
		18404	696200
		KLH-14201	85481,6
		QCO-09271	345857,36
		015-70	4631489,8
		013-70	3910000
		16600	1265000
		10655	563582
		005-70	210800
		KDE-16461	110687,18
		17753	820799
		16102	1099353
		JLG-16091	326082,78
		10655A	433201
		011-70	152832
		10654	655360
		FHK-111	89516,56
Total	64		108125541

Fuente: (Agencia Nacional Minera, 2016).

Según el listado de títulos vigentes extraídos del catastro de la Agencia Nacional Minera, se ve la alta representación de títulos ubicados

en el municipio de Toluviejo, el cual pertenece al distrito minero Calamarí-Sucre. El área licenciada en este municipio representa el 37% de total de áreas licenciadas y Colosó con 16% de participación de estas áreas, siendo estos dos municipios los que mayor área posee titulada por la agencia nacional minera actualmente. (figura 20)



*Figura 20. Municipios con mayor área de titulación minera
en el departamento de Sucre*

Fuente: Elaboración propia (Agencia Nacional Minera, 2016).

La actividad minera en el departamento se viene realizando desde hace aproximadamente 300 años, en la zona más representativa que es el municipio de Toluviejo y esta actividad va desde los niveles de producción para subsistencia, hasta los niveles de producción y explotación industrial.

Sin embargo en esta zona existe el desacuerdo entre los titulares y las personas nativas de la región con respecto a la distribución de estos títulos, debido a que las áreas licenciadas o las mayorías de las zonas explotables tituladas se encuentran o han sido otorgadas a personas u organizaciones externas a la zona. Esta condición crea en la zona una problemática social, en la cual las personas de la zona tienen que realizar las actividades de

explotación minera de forma ilegal o bajo un permiso del titular, lo cual no permite el desarrollo apropiado de las personas y su actividad económica.

La explotación se realiza a lo largo del municipio, distribuyéndose en ella múltiples trituradoras que se encargan de transformar la roca en rocas con una menor granulometría que sea ideal para el uso en el sector de la construcción. En información recolectada anteriormente, se logró establecer que existen en este municipio 10 organizaciones integradas por personas que realizan actividades como explotadores, comercializadores y procesadores de piedra caliza y derivados, que se encuentran legalmente constituidas, las cuales se mencionan en la Tabla 6.

Tabla 6.
Organizaciones mineras en el municipio de Toluviejo - Sucre

Organizaciones Mineras de Toluviejo		
Nombre	Integrantes	Actividad
Cooperativa de picadores de piedra de Toluviejo (COODEPITOL)	70	Explotación, procesamiento y comercialización de piedra caliza, arena
Asociación de Mineros de Varsovia (ASOMIVA)	55	Exploración, explotación, transformación, beneficio y comercialización de piedras calizas y sus derivados.
Cooperativa de procesadores de piedra caliza de Varsovia y Gualón	31	Exploración, explotación, transformación, beneficio y comercialización de piedras calizas y sus derivados
Asociación de mineros del Suán	40	Exploración y explotación de yacimientos minerales, caliza, mármol, materiales de construcción y arrastre, otros materiales concesibles y piedras metamórficas
Asociación de mineros de Toluviejo de la exploración y explotación de arenas y otros minerales.	325	Explorar, explotar materiales derivados de la explotación de material de arrastre (arenas, gravas y demás asociados de la minería)

Asociación de mineros de la piche	16	Exploración, explotación y comercialización de minerales, para el mejoramiento de las condiciones económicas, sociales y culturales de los asociados y el resto de la comunidad de la piche.
Asociación de mineros y procesadores de la caliza San José.	56	Extracción, procesamiento y comercialización del material de la caliza.
Asociación de productores derivados de caliza de Toluviejo	15	Extracción, procesamiento y comercialización del material de la caliza.
COOUNOPIEDRA	17	Extracción, procesamiento y comercialización del material de la caliza.
CORMINTOL	72	Proyectos productivos en las áreas de exploración, explotación, procesamiento y comercialización de minerales

Fuente: Autor. (Plan de Desarrollo del Municipio de Toluviejo, 2016).

La mayoría de estas organizaciones tiene la característica de no poseer un título minero propio que le permita el desarrollo de su actividad económica libremente, esto hace que entonces creen convenios de concesión con los dueños o titulares de los títulos mineros o simplemente se enfocan en un trabajo de exploración, explotación y procesamiento ilegal de material.

Las organizaciones anteriormente mencionadas hacen parte del grupo encargado de la explotación y suministro a las trituradoras o personas naturales que compran estos materiales para luego transformarlos, este proceso es realizado por las trituradoras. Existen cerca de 24 trituradoras.

4.2 Ubicación Geográfica de las Principales Zonas de Explotación y Procesamiento de Materiales Agregados para la Construcción

Geográficamente estas zonas de explotación se encuentran ubicadas sobre la serranía de Coraza o sobre la formación geológica de Toluviejo, y se distribuyen a lo largo de la ruta 90 que conduce hasta Cartagena (Figura

21). Así mismo, la principal zona de explotación de materiales de arrastre o arenas está ubicada en el corregimiento El Piñal y municipio de Ovejas por la cual pasa la ruta 25 del sistema nacional de vías colombiano.

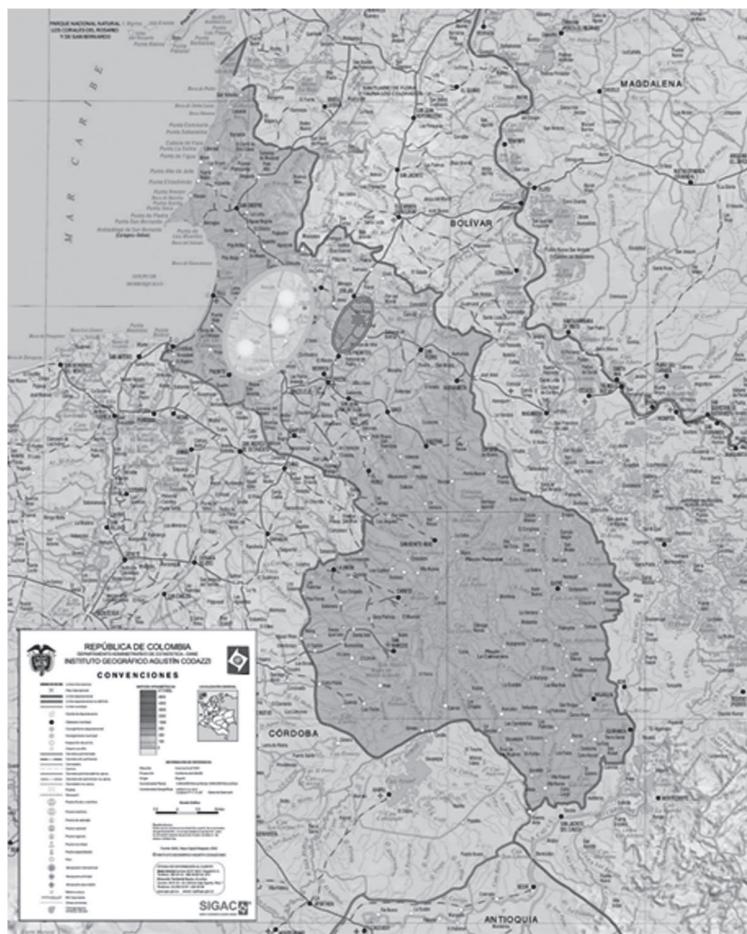


Figura 21. Mapa físico departamento de Sucre.

Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2016.

De forma más clara en las siguientes imágenes se muestra la ubicación y lugar de explotación o procesamiento de las principales asociaciones o empresas dedicadas al sector de materiales agregados para la construcción que explotan para comercialización en las diferentes ciudades.

Holman Ospina Mateus, Jorge Bravo Madera,
Jairo Montero Pérez, Angelly Pérez Fernández

En la figura 21 correspondiente al mapa físico del departamento se muestra con estrellas de color amarillo la ubicación de los principales lugares de explotación y procesamiento de materiales agregados para la construcción.



Figura 22. Mapa Físico del Departamento de Sucre.

Fuente: Google Maps – 2016

En la siguiente figura 22 es de importancia resaltar que las trituradoras y canteras se encuentran ubicadas en la parte color naranja de lado derecho de la vía sentido Toluviejo - San Onofre debido a que esta área esta licenciada a personas u otras organizaciones, mientras la parte sombreada azul esta

licenciada a nombre del grupo ARGOS, que posee una planta de cementos en el municipio.

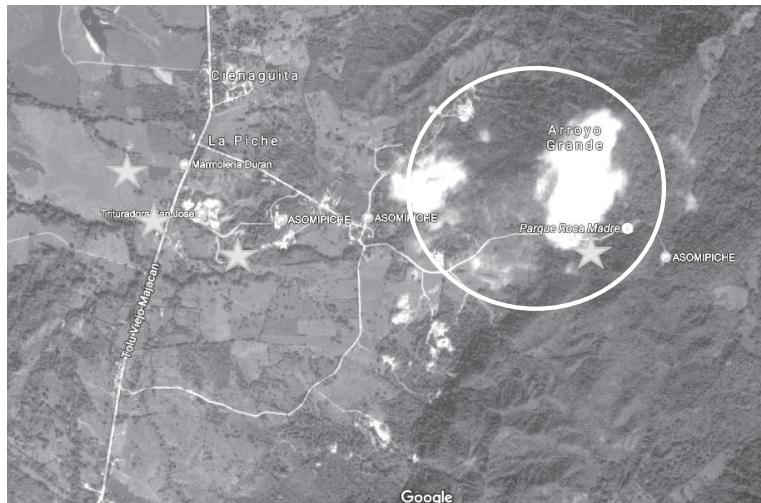


Figura 23.Fotografía aérea Corregimiento La Piche - Tolviejo.

Fuente: Google Maps 2016

En el corregimiento la Piche del municipio de Tolviejo (Figura 23), se encuentran varias empresas representadas principalmente por la Asociación Mineros de la Piche, Marmolería, Duran y Trituradora San José. La formación geológica posee zonas de protección ambiental, esta como se ve sobre el círculo rojo la explotación de materiales se hace prohibida debido a que se declaró área protegida y en la cual se encuentra actualmente el parque ecoturístico Roca Madre.



Holman Ospina Mateus, Jorge Bravo Madera,
Jairo Montero Pérez, Angelly Pérez Fernández

Figura 24. Fotografía aérea Corregimiento La Piche - Toluviejo.

Fuente: Google Maps 2016

Entre el corregimiento la Piche y Toluviejo al margen derecho se encuentran las trituradoras y canteras de mayor capacidad operativa, como es Agrenorte, AgreSacre y Agrerocas, en las cuales las operaciones mineras de realizan de forma más formal. (Figura 23).

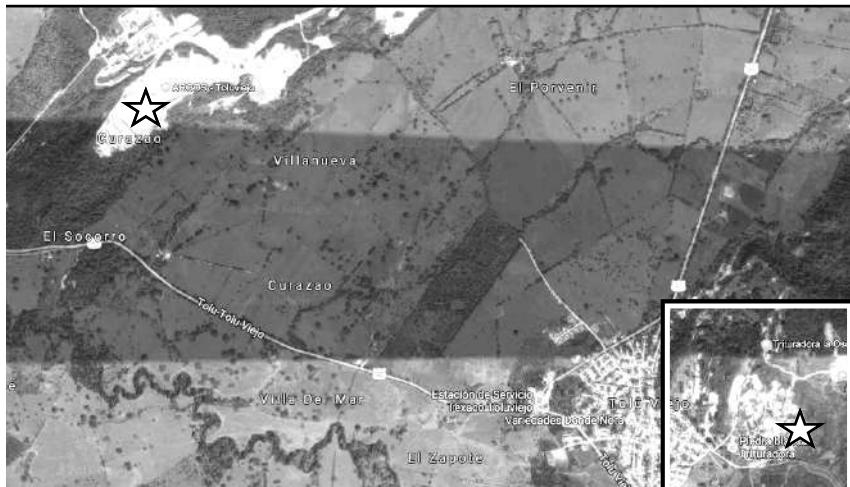


Figura 25. Fotografía Aérea Municipio de Toluviejo.

Fuente: Google Maps 2016.

La vista aérea del municipio de Toluviejo (Figura 24 y 25) nos muestra en su parte superior izquierda la planta del grupo ARGOS que realiza operaciones mineras a gran escala, mientras en la parte inferior derecha se presenta la ubicación de las trituradoras y zona de explotación de las asociaciones del municipio, que realizan operaciones de extracción de forma informal con técnicas artesanales.

En la figura 26, se encuentran las trituradoras, la oscura, Jomeve, Aprocals, Tolupiedras, entre otras y asociaciones de mineros como COODEPITAL, APROCAL, Asociación Mineros De Toluviejo, y personas que no están en ninguna asociación, pero realizan extracción de materiales como opción de trabajo para el sustento de sus familias, estas labores las realizan en el cerro Oscurana o Cerro Comunal.



Figura 26. Fotografía aérea Municipio de Toluviejo.

Fuente: Google Maps 2016.

En la intersección de la vía Colosó - Toluviejo – Palmito (Figura 26), se encuentran otras trituradoras, como Trituradora Feliciano, Romar, Jomeve 2, Distribuciones Toluviejo y Alicante, que se ubican al lado de la vía de forma estratégica para la comercialización de sus productos, de estas ninguna tiene cantera para extraer su material, pero lo compran a las personas de las asociaciones locales.



Figura 27. Fotografía aérea intersección Toluviejo - Coloso - Palmito.

Fuente: Google Maps 2016

El resto de trituradoras y canteras de materiales se encuentran ubicadas en el municipio de Varsovia y Gualón, en la figura 27, en la cual se encuentran ubicadas las trituradoras Comulpropical, El Molino, El pueblo, Agregados RG y además asociaciones de mineros como la asociación de mineros de Varsovia y la de asociación de Gualón. (Figura 28).

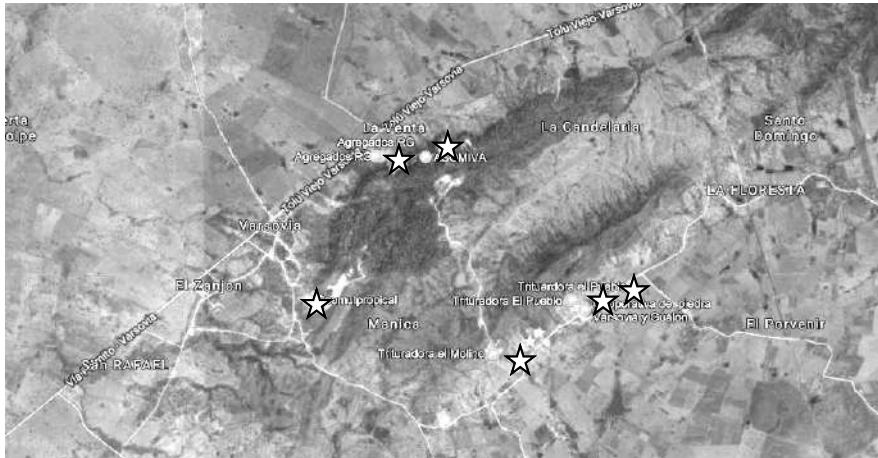


Figura 28. Fotografía Aérea Corregimiento Varsovia y Gualón.

Fuente: Google Maps 2016.

4.3 Canteras, Extractores o Productores en el Departamento de Sucre

En Colombia se conocen numerosos yacimientos de calizas distribuidos en casi todos los departamentos, con reservas medidas de un poco más de 1000 millones de toneladas e indicadas de 4000 millones de toneladas que por lo que se conoce, abastecerá por muchos años el consumo local (COOMULPROPICAL, 2012). Según Marin & Londoño (2013) en el país existen 5.259.645 millones de hectáreas que abarcan títulos mineros en Colombia, de las cuales solo 9.439 tienen títulos mineros vigentes, 56 de ellas en el Departamento de Sucre, de 19.919 hectáreas en la región. (Figura 29).

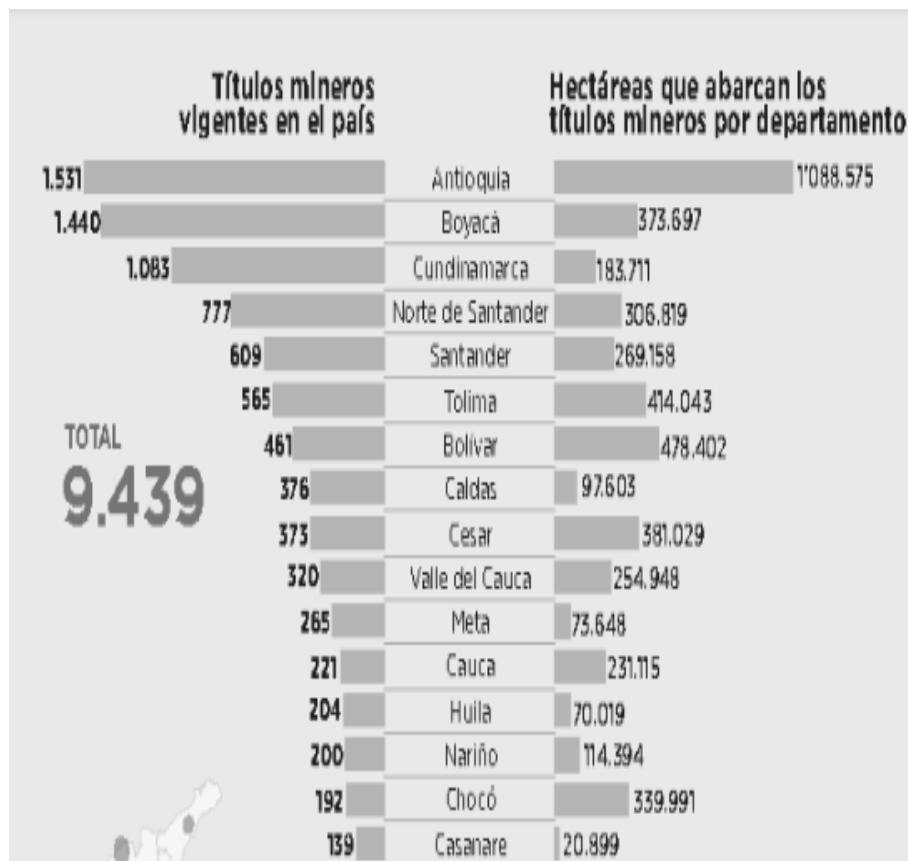


Figura 29. Mapa Minero de Colombia.

Fuente: (El Espectador, 2016)

El departamento de Sucre posee un área de 10,917 Km² y un total de habitantes de 859.913, 432.752 hombres y 424.161 mujeres (DANE, 2016).

Este departamento tiene 26 municipios divididos en 5 subregiones clasificadas dependiendo sus características geográficas y de biodiversidad (Departamento nacional de planeación, 2015). De acuerdo con estadísticas suministradas por la Agencia Nacional Minera (ANM) existen en el Departamento de Sucre, 10.400 hectáreas aproximadamente de concesión minera (Departamento nacional de planeación, 2015).

A continuación, podemos ver algunos de los materiales que pueden ser extraídos en los municipios anteriormente descritos de acuerdo con las reservas mineras en el Departamento de Sucre (Gobernación de Sucre, 2016).

Tabla 7.
Reservas mineras del Departamento de Sucre.
TABLA 3. RESERVAS MINERAS DEL DEPARTAMENTO

Municipios Sincélejo	Auríferas	Carboníferas	RESERVAS			Otros
			Carbón	Petróleo y gas	Metalícas	
Buenavista		Carbón				
Caimito		Carbón				
Coloso		Carbón				
Corozal		Carbón				
Cúcuta						
Güévaras						
Guatapé						
El Roble		Carbón				
Galeras						
Guaranda	Oro, Plata, Platino	Carbón		Uranio		
La Unión		Carbón				
Los Palmitos						
Majagual	Oro, Plata					
Morroa						
Ovejas		Carbón				
Palmito		Carbón				
Sampués		Carbón				
San Benito Abad						
San Juan De Botilla		Carbón				
San Marcos		Carbón				
San Onofre						
San Pedro		Carbón	Gás Propano			
San Luis De Since		Carbón				
Since						
Santiago De Tolú				Hierro Rubílo (Titánio)		
Toluviejo		Carbón			Caliza Caliza, Marmol, Arcillas, Arenas silíceas, chon- tillo, Margas	

Fuente: Ingeominas – Ministerio de Minas Secretaría de Desarrollo Económico

Fuente: (Ministerio de Minas. Secretaría de Desarrollo Económico - Fuente: Ingeominas)

La minería en Sucre está basada en la explotación de arcilla, arena, materiales de arrastre y caliza. La arena se encuentra en los municipios de Morroa, Corozal, Los Palmitos, Galeras, Ovejas y Toluviejo; la arcilla se encuentra en Sincelejo, donde ya hay un proyecto grande que se está ejecutando; y la caliza, en el municipio de Toluviejo que es el potencial más grande que tiene el país (EL UNIVERSAL, 2010).

4.4 Actividad Minera en Extracción de Materiales de Construcción

La actividad minera en Sucre está representada principalmente por la extracción de piedra caliza, arcillas y otros materiales básicos para la construcción. Los materiales para la construcción son productos pétreos explotados en minas y canteras a cielo abierto, generalmente en la industria de la construcción como agregados en la fabricación de piezas de concreto, morteros, pavimentos, obras de tierra y otros productos. También son materiales de construcción, los materiales de arrastre, tales como arenas, gravas y las piedras yacentes en el cauce y orillas de las corrientes de agua o cuerpos de agua y otros terrenos aluviales (Agencia Nacional Minera, 2003).

Las exploraciones de minería en la región de Sucre se caracterizan por desarrollar un bajo grado tecnológico, casi que nulo, ya que el método de extracción y los elementos utilizados para la extracción son rudimentarios y artesanales, en ocasiones se utiliza pólvora negra preparada por los mineros, para extraer la piedra caliza, luego se somete a una trituración manual utilizando mazos o monas y se vende como material para afirmado y relleno de vías. Así mismo, para los procesos de extracción de arcillas, observamos que son 100% artesanal, sin ningún tipo de maquinarias o varillas de perforación. Los trabajos de extracción son a cielo abierto, con mano de obra no calificada, y estos procesos son desarrollados manualmente, a base de fuerza humana con herramientas como picas, barras, palas y carretilla. Y por último en los procesos de extracción de arena, encontramos varias alternativas y procedimientos, como su extracción en ríos generalmente realizada por dos o tres personas de una misma familia en el hecho de un río o un arroyo, solo utilizan pala para depositar el material en una canoa o cualquiera que sea su depósito, donde se arruma, para su posterior clasificación mediante una malla o zaranda, separando la arena más fina. También puede extraerse mediante dragas de succión, con cinco o seis personas que puedan así, separar la arena del río; estos procedimientos habitualmente se realizan en ríos de poca turbulencia y con extracciones de tipo mecánicas. O, a través de Lavado, que es un proceso en el cual se busca eliminar los lodos presentes en algunos minerales; son muy utilizados para eliminar lodos presentes en materiales de construcción, principalmente en arena (Agencia Nacional Minera, 2003).

4.4.1 Minería a Cielo Abierto

En Sucre la explotación minera se desarrolla a cielo abierto, es una operación minera con la cual se extrae material de valor económico a través de labores en superficies, con espesor de recubrimiento de volumen estándar y potencial del yacimiento suficientemente grande que recompensa los gastos de operación. Sin embargo, los mineros trabajan en condiciones precarias y artesanales a través de canteras divididas por lo que ellos llaman frente, allí realizan actividades de extracción, con uno o dos trabajadores que le ayuden, regularmente estas labores conllevan trabajos lentos y producciones de poco volumen, en promedio 7 m³ de piedra caliza al día.

Las canteras son explotaciones de rocas ornamentales y de construcción, requieren diseño de bancos y terrazas con inclinaciones que garanticen la estabilidad del terreno de acuerdo con las características geológicas y técnicas del lugar (Sistema de Información Minero Colombiano, 1996). No obstante, en el departamento de Sucre prima la minería informal, y por ende los yacimientos son explotados en su mayoría sin ningún tipo de bancos o terrazas, son yacimientos de tipo no estratificados, en su mayoría verticales como pudimos apreciar en distintas visitas de campo en el Municipio de Toluviejo y sus alrededores, Varsovia, Gualón, La piche, entre otros. (Figura 30 y 31).

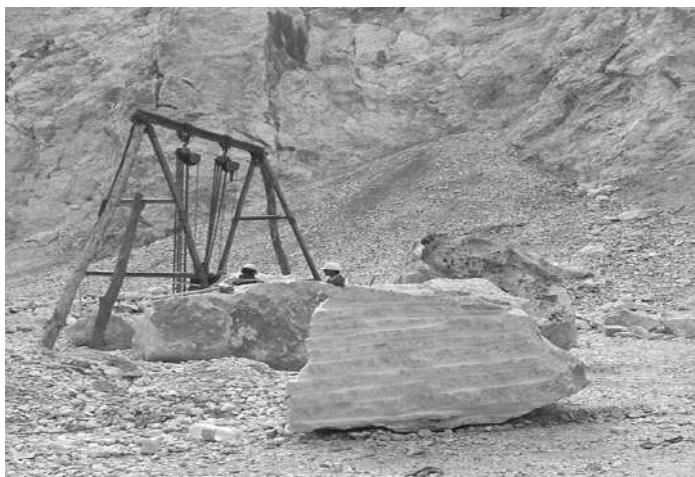


Figura 30. Yacimiento de mineral. Municipio Toluviejo/ Corregimiento La piche.

Fuente: Autores



Figura 31. Yacimiento de mineral. Municipio Toluviejo/ Corregimiento La piche.

Fuente: Autores.

No obstante, existen excepciones dado al desarrollo y crecimiento de la región en materia de producción de materiales no metálicos, grandes empresas como ARGOS desarrollan métodos de banqueo a cielo abierto por bancos descendentes. Los bancos tienen alturas de 10 m, estos se encuentran desde el nivel 80, hasta el nivel 135, sobre el nivel del mar. El arranque de la roca se hace por medio de la técnica de perforación y voladura, la cual arroja pilas de material volado que son cargadas por una pala hidráulica o un cargador (Perpiñan, 2014).

4.5. Explotación de Arenas y Arcillas

Las arenas son agregados naturales de fragmentos de minerales y rocas sin consolidar o probablemente consolidar con diámetros de 0.625 mm a 2 mm. Más de 90 % de las arenas se emplean como materiales de construcción. La mayoría del uso de las arenas requiere especificaciones del tamaño del grano, característica y composición química, si sus aplicaciones serán diferentes a la construcción, se hace énfasis en la dureza y forma de las partículas constituyentes.

Las arcillas son material natural granular fino de aspecto terroso constituido por un grupo de sustancias cristalinas, conocidos como minerales arcillosos y fragmentos de rocas y otros minerales. Las arcillas se clasifican de acuerdo con su origen en residuales, sedimentarias, o según su uso y propiedades y tienen su mayor utilización en la industria de la construcción, elaboración de ladrillos, tejas y tuberías, cerámicas y otros (Sistema de Información Minero Colombiano, 1996).

Las explotaciones de arena y arcilla en el Departamento de Sucre se realizan regularmente a cielo abierto en forma irracional. Se deben realizar por medio de bancos o terrazas con alturas e inclinación adecuada, bajo los parámetros que permitan las labores en superficie de manera uniforme, sin embargo, estas actividades de extracción son ejecutadas en su mayoría de manera artesanal. Las fases de explotación de arcillas y arenas a cielo abierto, son similares a la de piedra caliza, solo difiere en que la utilización de explosivos es muy restringida tendiendo a ser nula, debido a la baja cohesión del material producto de la explotación, y al poco recubrimiento que este presenta, por ello, el material es retraído con la utilización de rippers, scrappers, o rastrillos, motoniveladoras y excavadoras o palas en su mayoría ya que es un trabajo mayormente artesanal e informal.

En la explotación a cielo abierto por canteras, el yacimiento se debe dividir en capas horizontales en forma de bancas, que se explotan en orden descendente. Los principales elementos del banco son: talud, cresta, altura, pie-de banco, berma de seguridad, ancho de banco, talud finado de minado. En estas explotaciones las bermas deben tener un ancho por lo menos igual a la altura del banco, para permitir el flujo o paso seguro del personal, si durante la excavación es necesaria la presencia de trabajadores al pie del banco, la altura de este no debe exceder los dos metros. Cuando se requiere diseñar taludes de corte superior a 20 m de altura, será necesario que el explotador presente un estudio geotécnico para el correspondiente diseño, así como los cálculos respectivos de factores de seguridad. En los bancos se deben construir franjas, zonas de seguridad donde se puedan retener temporalmente materiales deslizados o rocas caídas del talud. Para este diseño de los taludes, se debe tener en cuenta la estabilidad de los cortes ejecutados para conformar la excavación. Así como la readecuación, y revegetación del talud final.

La explotación de arenas lavadas es una actividad independiente, requiere del manejo de agua mediante bombas y monitores, para la remoción de arena, el lodo removido es conducido por canales que cuentan con clasificadores para seleccionar las rocas de mayor tamaño, el material es almacenado en una piscina de cimentación, o tambre, cuyas compuertas cerradas detienen el paso de la arena, luego de ser liberada de la arcilla durante el proceso, finalmente y sin ningún tipo de tratamientos las aguas del lavado se entregan a las quebradas a través de canales naturales.

El arranque y cargue de los materiales arenas y arcillas se pueden realizar con maquinarias de pequeña y mediana envergadura, utilizando especialmente, bulldózer, retroexcavadoras y cargadores frontales; por lo general el transporte se efectúa mediante camiones y volquetas.

Las vías de acceso son un parámetro importante en la explotación, ya que de ella depende en gran parte la eficiencia de los equipos y los costos totales de operación, su localización presenta una difícil decisión ya que en lo posible se debe evitar la construcción de vías temporales, tramos extensos, pendientes y caminos estrechos. El ancho de esta se determina por el tipo de transporte seleccionado, tal que permita el acceso de equipos y vehículos con un margen de seguridad, el piso de los bancos se debe mantener limpio y con la pendiente necesaria para el drenaje. Este último necesita un mantenimiento periódico que garantice su normal funcionamiento.

Cuando las pendientes sean superiores al 3%, o se tengan vías de transporte a lo largo de los bancos se debe disponer de cunetas para el drenaje, revertidas en piedra o mortero. Los explotadores de arena y arcillas deben diseñar el sistema de tráfico y señalización con adecuado programa de mantenimiento, no interferir el tráfico, transportar la carga con lonas que eviten el derrame de materiales sobre las vías públicas (Sistema de Información Minero Colombiano, 1996).

4.6 Perfil Sobre Extracción de Minerales No Metálicos

En el departamento de Sucre las actividades de explotación a cielo abierto en la minería están representadas por técnicas primarias en su mayoría, a excepción de algunas grandes empresas que se dedican a dichas

labores en la región y tienen sus propios centros de extracción, laborando con títulos mineros vigentes y de manera formal.

Los procedimientos de extracción se realizan con labores en superficies, los centros o depósitos de extracción están representados con su mayor participación en el municipio de Toluviejo como vemos a continuación, con el 52 % seguido del corregimiento La piche con el 12 %. (Figura 32).

PERFIL SOBRE EXTRACCIÓN DE MINERALES NO METÁLICOS

Ubicación del Depósito (Para verificar si existen varios productores en el mismo depósito). Municipio/Corregimiento o Vereda/Nombre popular
(125 respuestas)



Figura 32. Encuestas de Caracterización de Distrito Minero de Calamari Sucre.

Fuente: Autores.

El porcentaje de trabajadores independientes es alto en este tipo de labores mineras, encontramos que en el municipio de La Piche solo existe una asociación con 16 trabajadores, de 100 mineros que trabajan aproximadamente en la zona, es decir, el 84 % de los mineros trabajan de manera independiente y artesanal, con uno o dos ayudantes utilizando pólvora negra en sus procesos de voladura a través de sistemas de rotoperCUSIÓN por medio de compresores de aire a presión y martillos hidráulicos, para un promedio de producción de 7 m³ por día, lo que ellos llaman un viaje de piedra, es decir, el equivalente al volumen con el cual se llena el vagón de una volqueta de dos ejes. En este caso, se trata de una minería con técnicas poco ortodoxas, de alto riesgo y condiciones socioeconómicas difíciles para los productores, sin ningún Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo. Atribuyen su producción diaria, como resultado al azar de los rendimientos de los procesos de voladuras,

que se hacen con perforaciones de varillas de 1.5 m o 2 m, a través de sistemas de compresión de aire con martillos hidráulicos.

Las grandes empresas como ARGOS, usan equipo de perforación de tipo perforador roto-percutor de oruga no echo para traslados a largas distancias, con martillo en cabeza, consta de seis varillas cada una de tres metros, este equipo realiza perforaciones de producción, realiza barrenos con profundidades que varían de 3 a 15 metros (1 a 5 varillas respectivamente). Los barrenos son los utilizados para el posterior cargue del explosivo para el arranque de la caliza mediante las voladuras. Actualmente la planta del grupo ARGOS cuenta con 2 camiones desarrollados específicamente para aplicaciones de minería, canteras y construcción, el Camión 773F y 773G mantienen la producción requerida para la fabricación de cemento y Clinker de una forma confiable, durable y segura. Disponen de 2 camiones Dresser 210 m que tienen un ancho de 4.44 m, un largo de 9.09 m y un radio de giro aproximadamente de 10 m. Esta impulsado por un motor Diesel y posee un sistema de frenos que se activa mediante la presión del freno de servicio o el pedal retardada (Perpiñan, 2014).

4.7 Perfil Transportistas

El perfil de los transportistas está representado en Sucre por un amplio número de trabajadores independientes, se desconoce de empresas legales que se dediquen a prestar el servicio de transporte para materiales de la construcción en la región. No obstante, las grandes empresas de la región introducidas en el campo de la minería de los no metálicos cuentan con su propia red de transporte así como de arranques y de cargue, mientras que en las zonas de extracción donde los mineros operan de manera informal, el transporte es realizado en tantos viajes tengan los mineros, es decir, volúmenes de materiales no metálicos (arcilla, arena, caliza) y la tarifa es arreglada de acuerdo con las exigencias o necesidades de los trabajadores manejando un precio estándar en la zona. En el corregimiento de la piche, las operaciones de cargue del material se realizan de manera manual, a fuerza humana, al igual que en las canteras donde aflora el yacimiento en las zonas de la región y donde se trabaja de manera artesanal, con un valor de \$90.000 los 7 m³, el equivalente a un viaje de piedra caliza. Este precio puede variar de acuerdo con las necesidades de los mineros, o las condiciones periódicas de venta, reconociendo el rendimiento de ventas de acuerdo con la oferta de la demanda en el sector; en 2016 los precios

se han mantenido en un rango que oscila entre los \$80.000 o \$90.000. En los municipios de Toluviejo, Varsovia, Gualón, los precios del viaje de 7 m³ pueden variar entre \$65.000 y \$70.000, más \$15.000 por costos de operación de cargue, desarrollado normalmente por tres mineros; es decir, la persona encargada de transportar el material, quien está interesado en realizar la compra directa con el minero, debe cancelar el valor del viaje correspondiente más los costos de cargue, los cuales se generan en estos tres corregimientos mientras que en el corregimiento de la Piche los mineros apoyan las operaciones de cargue (Encuesta de Distrito minero de Calamari-Sucre, 2016).

Los viajes de arena en depósitos de arroyo, están distribuidos de la siguiente manera, cada viaje de arena cuesta \$55.000 cargado por las personas en el depósito del arroyo, si el dueño de la volqueta trae personas que disponen del permiso para extraer arena, el viaje costará \$20.000, entonces el viaje de arena cuesta \$20000 y la mano de obra cuesta \$35000. Estos datos son por cada viaje del material.

Los trayectos de transporte de estos materiales, generalmente son distancias no muy lejanas y sus precios varían de \$40.000 en delante de acuerdo a la distancia donde será transportado el material, ya sea a marmolerías, trituradoras, construcciones de vías, constructoras, entre otros. A continuación, la gráfica muestra algunos de los precios por m³ por el cual los transportistas cierran un contrato. (Figura 33).

Estimación - Costo de transporte (\$/m³). Se divide el costo total del viaje cobrado entre la capacidad del vehículo - Precio al que está dispuesto ser contratado

(12 respuestas)

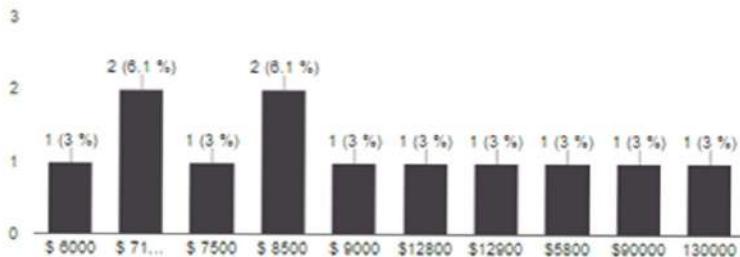


Figura 33. Encuestas Caracterización del Distrito Minero de Calamari Sucre.

Fuente: Autores.

Las medianas y grandes empresas, cuentan con volquetas de dos ejes para realizar las actividades de transporte del material, de las canteras de extracción a sus plantas de procesamiento, generalmente son volquetas de dos ejes y tres ejes, estas últimas de uso casual con fines más efectivos que las de dos ejes, puesto que pueden transportar mayores volúmenes de material (15 m³ piedra caliza) con costos y tiempos de despacho más eficientes.

4.8 Perfil Plantas de Procesamiento

Empresas dedicadas a los procesamientos de minerales no metálicos como agregados para la construcción:

Tabla 8
Empresas y Organizaciones del sector de agregados para la construcción en Sucre

Número	Nombre
1	Agregados del Norte (AgreNorte)
2	Trituradora El Mamón
3	Trituradora La Oscurana
4	Trituradora Comulpropical
5	Trituradora y Agregados RG
6	Asociación mineros de Varsovia
7	Trituradora Calizas de Toluviejo S.A
8	Trituradora Aprocal
9	Trituradora Jomeve 2
10	Trituradora Feliciano
11	Trituradora Romar
12	Trituradora La Ceiba
13	Trituradora Distribuciones Toluviejo
14	Trituradora Jomeve
15	Trituradora Tolupiedras
16	Agrerocas
17	Trituradora San José

18	Agregados Alicante
19	Agregados Alicante 2
20	Agregados Toluviejo
21	Trituradora el pueblo
22	Trituradora El Molino
23	Agregados de Sucre (AgreSucre)
24	Asociación de mineros de la Piche
25	Marmolería Durán
26	Trituradora el Progreso
27	Cooperativa de picadores de piedra de Toluviejo (COODEPITOL)
28	Cooperativa de procesadores de piedra caliza de Varsovia y Gualón
29	Asociación mineros del Suán
30	Asociación mineros de Toluviejo
31	Asociación de mineros y procesadores de la caliza San José
32	Asociación de productores derivados de caliza de Toluviejo
33	COOUNOPIEDRA
34	CORMINTOL

Fuente: Jorge Bravo (Caracterización del sistema productivo, cadena logística y comercial del sector minero no metálico en el departamento de Sucre. Sincelejo) 2016.

En la tabla no aparece la planta de operación a gran escala del grupo ARGOS, la más grande, importante de la región y del país, producen cemento con capacidad instalada de 600.000 Ton/ año. Produce cemento portland de tipo I, tipo II y tipo V; además posee un renglón de exportación como lo es el Clinker, embarcado en el puerto de Coveñas (Perpiñan, 2014).

La producción diaria de piedra caliza en el Departamento de Sucre muestra un índice alto de volumen de procesamiento diario en plantas, trituradoras y marmolerías de la región.

Volumen de carga recibida de piedra caliza (m³/día) (13 respuestas)

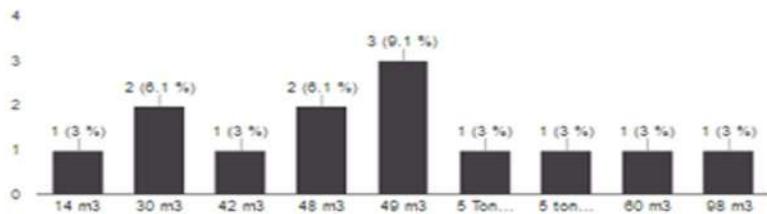


Figura 34. Encuestas de Caracterización de Distrito Minero de Calamarí Sucre.

Fuente: Autores.

El promedio de producción de procesamiento en pequeñas, medianas y grandes trituradoras es de 38 m³ diarios, mientras que en las dos marmolerías de la región procesan 5 toneladas diarias aproximadamente. (figura 34).

4.9 Transportistas de Minerales No Metálicos en el Departamento de Sucre

En la minería de los materiales no metálicos los procesos de transporte y distribución son considerados un factor crítico para la productividad. A través de herramientas cuantitativas (la estadística, la teoría de grafos, la simulación discreta, la investigación de operaciones, entre otras) se logra operar garantizando la satisfacción de los consumidores y reduciendo los costos asociados a la actividad (Gomes & Correa, 2011).

Estos procesos permiten trasladar el mineral desde su punto de origen hasta su consumidor final. Para transferir los minerales de un eslabón a otro se puede hacer uso de diferentes medios: Camiones, férreo, marítimo o fluvial, aéreo y ductos, como se puede observar a continuación:

Tabla 9.
Medios de transporte.

Camiones	Ferrocarril	Fluvial y marítimo
La capacidad de carga de minerales o materiales de construcción es de mediano volumen Permite realizar recogidas y entregas puerta a puerta en las instalaciones de la cantera o patio de almacenamiento, y las instalaciones del cliente.	Posee costos medios-bajos y buena fiabilidad. En Colombia las velocidades de los trenes varían entre 20 y 40 km/hora por las características de las vías férreas Se emplea para realizar el transporte del mineral en altos volúmenes y distancias geográficas (Ballou. 2004) En Colombia, se limita su utilización por la escasa de infraestructura ferrea	Se utiliza para transportar altos volúmenes de materiales de construcción, aunque su limitación es la velocidad de traslado. Se utilizan mercancías de altos volúmenes y bajo valor como los materiales de construcción (Anaya, 2007)
Los costos medios en Ton/Km, es intermedio entre el medio aéreo y ferroviario (Mines col. 2001). Puede considerarse como el medio de transporte más utilizado en la minería de materiales de construcción en Colombia, siendo las volquetas de dos y tres ejes.	Aéreo Ofrece rapidez de transporte origen destino en especial cuando se presentan largas distancias (Robuste, 2008) Sus limitaciones se centran en los costos, capacidad de carga y tipo de productos a transportar. No se utiliza para el transporte de materiales de construcción por los altos costos que este representa.	Pueden utilizarse barcazas o embarcaciones en ríos y el mar. En el caso de Colombia, en ocasiones se utiliza el río magdalena

Nota: Tomada de Gomes & Correa (2011)

En Colombia, debido a la cantidad de toneladas transportadas y la infraestructura de las vías, los minerales generalmente son transportados en volquetas de dos y tres ejes (Gomes & Correa, 2011).

En Sucre el transporte del mineral es distribuido en volquetas de 6 mts³, 7 mts³ y 14 mts³ de capacidad. Al realizar el trabajo de investigación, se logró determinar que el 42% del transporte utilizado pertenece a las empresas de explotación y/o procesamiento del sector, el 58% de vehículos restantes hacen parte de terciarios que prestan sus servicios de transporte por retribución monetaria. (Figura 35).

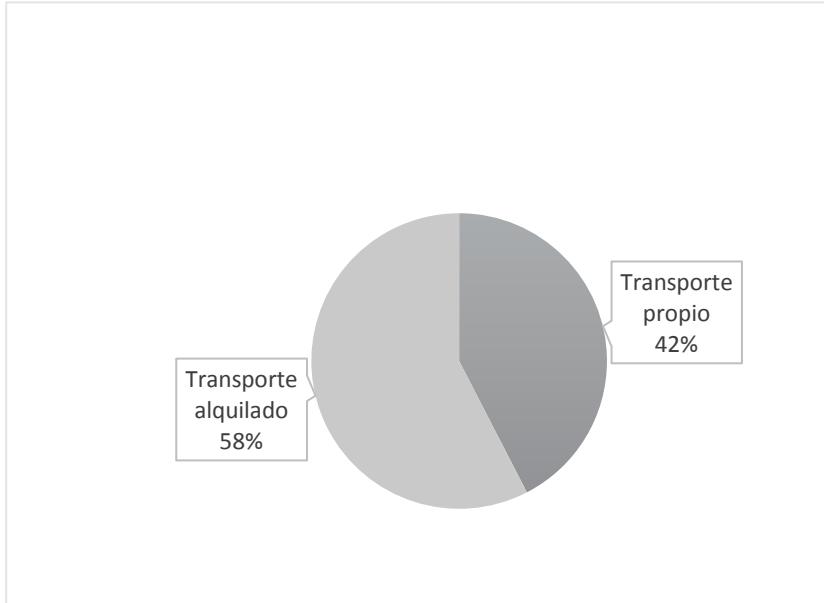


Figura 35. Tipo de transporte.

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de flotas pertenecientes a cada organización no sobrepasan las 3 unidades. El 58,3% de los encuestados señaló que sólo cuenta con dos volquetas para el transporte de sus materiales, sólo el 25% de ellos cuentan con tres volquetas. El resto utiliza una unidad para distribuir sus ventas. (figura 36).

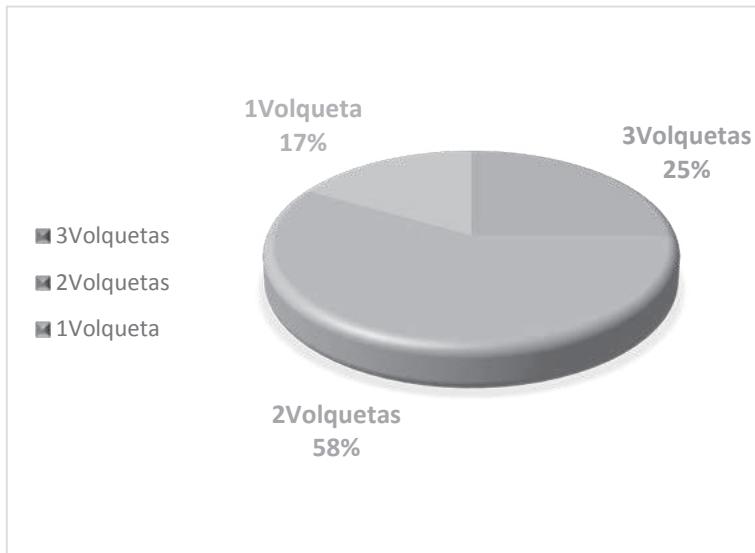


Figura 36. Número de volquetas por empresa.

Fuente: elaboración propia.

Cabe destacar que, para lograr trasladar los minerales a través de todos los eslabones de la cadena, cada transportista realiza en promedio 31 viajes semanales.

La explotación de los minerales no metálicos en el departamento de Sucre se encuentra constituida por organizaciones generalmente ilegales, carentes de estructura e inversión, por lo que la mayoría de éstas no cuenta con ningún tipo de equipo o maquinaria propia para la producción, es decir que muchos no poseen transporte propio para trasladar los materiales hasta su cliente final.

Actualmente, en promedio, el costo de transporte por tonelada es de \$7700, sin embargo éste podrá variar dependiendo de la distancia del lugar donde se recoge los minerales hasta el punto de entrega. Se logró establecer a través de encuestas que aquellos que deben alquilar las volquetas para distribuir el mineral, manifiestan que deben incurrir en mayores costos por lo que se ven obligados a aumentar el precio del mineral sintiéndose en desventaja competitiva respecto a aquellos que cuentan con transporte propio.

4.10 Comercializadores de Minerales No Metálicos en el Departamento de Sucre

Una vez que los productos son clasificados pasan al proceso de comercialización, donde se venden y distribuyen según los requerimientos de los consumidores finales. Este eslabón se encuentra constituido por ferreterías, trituradoras, ladrilleras, constructoras, bloqueras entre otras (Bravo, 2016).

Según Bravo (2016) la cadena de comercialización puede estar constituida por tres tipos de estilos dependiendo de la interacción de los actores del sector:

- Productor- consumidor: En este nivel, el flujo de información se presenta de forma directa entre los dos actores. Llámese productor a la organización encargada de extraer el material y consumidor a las trituradoras, ferreterías, empresas que procesen el material para obtener otros productos (bloques, ladrillos, cemento, entre otros) o personas naturales que requieren el mineral sin ser procesado.
- Productor- mayorista- consumidor: Este nivel se encuentra constituido por tres actores de la cadena, donde entre el productor y el consumidor final existe un intermediario que establece un precio de venta con el fin de obtener utilidades. Al igual que en el nivel anterior, el productor se encarga de la producción de mineral. Los mayoristas son esencialmente las organizaciones encargadas de procesar el material, trituradoras, ladrilleras, bloqueras, cementeras o ferreterías, éstas generalmente se encuentran en sectores más cercanos a los consumidores finales por lo que facilitan el proceso de venta.
- Productor – Mayorista – Comercializador – Consumidor: Este último nivel de comercialización suele ser el más complejo por el flujo de información entre los actores. La dinámica del comportamiento de la cadena es similar a los dos estilos anteriores: el productor se encarga de la extracción del mineral y lo transporta hasta las empresas mayoristas, que en este caso, se caracterizan por manejar un alto volumen de materiales que luego de ser transformados son enviados a los principales comercializadores de materiales para la construcción en el departamento de Sucre (ferreterías), las cuales se encargan de suministrar y vender los materiales en el volumen que el consumidor final requiera.

Actualmente, el departamento de Sucre cuenta con un total de 570 organizaciones inscritas ante la cámara de comercio, cuya actividad económica refiere a la comercialización de materiales de construcción, dentro de estos podemos encontrar ferreterías, concreteras, bloqueras y demás almacenes dedicados a la venta de estos minerales.

Tabla 10.

Almacenes de construcción en el departamento de Sucre por Municipio

Municipio	Número de almacenes por municipio
Colosó	2
Corozal	29
Coveñas	16
El Roble	2
Galeras	10
La Unión	4
Los Palmitos	9
Morroa	3
Ovejas	8
Sampués	36
San Benito Abad	3
Betulia	3
San Marcos	24
San Onofre	14
San Pedro	10
Sincé	12
Sincelejo	342
Tolú	27
Toluviejo	16
Total	570

Fuente: Bravo (2016).

Como se logra observar, el Municipio de Sincelejo tiene mayor participación en este eslabón de la cadena, cuenta con un total de 342

organizaciones constituyendo así el 60% de los comercializadores del departamento. Sampués, Corozal y Tolú lo siguen en la lista con una participación del 6% y 5% de los dos últimos, respectivamente.

La cantidad de material ofrecido dependerá del tamaño de cada almacén. También está estrechamente relacionado con la ubicación del local, número de clientes y capacidad monetaria.

Tabla 11.
Cantidad promedio de Agregados para la construcción ofrecida mensualmente por almacén

Cantidad promedio de Agregados para la construcción ofrecida mensualmente por almacén	
Tipo de material	Cantidad promedio
Triturado	58 m3
Gravilla	51 m3
Polvillo	28 m3
Piedra bruta	20 m3
Arena	73,5 m3
Ladrillos	1150 und
Bloques	1678 und
Cemento	875 sacos

Fuente: cálculos del estudio

Con respeto a la industria del cemento, ésta ha duplicado el número de productores en los últimos 5 años, actualmente existen 6 empresas en Colombia.

Los procesos de comercialización se pueden realizar desde el lugar de extracción o procesamiento directamente, sin embargo, lo más común es que las ferreterías y almacenes se encarguen de la venta de éstos, debido a la facilidad que tienen los consumidores para acceder al punto de venta. Generalmente las compras se realizan de forma presencial o telefónica; aunque con el desarrollo tecnológico, algunas empresas comercializadoras ofrecen la modalidad de realizar pedidos vía internet. Los precios de los

materiales para la construcción pueden variar dependiendo de su punto de venta, sea desde el lugar de explotación, procesamiento o comercialización. Generalmente, los precios por m³ en las ferreterías o almacenes de distribución son más costosos, ya que cada almacén debe incluir el costo de transporte y estipula el precio dependiendo del porcentaje de utilidad que desea obtener.

Tabla 12.

Precio de venta Agregados para la construcción desde el lugar de explotación o lugar de procesamiento

Precio de venta Agregados para la construcción (\$/m³)	
Tipo de material	Precio promedio
Triturado	\$43.000
Gravilla	\$45.300
Polvillo	\$9.300
Piedra bruta	\$11600
Arena	\$8.300
Arcilla	\$8.300 (\$/saco)
Cemento 50kg	\$18.000

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recolectados

Tabla 13.

Precio de venta Agregados para la construcción desde el lugar de distribución- ferreterías o almacenes.

Precio de venta Agregados para la construcción (\$/m³)	
Tipo de material	Precio promedio
Triturado	\$83.300
Gravilla	\$83.300
Polvillo	\$65.000
Granito	\$14.500/bulto
Piedra bruta	\$50.500

Arena	\$53.400
Ladrillos 0,9	\$1.300
Ladrillo 0,15	\$2.000
Bloques 0,9	\$1.100
Bloques 0,15	\$1.300
Bloques 0,20	\$2.500
	(\$/saco)
Cemento 50kg	\$20.800
Cemento 25kg	\$11.000

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recolectados

4.11 Consumidores de Minerales No Metálicos en el Departamento de Sucre

El consumo de los materiales de construcción promueve el desarrollo de la explotación y comercialización de los minerales. Según la Unidad de Planeación Minero Energético “UPME” (2014), para conocer el mercado de los materiales de construcción y arcillas en Colombia, se deben tener en cuenta restricciones técnicas, sociales, legales y ambientales, por lo que se debe analizar los procesos de explotación, transporte y comercialización.

Hasta el año 2013, entre las ciudades de Bogotá, Medellín, Barranquilla, Bucaramanga, Pereira, Manizales, Santa Marta y Armenia consumían un total de 31 millones 383 mil toneladas, lo que equivale un consumo total por habitante de 1.95 toneladas al año (UPME, 2014).

De igual forma, para el año 2015 el consumo del país de estos materiales aumentó a 49.9 millones de toneladas (Bravo, 2016). Se proyecta que para el año 2023 se alcancé un total de 46 millones de tonelada consumidas, lo que claramente representa un aumento del 48% con respecto al año 2013 (Ministerio de Minas y Energía, 2016).

La Unidad de Planeación Minero Energético distribuye el consumo de los materiales por segmentos de la siguiente manera:

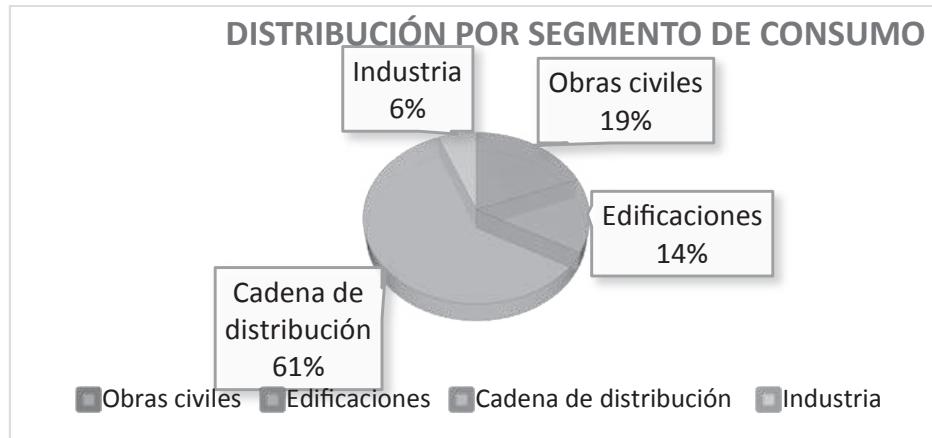


Figura 37. Distribución por segmento de consumo.

Fuente: Elaboración propia según información de la Unidad de Planeación Minero Energético

Actualmente en el departamento de Sucre un gran porcentaje de las construcciones utilizan estos minerales para la producción de concretos o construcciones. Sin embargo, la cantidad y el tipo de material pueden variar dependiendo la técnica de construcción. (Figura 37).

Tabla 14.
Consumo de materiales según técnica de construcción

Sistema Constructivo	Agregados gruesos y finos	Cemento	Roca muerta-Tierra de excavación	Otros
Industrializado	77,31%	12,73%	3,21%	6,75%
Mampostería Estructural	53,53%	9,83%	11,51%	25,13%
Mampostería Confinada	56,44%	12,72%	15,47%	15,37%

Fuente: Salazar (2013).

Como se puede observar, los agregados finos y gruesos son los más utilizados en los diferentes sistemas constructivos, manteniéndose por encima del 55% en cada uno de ellos.

Dentro de las fortalezas que posee el distrito minero Calamarí – Sucre, se destaca la cercanía a Municipios poblados, existe un fácil acceso debido a la infraestructura o red vial del país cercana al Municipio donde se extraen los minerales que posteriormente pueden comunicarse con facilidad a los distribuidores principales como constructoras, ferreterías, y cualquier empresa o persona que necesiten estos productos en los Municipios de Toluviejo, Tolú, Sincelejo, Corozal, Sampués, entre otros (Bravo, 2016).

5. CARACTERIZACIÓN DE MINERÍA NO METÁLICA EN DEPARTAMENTO DE SUCRE

5.1 Caracterización de Procesos Productivo de Agregados de Piedra Caliza y Derivados.

El proceso de producción o explotación de materiales se lleva a cabo en varias etapas, pero de forma general el siguiente diagrama presenta las principales etapas que se dan, en la actividad minera de los materiales para la construcción en el departamento. (figura 38).

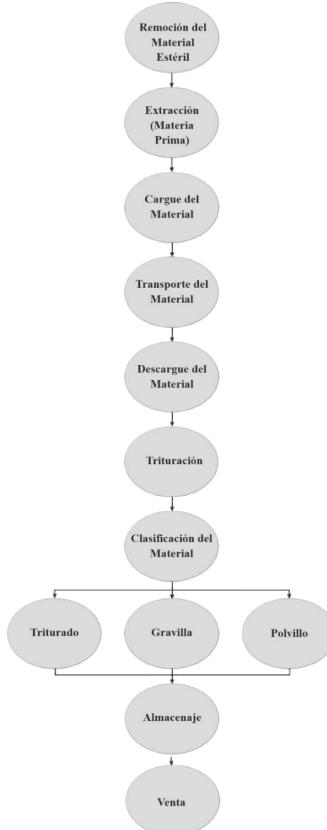


Figura 38. Diagrama de proceso productivo de materiales agregados para la construcción

Fuente Autor – 2016

Es de vital importancia resaltar que en el departamento existen dos métodos para la explotación de los materiales, una forma manual artesanal y otra de forma mecanizada, sin embargo, para tener una mejor claridad de estos procesos en las siguientes páginas se explicara y desarrollara las características que posee cada operación del anterior diagrama utilizado en el departamento.

5.1.1 Remoción o Eliminación del Material Estéril

El proceso de explotación del material en la región inicia con la remoción de la capa superficial o estéril de la corteza, este proceso permite poner al descubierto el material deseado, caliza o piedra bruta. La capa superficial de la corteza está compuesta por muchos organismos que hacen parte de los diferentes reinos, para ello se necesita remover esta capa, que principalmente posee plantas, raíces de árboles, herbences, arcillas o arenas superficiales con la finalidad de obtener un material más limpio, de lo contrario si se extrae el material unido a estos compuestos lo contaminara causando más adelante una baja calidad del producto.

En las zonas de explotación minera ubicadas en el departamento de Sucre, para la eliminación de esta capa orgánica se utilizan dos métodos, uno manual o artesanal y uno mecánico, esto básicamente depende de la capacidad del productor debido a que muchos no poseen la capacidad económica de adquirir maquinaria que realice esta operación.

El método artesanal inicia con la determinación de ubicación donde se realizará la extracción el material, para ello la persona primero realiza una limpieza previa de la capa vegetal o zona verde en caso que haya presencia de árboles, arbustos o cualquier material que pueda dificultar el proceso de extracción, para así una vez limpio el lugar se pueda proceder a eliminar el resto del material estéril.

En caso que el proceso se realice de forma mecanizada, primeramente se elimina los arboles de mayor tamaño quer pueden obstaculizar el area de la futura explotacion, luego la eliminacion del material es realizada por maquinas las cuales remueven toda la capa superficial integrada por plantas silvestres o herbences de bajo tamaño y el material esteril que cubre la roca. (figura 39 y 40).

Holman Ospina Mateus, Jorge Bravo Madera,
Jairo Montero Pérez, Angelly Pérez Fernández



Figura 39. Cubierta Vegetal. Departamento de Sucre. Fotografía autores



*Figura 40. Máquina para eliminación del material estéril.
Departamento de Sucre. 2016*

5.1.2 Extracción del Material o Materia Prima en el Departamento de Sucre

El proceso de extracción de la materia prima se produce después de la remoción del material estéril y orgánico que recubría la roca, este al igual que el anterior se realiza de forma manual o artesanal y de forma mecanizada. En la forma artesanal el trabajador utiliza su propia fuerza para remover el material; para ello, utiliza barras de acero, palas, picos, carretas o en algunos caso algún tipo explosivo que permiten fraccionar la roca en tamaños mas pequeños, estas rocas de son apiladas en un lugar para esperar la operación de cargue.

El uso de estos elementos viene dándose desde muchos años atrás por sus ancestros, la técnica consiste en impactar sobre la roca con el objetivo de crear una fisura que permita reducirla a menores proporciones. De manera general, las rocas extraídas poseen dimensiones que oscilan entre los 30 a los 40 centímetros con peso promedio de 5 a 10 kilogramos dependiente del tamaño. (Figura 41).



Figura 41. Extracción de materia prima mediante métodos artesanales del Departamento de Sucre 2016.

Fuente: Autores.

Así mismo para el proceso mecanizado, la extracción del material es llevada a cabo por maquinaria pesada, sin embargo, si el material posee alta dureza o la formación geológica del material es uniforme en la cual existen grandes piedras o bloques del material se procede a aplicar un explosivo que permita fraccionarla, además de eso se utilizan retro excavadoras, martillos neumáticos o compresores para así remover las rocas y apilarlas para su posterior cargue. (Figura 42).



Figura 42. Extracción de materia prima de forma mecanizada del Departamento de Sucre 2016.

Fuente: Autores.

Cabe resaltar que la operación de extracción de material de forma artesanal o manual es una de las que posee mayor peligrosidad, esto es debido a los peligros que ofrece la actividad, los mineros artesanales no poseen elementos de protección personal, que garanticen su seguridad o en caso de accidentes, la minimización de las lesiones.

Así mismo las condiciones en las que se extrae el material son difíciles, el relieve o geometría determina en gran medida este factor, las canteras se encuentran ubicadas en zonas con características montañosas y de laderas, mostrando irregularidad en el terreno o accidentes topográficos. El grado de inclinación presentado en estos cerros, zonas montañosas o laderas presenta un ángulo talud elevado, esto según la clasificación de los tipos de yacimientos de explotación por medio de minería a cielo abierto con respecto a su inclinación, son de tipo inclinados con ángulos que se encuentran entre los 25° o 30° hasta los 70°, dificultando el proceso de extracción y recuperación del material deseado, así mismo crea el ambiente perfecto para deslizamiento de tierras y los obreros puedan ser atrapados en estos taludes.



Figura 43. Inclinación de las canteras de explotación de materiales del Departamento de Sucre 2016.

Fuente: Autores.

Sin embargo, existen algunos casos (figura 43), en los cuales la inclinación es vertical, con ángulos de 70° a 90° dificultando aún más el proceso y aumentando el nivel de riesgo en los trabajadores expuestos a la actividad de extracción del material

5.1.3 Cargue del Material

Cargar el material es la actividad que permite colocarlo en las volquetas, para su posterior transporte a la trituradora u otro lugar de destino. Esta operación es realizada en todas las canteras y trituradoras ubicadas en el departamento de Sucre, esto se debe a la distancia o ubicación entre la cantera y zona de procesamiento, lo que hace imprescindible el transporte de un lugar a otro. De igual manera, que las anteriores operaciones se realizan de forma manual y de forma mecánica. (figura 44).

Manualmente este proceso se lleva a cabo una vez este apilado en material en el lugar donde ingresa el transporte, allí este es cargado en la volqueta mediante una operación iterativa roca por roca hasta alcanzar la capacidad de carga del equipo de transporte. Durante el proceso con maquinaria, los operadores de los cargadores llegan hasta la zona donde se encuentran apiladas las rocas y allí con la pala del cargador, cargan el material y luego lo colocan en el compartimiento de carga de las volquetas hasta alcanzar su capacidad de transporte.



Figura 44. Operación de carga del material del Departamento de Sucre 2016.

Fuente: Autores.

5.1.4 Transporte del Material

La operación de transporte del material, es realizada desde las canteras o lugares donde se extraen las rocas de mayor dimensión o piedra caliza bruta, y es transportada hasta el lugar de ubicación de las trituradoras, el trasnporte se realiza en volquetas de 7 mts³ o 15 mts³ de capacidad, este transporte es realizado generalmente por terceros que prestan el servicio de trasnporte por un precio determinado entre las partes involucradas; sin embargo, algunas de estas empresas poseen sus volquetas con las que realiza esta operación. (Figura 45).



Figura 45. Equipos de transporte del material a zonas de procesamiento del Departamento de Sucre 2016.

Fuente: Autores.

La operación de transporte del material es realizada en un 61% por terceros que ofrecen servicios de transporte de la cantera a las diferentes

trituradoras o lugares de destino. Mientras solo el 39% de este transporte es realizado por el productores o procesadores.

5.1.5 Descargue del Material

El descargue del material se realiza directamente a la tolva de las trituradoras, en donde las rocas pasan a la siguiente fase para ser trituradas, esto es realizado solo si la trituradora posee características que le permitan operar bajo esta condición de una tolva que le va suministrando el material continuamente y no sufra atascamiento por rocas constantemente. Por el contrario, en algunas trituradoras el descargue se realiza cerca a la boca de la trituradora, una vez allí el material al igual que en el proceso de carga es asistido por trabajadores, los cuales toman roca por roca y las depositan en las bocas de las trituradoras donde pasan a ser trituradas.



Figura 46. Descarga y alimentación de planta de trituración del Departamento de Sucre 2016.

Fuente: Autores.

Aquí en este proceso se puede ir determinando que las empresas que poseen un descargue directo a la trituradora poseen una mayor capacidad en volumen de producción a diferencia de aquellas que realizan este proceso manualmente. (Figura 46).

5.1.6 Trituración

Una característica general encontrada en el sector de materiales de la construcción en el departamento, es el sistema de arranque lo cual es un sistema totalmente discontinuo. Se caracteriza porque las operaciones se realizan de forma intermitente o con equipos discontinuos y de forma independiente, en el cual se puede o no realizar voladura, el transporte del

material se lleva a cabo en volquetas al lugar de transformación, en este caso las trituradoras.

Las plantas de trituración tienen posición fija, desde el momento de la instalación se estableció un lugar determinado en el cual operar y allí quedan estáticas, no se encontró ninguna planta estacionaria o móvil. Algunas de éstas plantas aprovechan la forma del relieve para su instalación y el material puede caer directamente a la tolva por donde ingresa el material al proceso de trituración y cae a almacenamientos, en los cuales los equipos de transporte pueden ingresar por la parte inferior y ser cargados con el material procesado.

El proceso de trituración es la clave en la cadena de materiales para la construcción derivados de rocas calcáreas, durante este proceso continuo las rocas caen por la tolva o boca de la trituradora a una serie de mandíbulas, o dientes giratorios que al golpear la roca se va generando material de menor tamaño hasta triturar la roca completamente, una vez la roca está siendo triturada o reducida a menor dimensiones cae a rejillas o sarandas de diferentes dimensiones que permiten clasificar los distintos tipos de productos derivados del proceso de trituración, el material retenido en estas rejillas o mallas pasa a un sistema de cintas o bandas transportadoras que lo va depositando en diferentes lugares dependiendo su clasificación.

En el departamento según la alimentación o fuente de poder, existen básicamente dos tipos de trituradoras, accionadas por energía eléctrica y accionadas por motores diesel. Las plantas de trituración eléctrica poseen motores eléctricos que accionan el mecanismo de trituración y también permiten transferir la potencia al sistema de tambores que accionan las bandas transportadoras. (figura 47).

Las plantas accionadas por motores diesel son una adaptación artesanal de motores de combustión interna, estos son motores de tractores en desuso, pero que son elegidos debido a que poseen bajas revoluciones y alta potencia para accionar el módulo, los cuales transfieren su potencia mediante un eje al sistema de trituración.



Figura 47. Planta de trituración y clasificación de materiales agregados del departamento de Sucre 2016.

Fuente: Autores.

5.1.7 Clasificación del Material Triturado

La clasificación de los productos generados después del proceso de trituración se determina según sus dimensiones y la unidad de medida utilizada son las pulgadas (in); sin embargo, las plantas generalmente producen triturado y gravilla debido a que éstos dos productos son los más demandados y utilizados por los clientes en el sector de la construcción. No obstante existe un tercer producto que es el polvillo, este polvillo es el remanente del proceso de trituración el cual está conformado por todo el material particulado y granos que poseían dimensiones pequeñas y no pudo ser clasificado por el sistema de en ninguno de los otros productos.

Tabla 15.

Clasificación de Material agregado según sus dimensiones. Departamento de Sucre. 2016

Clasificación del material según el tamaño	Dimensiones(in)	
	Límite Superior	Límite Inferior
Triturado	1	3/4
Gravilla	3/4	3/8
Granito	3/8	3/36
Polvillo	3/36	0

Base – Sub Base	N.A	N.A
Arena Caliza	N.A	N.A
Material de Firmado	N.A	N.A

Fuente: cálculos del estudio

Estos productos se desplazan por el sistema de bandas, las cuales son instaladas dependiendo el angulo de inclinacion maxima y el angulo talud del material a transportar por el sistema. Según la altura de descarga determinada el material cae al final de la banda directamente al vehiculo de transporte o puede caer al suelo formando un montículo de material que despues es cargado y acopiado en la zona de almacenamiento de productos terminados. (Figura 48).



Figura 48. Productos de Agregados de Caliza del Departamento de Sucre 2016.

Fuente: Autores.

5.1.8 Acopio o Almacenamiento del Material

Una característica general en todas las plantas de trituración en el departamento de Sucre es el manejo de inventario de productos terminados, este factor se presenta debido a las fluctuaciones de demanda de materiales agregados para la construcción. Para ello estas tienen lugares de acopio de estos productos dentro de la instalaciones de la planta.

El material es cargado del montículo formado por la descarga de la banada y apilado al aire libre, este es colocado al aire libre en vista de que el material no se contamina facilmente por la aireacion o lluvia, por el contrario el agua permite limpiar el material del material particulado o polvillo y tambien lo libera de limus o arcillas que trae ahderida la roca antes del proceso de trituracion. Asi mismo se acopia en un lugar con superficie libre de escombros u otro material que puedan contaminar o disminuir la calidad del material, almacenando estos con el fin de satisfacer la necesidad del cliente al momento de la compra. (Figura 49).



Figura 49. Acopio y almacenamiento de material clasificado
del Departamento de Sucre 2016.

Fuente: Autores.

5.1.9 Venta

El proceso de venta se realiza directamente en las trituradoras, vía telefónica o electronicamente, debido a que ellas no poseen otros punto de ventas, sin embargo los administradores, gerentes o propietarios crean diferentes enlaces comerciales con los compradores lo que les permite llegar a un mutuo acuerdo de pago, suministro y transporte.

El precio de venta varia de una empresa a otra, pero que el rango de diferencia con respecto a los precios no es muy elevado, a continuación se presenta el precio promedio de los principales productos.

Tabla 16.

*Precios de venta de los diferentes productos agregados para la construcción.
Departamento de Sucre. 2016*

Clasificación del material	Dimensiones(in)		Precio Promedio
	Límite Superior	Límite Inferior	Metro cubico
Triturado	1	3/4	\$44.000
Gravilla	3/4	3/8	\$44.800
Granito	3/8	3/36	\$35.000
Polvillo	3/36	0	\$8.700
Base – Sub Base	N.A	N.A	\$80.000
Arena Caliza	N.A	N.A	\$30.000
Material de Firmado	N.A	.A	\$15.000
Piedra Bruta	N.A	N.A	\$11.500

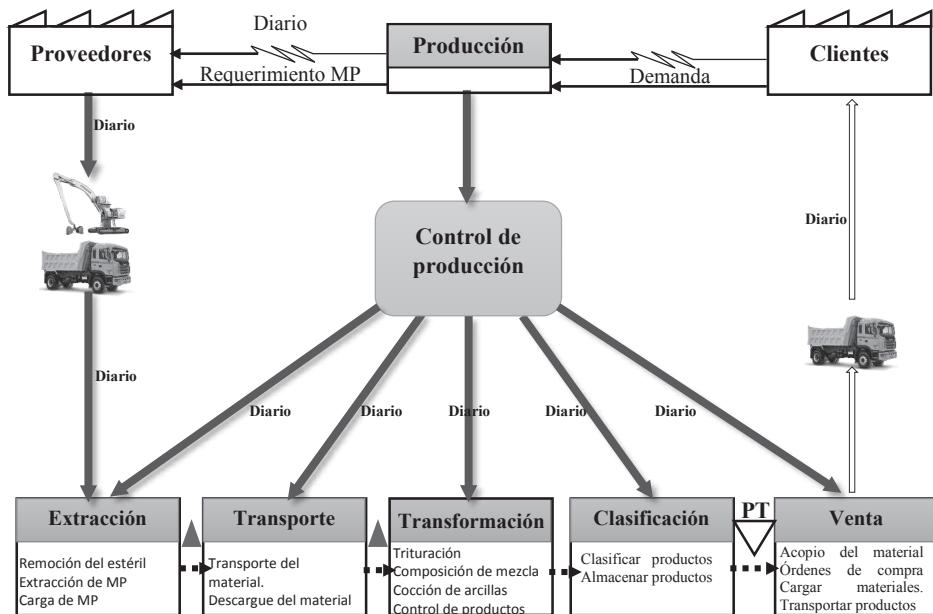
Fuente: autores

De forma concreta se puede establecer en la siguiente figura, el mapa de la cadena de valor de los principales agregados para la construcción explotados en el departamento, los cuales, están constituidos por agregados gruesos derivados de la piedra caliza y agregados finos o material de arrastre constituidos por arenas y además por arcillas.

Esta cadena de valor está compuesta por la producción, y permanentemente recibe demanda de productos, y se hace a través de órdenes de pedido realizadas por los clientes de diferentes sectores, principalmente la construcción, como son ferreterías, constructoras, empresas de concretos, ladrilleras, fábricas de bloques. La recepción de las órdenes de pedido de forma física, virtual o verbal, crea en la organización una orden de producción para satisfacer la demanda, la cual posee inventario del producto terminado de lo contrario la organización emite una orden de compra a sus proveedores de materia prima para adquirir el material e iniciar el proceso de transformación.

Los proveedores de materiales se encargan del proceso de extracción de materia prima del suelo, se trata de roca bruta de piedra caliza o arcillas

las cuales son extraídas de forma artesanal o con el empleo de maquinaria según sea la capacidad del productor, y en el caso de las arenas se extraen de la escorrentía de los arroyos que crean a lo largo del cauce depósitos los cuales son extraídos de forma artesanal con palas a la orilla de los arroyos.



El transporte de estos materiales se realiza en volquetas desde la zona de donde se extrajo el material hasta el lugar de procesamiento, que generalmente son cercanos con la finalidad de disminuir los costos de transporte, en el 61% de los casos de estos costos son asumidos por los compradores del material o productos, debido a que solo el 39% de los productores posee los equipos para el transporte. (Figura 50).

El proceso de transformación para los agregados inicia con la trituración de la piedra caliza brut, la cual se fracciona por el golpe constante de molinos de mandíbula y martillo para convertirla en formas de menor dimensión y es clasificada por un sistema de zarandas. Para la arcilla, ésta se lleva a las empresas de ladrillo en las cuales la componen para darle la consistencia adecuada y forma de de ladrillo, una vez está convertida en ladrillo se lleva a un proceso de cocción, que le dará resistencia y eliminará el exceso de agua y humedad de la mezcla. La arena no lleva ningún proceso

de transformación, pues los consumidores la emplean en sus obras bajo sus criterios.

La clasificación de los productos se realiza en caso de arenas con zarandas en la que se aplica solo para extraer la materia vegetal que tae el sistema de arraste del arroyo, y para los triturados por un sistema de zarandeo, el cual consiste en mallas con un sistema de huecos, de determinada dimensión por la que caen los gránulos de la piedra caliza triturada.

Finalmente, este se clasifica y almacena, queda dispuesta para la venta a los consumidores que pueden ser ferreterías, constructoras, empresas de concretos, ladrilleras, fábricas de bloques, para utilizarlos en concretos para edificaciones residenciales y no residenciales, y en obras civiles, entre otras.

5.1.10. Cadena de Valor de Materiales para la Construcción en el Departamento de Sucre.

Sucre en cuanto al sistema de cadena de valor de materiales para la construcción se comporta de manera similar que el nivel nacional; pero, en el departamento de Sucre predominan los agregados triturados derivados de la piedra caliza y en menor medida las arenas de arrastre y arcillas. Las principales materias primas de la cadena estan integradas por la piedra caliza, las arcillas y arenas. Estos materiales están presentes en la formación geológica del departamento y sistemas de escorrentias.

Estos materiales adquieren su valor en el proceso de transformación, la piedra caliza es transformada por medio de un proceso de trituración en los diferentes agregados utilizados para la construcción, como es la gravilla, triturado, granito, polvillo que son clasificados según las dimensiones granulares y utilizadas según el cliente. Así mismo, la arcilla es transformada en ladrillos para la construcción. Sin embargo, aunque la arena no sufre ningún proceso de tranformación, aumenta su precio desde que es recolectada del sistema de arrastre de la escorrentia hasta que llega a su cliente final.

Estos productos una vez clasificados y según las demandas del mercado llegan a la etapa de comercialización ejecutada por las ferreterías, trituradoras, ladrilleras, constructoras, entre otras, las cuales se encargan de la venta en los volúmenes y cantidades demandadas por los clientes,

los cuales realizan el uso o aplicación en construcciones residenciales, no residenciales, obras civiles, realización de concretos o las diversas necesidades de los clientes. (figura 51).

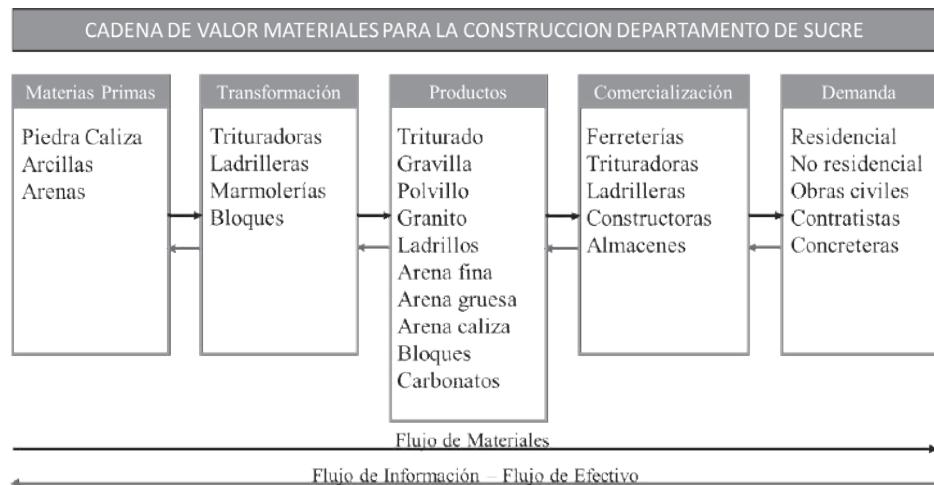


Figura 50. Cadena de valor de materiales para la construcción en Sucre

Fuente: Autor -2016

5.1.11 Cadena de Comercialización de Materiales para la Construcción en el Departamento de Sucre.

La cadena de comercialización de agregado para la construcción esta constituida de tres estilos diferentes dependiendo los actores que interactúan en la cadena, en el sector existen principalmente cuatro actores que dinamizan la cadena, los cuales mediante un encadenamiento productivo y el flujo de información permiten establecer los niveles de producción, demanda y precios para satisfacer las necesidades de los diferentes clientes y proovedores que hacen parte de la cadena.

- **Productor - Consumidor**

El primer modelo de comercialización reflejado en el sector, es el Productor – Consumidor. En esta cadena el productor está integrado por todas las empresas o personas que se encargan de la extracción del material en su forma original, es decir en forma de roca o piedra caliza bruta, arenas, balastro, gravas o zahorias, en este intervienen las operaciones de remoción del material, extracción de la materia prima y el corte del material, sin

embargo la operación de transporte del material es realiza el 39% de los casos por el productor y el 61% de los casos por el consumidor.

El consumidor en este caso es principalmente las trituradoras de piedra caliza, ferreterías, empresas o personas naturales que necesitan el material en su forma natural, bien sea para procesarlo y venderlo nuevamente o utilizarlo en construcciones u obras civiles. Intervienen operaciones de descargue del material, un proceso de transformación en caso el consumidor lo deseé o puede ser utilizado inmediatamente para la actividad deseada por el consumidor final.

El flujo de información se da de manera directa de entre el consumidor y el productor. El consumidor se encarga de establecer el tipo y volumen de material deseado, mientras el productor procesa la orden de pedido y satisface la necesidad del cliente, eliminándose la figura de intermediario para la compra y venta de estos materiales.

- **Productor – Mayorista - Consumidor**

Este modelo de comercialización encadena tres actores principales en la cadena. La integración de estos actores se realiza de manera similar a la anterior, un productor y un consumidor, pero integra un nuevo actor intermedio denominado mayorista.

Los productores siguen siendo los mismos, mineros o canteras ubicadas en la región, que solamente se dedican a la extracción. La función principal del productor en este caso es la extracción del material en su forma original y no se aplica ningún proceso de transformación para alterar la forma original de la roca o piedra caliza bruta, de la arena o arcillas. Intervienen las operaciones de descapote o remoción del material estéril, extracción del material o materia prima y cargue del material en el vehículo de transporte.

Los mayoristas son esencialmente las plantas de trituración de material, ladrilleras o ferreterías que compran los materiales directamente a los productores, el mayorista asume las operaciones de transporte del material, el descargue y almacenamiento del material, pero también pueden aplicar algún proceso de transformación a estos materiales, para el caso de la piedra caliza la transforma en triturado, gravilla, polvillo entre otros, mientras la arcilla es transformada por las ladrilleras en ladrillos. Por

último, el mayorista establece un precio de venta que le genere utilidades y se encarga de la venta de estos materiales.

Los consumidores finales de estos productos, establecen contacto con los mayoristas para la compra de los materiales y posteriormente son aplicados en las obras civiles o construcción. Estos actores presentes en la cadena intercambian flujos, desde el productor existe el flujo de materiales, los cuales pasan por los diferentes actores hasta llegar al consumidor, de forma inversa el consumidor envía flujos de información y dinero pasando por cada actor hasta llegar al productor.

- **Productor – Mayorista – Comercializador – Consumidor**

El último modelo de comercialización es el más complejo, debido a que este integra todos los actores principales de la cadena, estos son cuatro iniciando con un productor y finalizando con un consumidos, pero que posee dos actores intermedios el cual es un mayorista y un comercializador.

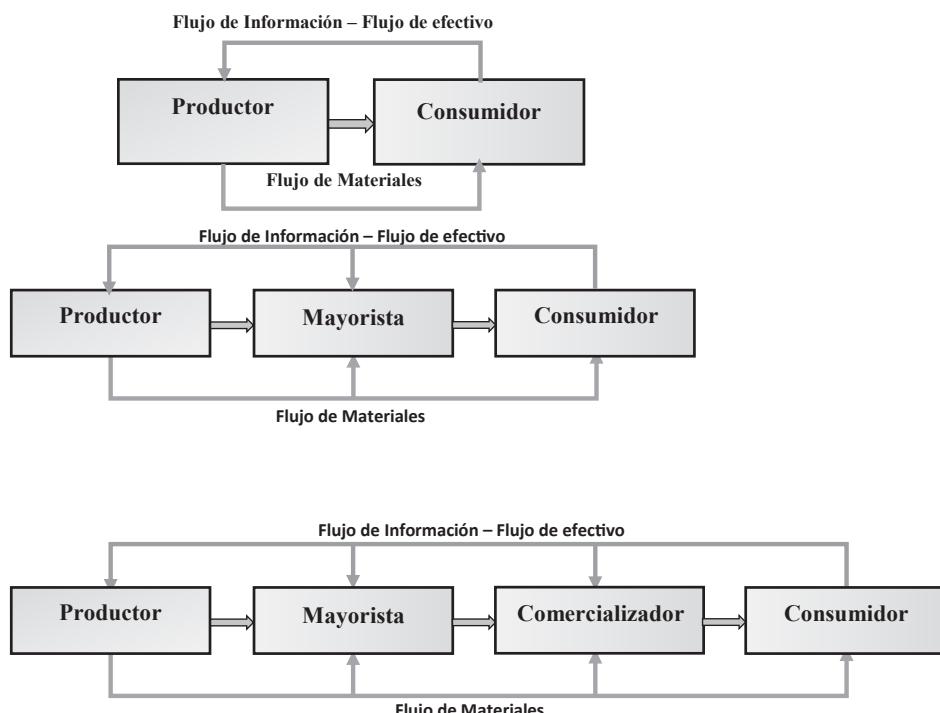


Figura 51. Cadena de comercialización agregados para la construcción departamento de Sucre con flujo de dos, tres y cuatro eslabones.

Fuente: Autor - 2016

Los productores siguen siendo los mismos al igual que los anteriores, mineros o canteras ubicadas en la región, que solamente se dedican a la extracción. La función principal del productor en este caso es la extracción de los materiales en su forma natural sin la aplicación de algún proceso de transformación para alterar la forma original de la roca o piedra caliza bruta, arenas o arcillas. Las operaciones involucradas del fluograma de operaciones es el descapote o remoción del material estéril, extracción del material o materia prima y cargue del material en el vehículo de transporte.

El mayorista lo conforman las plantas de trituración, ladrilleras o acopiadores de material, los cuales compran los materiales directamente a los productores. Este actor ejecuta las operaciones de transporte, descargue, almacenamiento, procesamiento y clasificación del material. Aquí aplican un proceso de transformación a estos materiales, para la generación de triturado, gravilla, polvillo, ladrillos entre otros. La característica principal de este actor la aplicación de un proceso de transformación y el manejo de un alto volumen de materiales

Los materiales después de pasar por su proceso de transformación por parte del mayorista, pasan a un comercializador, en el departamento el principal comercializador de estos materiales son las ferreterías, las cuales se encargan del suministro y venta de los materiales a los consumidores en los volúmenes que ellos lo deseen.

Así como desde el productor fluyen las materias primas, pasando por cada actor hasta llegar al consumidor final, desde el consumidor final existe el flujo de información y efectivo hacia los actores anteriores llegando al productor.

Los materiales van aumentando de precio desde que los producen y a medida que fluyen por cada actor, la razón de este aumento en cada actor, es la inversión que realizan para la ejecución de las operaciones necesarias, como es almacenamiento, transporte, transformación, perdidas de material o variaciones en los sistemas de medición.

Tabla 17.
Almacenes de construcción en el Departamento de Sucre por Municipio

Municipio	Numero de almacenes por municipio
Colosó	2
Corozal	29
Coveñas	16
El Roble	2
Galeras	10
La Unión	4
Los Palmitos	9
Morroa	3
Ovejas	8
Sampués	36
San Benito Abad	3
Betulia	3
San Marcos	24
San Onofre	14
San Pedro	10
Sincecé	12
Sincelejo	342
Tolú	27
Toluviejo	16
Total	570

Fuente: Elaboración propia a partir de Cámara de Comercio de Sincelejo, 2016

El departamento de Sucre posee inscritos en Cámara de Comercio hasta el año 2015, un total de 570 almacenes en los cuales su actividad económica está relacionada con el sector de la construcción, como son constructoras, concreteras, fábricas de bloques, ferreterías, y demás dedicadas a la venta de materiales para la construcción, equipos y herramientas de construcción, insumos eléctricos, tuberías, cables, vidrios, láminas para techos, cerámicas, elementos de decoración, entre otras.

De estos almacenes, el municipio que posee la mayor parte es el municipio de Sincelejo, teniendo el 60% de los almacenes ubicados en la

ciudad capital, lo cual es evidente debido a que es la ciudad del departamento con mayor cantidad de habitantes. Así mismo, los municipios de Sampués y Corozal poseen el 6% y 5% de los almacenes ubicados en el departamento respectivamente.

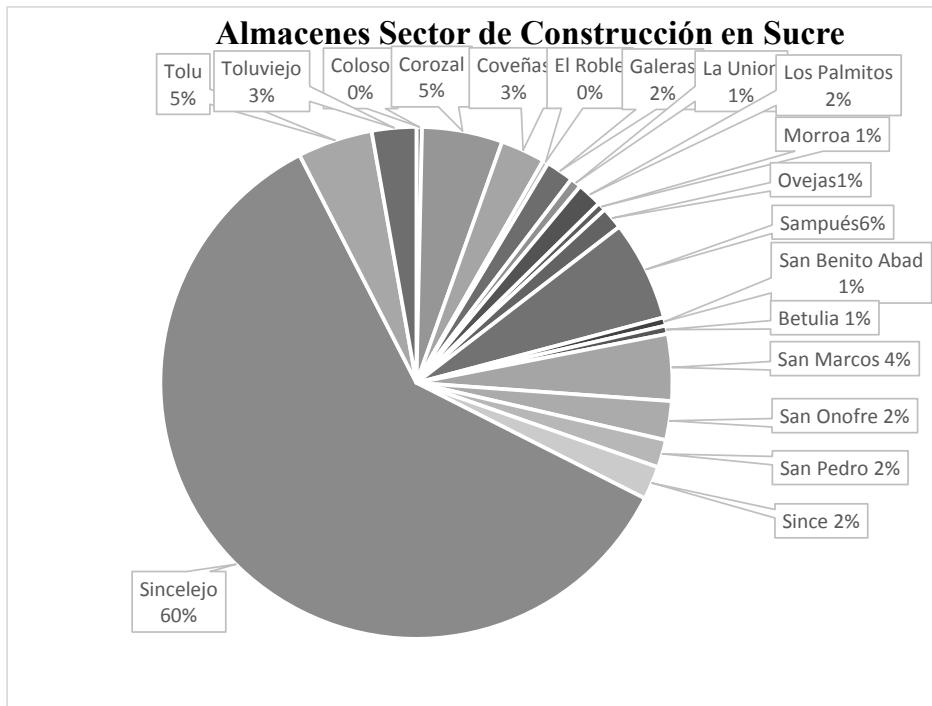


Figura 52. Participación Almacenes del sector de la construcción en el departamento de Sucre.

Fuente: Autor 2016 a partir de Cámara de Comercio de Sincelejo, 2016

Las empresas más representativas del sector de materiales para la construcción son Agrenorte, Concrenorte, Constructora Atlantic, Fábrica de bloques Cremar, Cerámicas el Cinco, Comaderas, Constructora y almacén Jomeve, Ferro Punto, Concretos Industriales de Sucre, Constructora HMM, AgreSucre, Concretos de la Sabana, Supermateriales, Ferretería Nacional, Materiales el Mono Rosa, constructora Isaac y Duran, Ferretería la Solución, Agrerocas, Constructora la Bucaramanga. (Figura 53).

5.1.12 Capacidad productiva y volúmenes de producción del sector

La capacidad y volumen de producción en el sector depende de las empresas, la demanda del mercado, la tecnología utilizada, los turnos trabajados y otros factores. En el sector de materiales de construcción existe el productor de materiales y el procesador del material, pero existe un tercero que cumple una función mixta de producir y procesar su propio material.

Los productores principales de material se nombran a continuación, los cuales suministran estos materiales a los procesadores, estos productores se caracterizan principalmente por producir o extraer el material de forma artesanal en los cerros cercanos, que se encuentran titulados a otras personas o empresas, pero que acceden a que extraigan el material debido a que es el modo de sustento de muchas familias en la región, en donde la informalización minera es el factor común. Esta no formalización causa que los mineros no cuenten con las herramientas adecuadas para extraer el material, causando accidentes laborales constantemente; además, al no estar afiliados a las administradoras de riegos laborales, fondos de pensión y salud se genera que los mineros al momento de cualquier eventualidad queden desamparados.

El volumen de producción de estas asociaciones o mineros está aproximadamente cerca de los 1224 metros cúbicos de material diariamente, pero que esta cifra puede ser inferior, esto se debe a que no todos los mineros trabajan diariamente, debido a la baja demanda de material y muchos mineros no acuden a extraer material y optan por alguna actividad secundaria, sin embargo, la minería es la actividad económica de sustento familiar de estas personas.

Tabla 18.
*Capacidades y Volúmenes de producción de agregados para
la construcción en Sucre*

Productores	Vol. Mts ³	% Utilización	Capacidad Mts ³
Asociación de mineros de Varsovia	60	80%	75
APROCAL	42	50%	84
Asociación mineros de la piche	32	80%	40
Cooperativa de picadores de piedra de Toluviejo (COODEPITOL)	140	80%	175
Cooperativa de procesadores de piedra caliza de Varsovia y Gualón	62	80%	78
Asociación mineros del Suán	80	80%	100
Asociación mineros de Toluviejo	488	80%	609
Asociación de mineros y procesadores de la caliza San José	112	80%	140
Asociación derivados de caliza de Toluviejo	30	80%	38
COOUNOPIEDRA	34	80%	43
CORMINTOL	144	80%	180
TOTAL	1224		1561

Fuente: Autores.

La capacidad real de producción y la utilización en porcentaje de esta capacidad, se logró establecer mediante la encuesta en la cual se preguntó el volumen de producción estimado y en la utilización de la capacidad, para así proyectar cual era la capacidad de producción de las organizaciones, ejemplo de esto sería una empresa que produce 50 metros cúbicos de material y utiliza el 50% de su capacidad, la capacidad de producción sería 100 metros cúbicos. Con respecto a la capacidad de extracción de materiales y en el caso hipotético todos los mineros trabajarán y ejecutarán turnos completos la producción de material estaría cercana a los 1561 metros cúbicos de material.

Los procesadores de material compran a los mineros que extraen estos materiales, ellos son las trituradoras o cualquier otra persona que la

utiliza para su obra, caso particular en estas trituradoras es que no poseen títulos para explotación de material, por ello compran a productores artesanales para evitar asumir costos por explotación y documentación del título minero.

Estas empresas se encuentran legalmente constituidas, poseen documentos y permisos para su operación de trituración de material y asumen los costos de afiliación de los trabajadores a las entidades de seguridad social, así como la dotación de elementos de protección a los trabajadores.

El procesamiento diario de material es cercano a los 484 Mts³ de material por un turno y está en función de la demanda de los consumidores por ello las trituradoras no trabajan a su máxima capacidad, pero si trabajasen a la máxima capacidad instalada durante un turno podrían procesar aproximadamente 632 Mts³ de agregados

Tabla 19.
Capacidades y volúmenes de producción de agregados para la construcción en Sucre.

Procesadores	Vol. (Mts ³)	% Utilización	Capacidad
Trituradora El Mamón	5	80%	6
Agregados RG	70	70%	100
Trituradora Jomeve 2	30	70%	43
Trituradora Feliciano	50	70%	71
Trituradora Romar	80	80%	100
Trituradora La Ceiba	30	70%	43
Trituradora Distribuciones Toluviejo	35	80%	44
Trituradora Tolupiedras	84	90%	93
Aggregados Alicante	35	80%	44
Aggregados Alicante 2	25	70%	36
Aggregados Toluviejo	20	80%	25
Marmolería Durán	20	75%	27
TOTAL	484		632

Fuente: Autores.

En la parte mixta existen empresas que se encargan de extraer su propio material y lo procesan ellas mismas, se caracterizan por generar altos volúmenes de producción y su capacidad instalada es mayor. Estas empresas producen diariamente un volumen estimado en 1569 metros cúbicos de material y según las fluctuaciones de la demanda pueden disminuir el volumen producido o pueden aumentar su capacidad y alcanzar aproximadamente 2196 metros cúbicos de material diariamente por turno trabajado.

Tabla 20.

Capacidades y Volúmenes de producción de Agregados para la construcción en Sucre

Producción y procesamiento	Vol. (Mts ³)	% Utilización	Capacidad
Agrenorte	400	80%	500
Triturada La Oscurana	98	90%	109
Comulpropical	48	40%	120
Calizas de Toluviejo S.A	98	70%	140
Trituradora Jomeve	40	80%	50
Agrerocas	200	70%	286
Trituradora San José	300	80%	375
Trituradora el pueblo	80	80%	100
Trituradora El Molino	105	90%	117
AgreSucre	200	50%	400
TOTAL	1569		2196

Fuente: Autores.

Estas empresas poseen la característica de estar ubicadas sobre los títulos mineros y pueden extraer el material con maquinaria, con las medidas de seguridad indicadas y realizando estrategias para la mitigación del impacto ambiental como es la reforestación y construcción de viveros de árboles nativos en la zona.

5.1.13 Tiempo de Funcionamiento de las Organizaciones.

El sector de construcción en los últimos años ha estado en aumento, esto ha traído consigo la necesidad de funcionamiento y apertura de nuevas empresas de agregados para la construcción, el 43% de estas empresas funcionan desde aproximadamente los 5 a 10 anteriores, las empresas menores a 2 años solo son el 15% y aquellas que poseen entre 2 y 5 años son el 12% del total de las empresas. Con esto también encontramos que el 70% de estas empresas están constituidas legalmente y en operación desde tiempos no superiores a 10 años y el 30% restante funcionaban desde más de 10 años. (Figura 54).

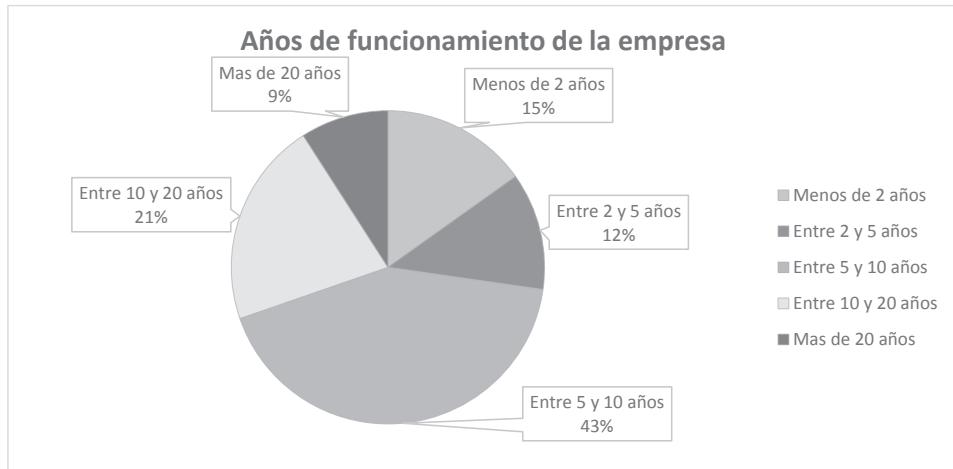


Figura 53. Años de funcionamiento organizaciones del sector de materiales agregados para la construcción

Fuente: Autor 2016

5.1.14 Turnos de Trabajo

El sector minero y las empresas, asociaciones o personas que se dedican a estas labores operan diariamente, pero el 91% de ellas trabajan un solo turno diario, el cual es ejecutado en el día. Sin embargo, el 9% de estas empresas realiza dos turnos de trabajo que inicia a tempranas horas y finaliza en el inicio de horas nocturnas. Actualmente no se trabaja en ninguna de estas empresas de pequeña o mediana minería 3 turnos. Los turnos que se trabajan pueden ser un factor en los niveles de producción,

debido a que es mayor el tiempo empleado en las operaciones y el volumen de productos generados o procesados podría ser mayor. (Figura 55).

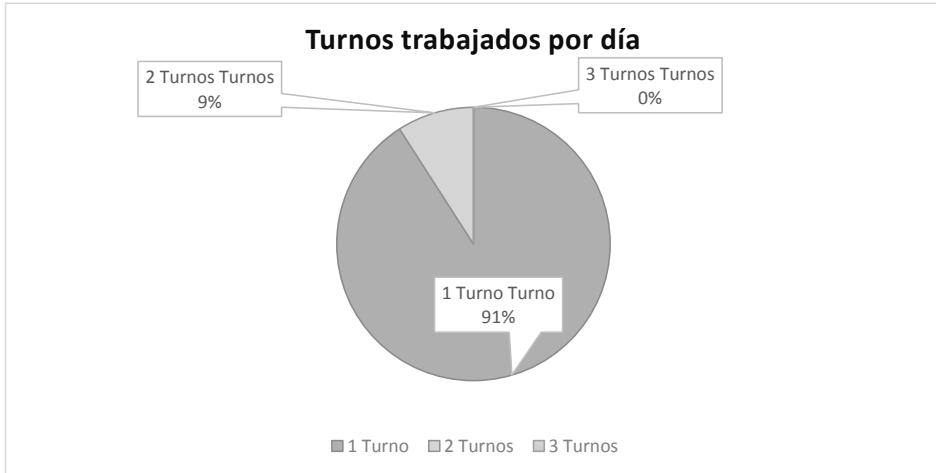


Figura 54. Turnos diarios trabajados por organizaciones del sector de materiales agregados para la construcción

Fuente: Autor 2016

5.1.15 Cantidad de trabajadores por empresa

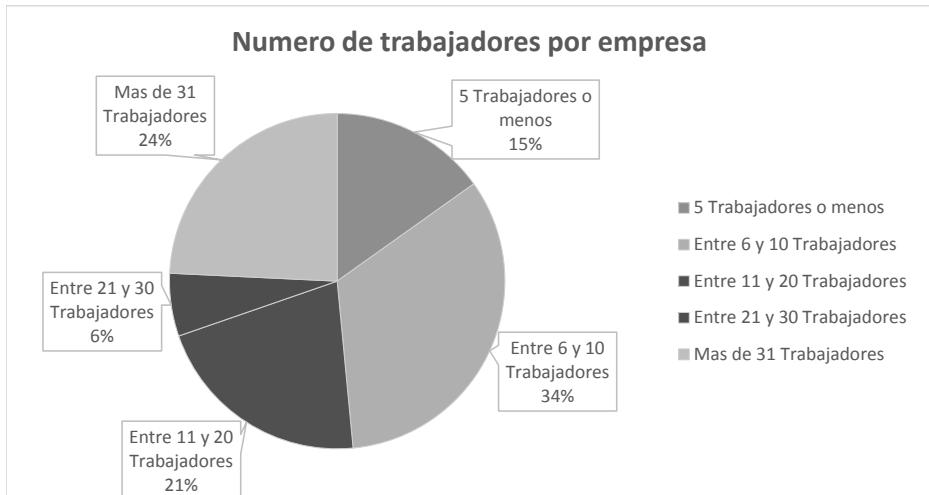


Figura 55. Cantidad de trabajadores en organizaciones del sector de materiales agregados para la construcción

Fuente: Autor 2016

El número de personas que trabajan en las diferentes asociaciones y empresas es variable, pero lo más representativo del sector son las organizaciones que poseen entre 6 y 10 personas que laboran, estas empresas con esta característica representan el 34% del total, así mismo el 21% de empresas poseen entre 11 y 20 empleados, en menor proporción el 15% cuentan con 5 trabajadores o menos. De igual forma, el 24% de las empresas o asociaciones poseen más de 31 personas, pero estas que poseen este número elevado de personas son generalmente las asociaciones de extracción artesanal. (Figura 56).

5.1.16 Diagnóstico de seguridad y salud en el trabajo

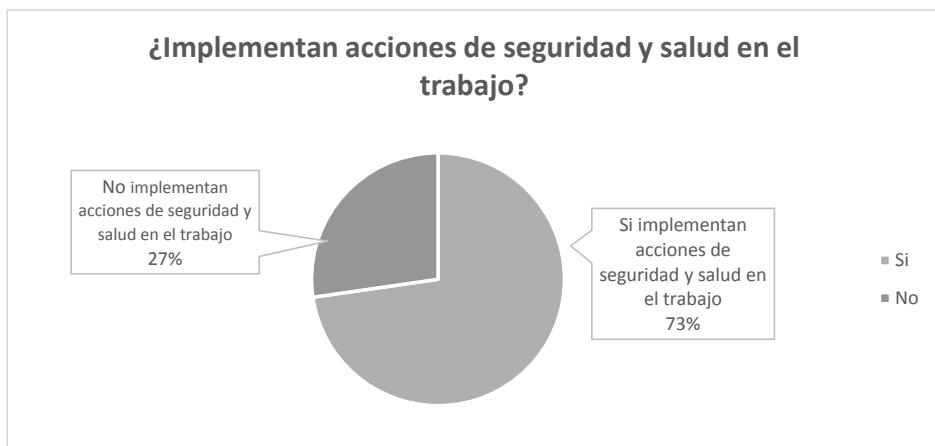


Figura 56. Acciones de seguridad y salud en el trabajo en organizaciones del sector de materiales agregados para la construcción.

Fuente: Autores.

Muchos casos de los accidentes laborales presentados suelen suceder por falta de elementos de protección personal, para el caso del sector de agregados para la construcción en Sucre, el 73% de las organizaciones implementan acciones de seguridad industrial, que básicamente están representados por el uso de guantes, botas, cascos y gafas, pero esto se ve principalmente en las empresas como en las trituradoras. En contraste con lo anterior, las asociaciones que extraen el material artesanalmente

poseen insuficiencia en la aplicación y uso de elementos de seguridad, éstas representan el 27% de las organizaciones. (Figura 57).

Los principales riesgos a los que se encuentran expuestos las personas que trabajan en este sector son golpes y cortes por rocas, cortes por herramientas o maquinas utilizadas, caídas de herramientas y materiales, caída de personas a distinto nivel, manejo inadecuado de cargas, derrumbes, ambiente térmico inadecuado, inhalación de material particulad generado en el proceso de extracción y procesamiento de material agregado, peligro por tránsito de vehículos, peligros en las instalaciones, montaje, operación, mantenimiento de equipos en planta, explosiones e incendios, posiciones ergonómicas no confortables, entre otras. Dicho lo anterior, se concluye que las asociaciones son las que mayor número de personas tienen para realizar las operaciones y son éstas las que implementan escasamente acciones para salvaguardar su integridad y salud en el trabajo.



Figura 57. Afiliación al sistema de seguridad social en organizaciones del sector de materiales agregados para la construcción

Fuente: Autor 2016

El panorama empieza a cambiar en las empresas y se debe a que el 61% no tienen afiliados a los trabajadores al sistema de seguridad social colombiano como es salud, pensión y riesgos laborales, lo cual en caso de alguna eventualidad o accidente durante sus labores que cause alguna lesión temporal o permanente, la persona queda desprotegida por no estar afiliada. En cuanto a las organizaciones que aflian a sus empleados, el 39%

de estas cumple con esta obligación para garantizar la integridad de sus trabajadores. (Figura 58).

5.1.17 Inversión en publicidad de los negocios de agregados para la construcción.

Conocer las empresas que ofrecen servicios y productos agregados para las construcciones puede ser un factor para que las empresas o asociaciones puedan ser sostenibles y duraderas en el mercado, para ello la publicidad que pueden invertir para su promoción podría atraer nuevos clientes. En los encuestados del Distrito Minero de Calamari, cuando se preguntó acerca de si invertían en publicidad o no, el 66% personas entrevistadas respondieron que no realizan inversión en publicidad, mientras que el 34% de los entrevistaron contestaron positivamente afirmando que, si invierten en publicidad, como es en la radio, vallas publicitarias, paginas virtuales, entre otras. (Figura 59).



Figura 58. Inversión en publicidad en organizaciones del sector de materiales agregados para la construcción

Fuente: Autor 2016

5.1.18 Documentación y registros de las empresas del sector de agregados para la construcción

La informalidad en el sector trae consigo muchas veces, no tener en orden documentos internos de la empresa o documentos de los procesos

que realizan, tales como manuales de operaciones, de funciones, planes de emergencia, salud, registros, etc. Del total de los entrevistados referenciados en la tabla 8, el 55% afirma no contar con la documentación del proceso, mientras el 34% cuenta con documentos de los procesos que realizan. (Figura 60).



Figura 59. Documentación de los procesos en organizaciones del sector de materiales agregados para la construcción

Fuente: Autor 2016

Estos documentos son muy importantes para evitar confusiones internas sobre las funciones del personal, así mismo permiten tener claridad sobre la secuencia de las operaciones, aspectos a tener en cuenta durante la realización de las actividades y principalmente realización de registros para planear, medir, controlar y mejorar los resultados de la empresa.

Algunas de estas organizaciones, no documentan todo su proceso, aunque algunas si cuentan con los registros de producción y ventas que

van realizando para generar sus balances sobre el estado de la empresa u asociaciones. Se encontró que el 70% realiza registros de la producción en un periodo de tiempo, mientras que el 30% no cuenta con estos registros de forma física o virtual, pero de forma mental poseen un estimado de su producción, lo que está relacionado con la informalidad del sector.



Figura 60. Registros de producción en organizaciones del sector de materiales agregados para la construcción

Fuente: Autor 2016

Contar con los registros del proceso y producción, permite controlar y planear, así mismo se puede estudiar mediante herramientas de pronósticos el comportamiento de la demanda durante diferentes periodos de tiempo. Las herramientas de pronósticos permiten estimar la demanda de materiales en un periodo futuro y ajustar los niveles de producción para no generar sobreproducción o escases de materiales al momento de la compra de los clientes, lo que al final permitiría optimizar los recursos y aumentar la eficiencia del sistema. (Figura 61).

De las organizaciones, el 70% cuentan con registros de producción, se ve en el gráfico de pronósticos de demanda que el 76% no realizan un pronóstico para estimar la demanda de sus productos y solo el 24% realizan un pronóstico para su producción.

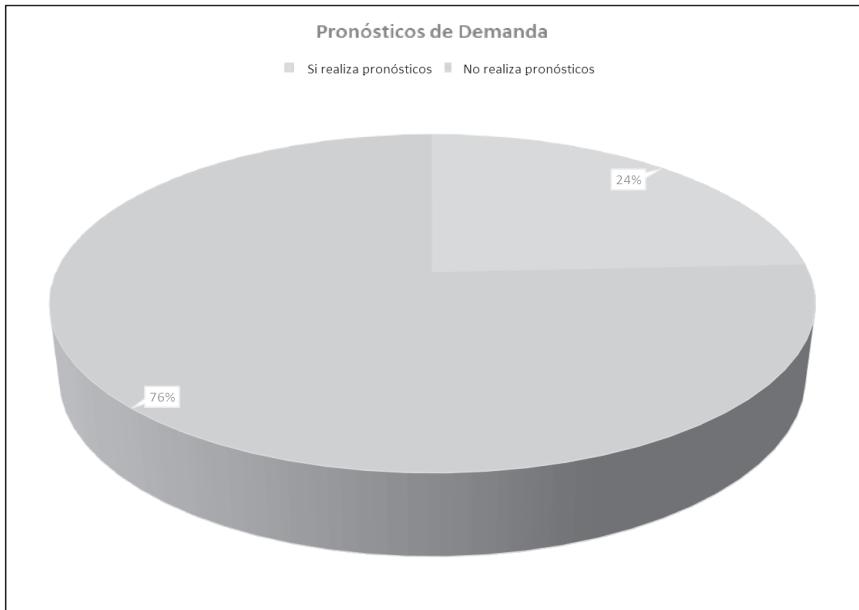


Figura 61. Pronósticos de demanda en organizaciones del sector de materiales agregados para la construcción

Fuente: Autor 2016

El pronóstico de la demanda puede servir de regulador al volumen de inventario que maneja para la materia prima y productos terminados, permitiendo tener una cantidad óptima de productos, sin poseer altos volúmenes de productos. En el 67% de los casos las personas afirman que poseían inventarios tanto de productos terminados como de materia prima, de tal manera si llegara cualquier cliente ellos podrían satisfacer su demanda, mientras que el 33% no maneja inventarios, trabajando solo bajo órdenes de pedido. (Figura 62).

5.1.19 Transporte y distribución de los agregados

El transporte del material, es realizado en volquetas de 7 mts³ o 15 mts³ de capacidad, como se ve en el siguiente grafico, este transporte es realizado en un 61% de los casos por terceros o volquetas alquiladas que prestan el servicio de trasnporte y distribución por un precio determinado entre las partes involucradas, sin embargo algunas de estas empresas poseen sus volquetas con las que realiza esta operación, de estas solo el 39% posee transporte propio, permitiendo entregar el material directamente al cliente.

La distribución de estos productos se da principalmente en los centros poblados. El lugar de explotación, procesamiento y comercialización posee la ventaja de estar conectado por carretera pavimentada de la ruta 90 y ruta 25 que son vías nacionales, conectando los municipio de Sincelejo, Corozal, Tolú, Toluviejo, Sampués, Chinú, San Onofre, Ovejas, Los Palmitos, entre otros, permitiendo el facilidad de transporte para sacar los productos. (Figura 63).

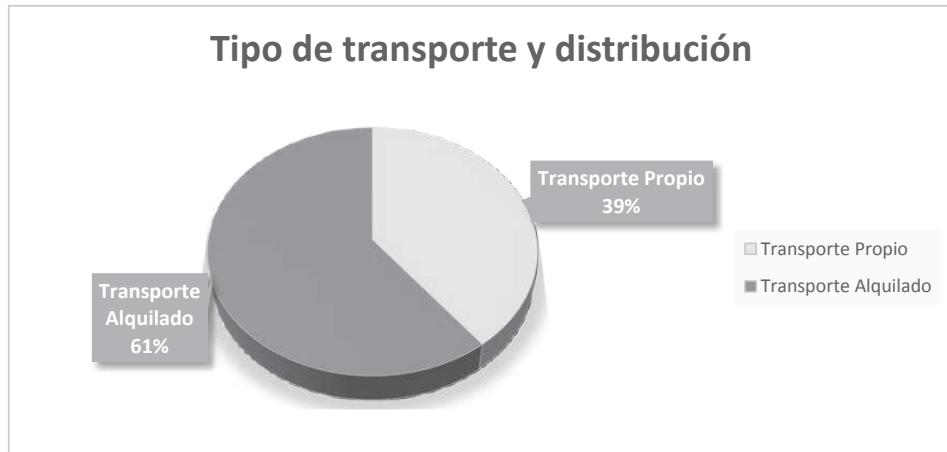


Figura 62. Transporte y distribución en organizaciones del sector de materiales agregados para la construcción

Fuente: Autor 2016

La oportunidad que presenta formalizar e integrar de forma eficiente la operación de transporte permitirá mejorar el desempeño logístico del transporte, tanto del lugar de extracción del material a las trituradoras o lugares de procesamientos, como de los lugares de procesamiento a los diferentes centros donde se realiza la comercialización o incluso directamente al cliente final.

5.2 Caracterización de la Cadena de Suministro de la Arcilla en el Departamento de Sucre

En el departamento de Sucre existen varias zonas donde se explota la arcilla, pero no todas las cadenas de suministro son iguales, ya que unas son más eficientes que otras, es notorio que no todas las empresas dedicadas a esta labor cumplen con toda la normatividad vigente y con todos los

procesos atendiendo a la seguridad del empleado y demás. Existen algunas ladrilleras que tienen su propia materia prima, lo que les ahorra tiempo y costes de transporte en ese sentido.

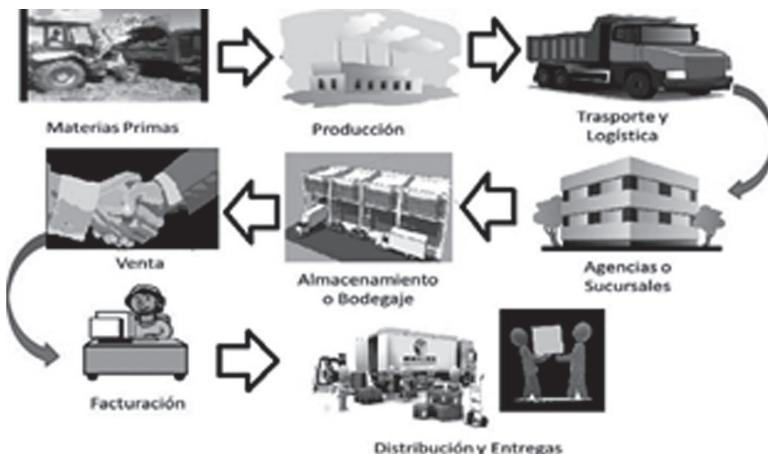


Figura 63. Cadena de suministro de la arcilla en el departamento de Sucre.

Fuente: Elaboración Propia

Entre las caracterizaciones de la cadena de suministro del sector arcilla en el departamento de Sucre se tienen las más sobresalientes como son:

- Las relaciones existentes dentro de la cadena de suministro son entre proveedores, productores o fabricantes, distribuidores, detallista y clientes finales.
- La organización tiene un conjunto de proveedores, otro conjunto de proveedores de esos proveedores, clientes que se relacionan de forma directa y otros de forma indirecta, de esta forma, se clasifican en niveles, de acuerdo a la proximidad con la organización.
- El flujo de información implica que sea dinámica y se distribuya eficientemente en todos los eslabones de la cadena de suministro que busca la satisfacción del cliente.
- El flujo de información, materiales, servicios y dinero en una cadena de suministro se mueve en ambas direcciones, hacia el cliente o hacia el proveedor.

- Cada cadena de suministro es ajustada al modelo de negocio de cada organización, es sensible y flexible frente a los cambios para satisfacer al cliente añadiendo valor al producto.
- Una cadena de suministro entrega un producto o un servicio añadiendo valor importante al cliente, cuando está disponible en cantidad, momento y lugar en que ellos desean obtenerlo.

En la cadena de suministro también se busca mantener la comunicación dentro y fuera de la empresa, la cual debe ser clara y oportuna, sin redundancia alguna y evitar cualquier tipo de error en algún proceso. Teniendo en cuenta lo dicho y buscando el mayor rendimiento posible al gestionar una cadena de suministros se deben tener en cuenta unos factores importantes como son la calidad, el tiempo, la flexibilidad y los costos, porque de acuerdo a esto se puede tener o no una empresa que satisfaga las necesidades de los clientes y genera rentabilidad y avanza de acuerdo al entorno en el que se encuentre. Ahora, cuando se habla de calidad se hace referencia a las características que el producto que tengan inherentes al momento de ofrecerlo al cliente, para que éste se sienta satisfecho con la adquisición; el tiempo hace referencia a la velocidad con la cual se genera el servicio en sí, es decir, que no haya demora en que el cliente reciba su producto al tiempo en que lo pide, pero esto también depende de la velocidad con que opere la cadena de suministro. En cuanto a la flexibilidad se hace referencia al rendimiento que tenga la cadena de suministro para que le pueda hacer frente a las necesidades de los clientes. Los costos incluyen a todas las operaciones de la Cadena, hasta los representados en el producto final. (Figura 64).

En la Figura 38 se muestran cada uno de los procesos necesarios desde que la materia prima sale, hasta el que el producto final es entregado al cliente. Esto se puede explicar de la figura 65 de la siguiente manera:

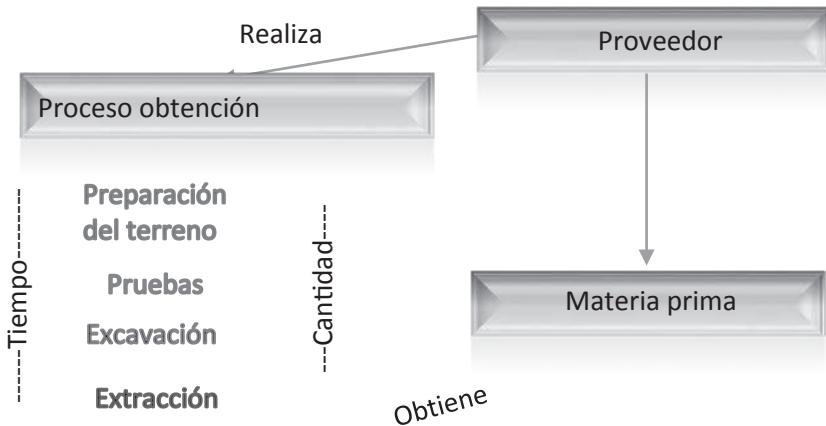


Figura 64. Procesos de Extracción de la arcilla.

Fuente: Elaboración Propia

El proveedor juega un papel muy importante porque es quien abastece a la empresa de la materia prima en bruto, es decir sin ningún tratamiento para convertirla en arcilla, o en su defecto la materia prima terminada (arcilla), para trabajar con ello, se realizará la explicación para las dos formas.

El proceso de excavación es el proceso inicial para la extracción del material con que se va a trabajar para luego ser convertido en un producto, en este proceso se realiza una abertura, conocida comúnmente como zanja, en la tierra, los métodos utilizados para la extracción definen el tiempo que se gastará para hacer este trabajo, por un lado estará la preparación del terreno haciendo un desbrozo o limpieza de los restos de maleza y apartando la vegetación para su preservación y de esta forma colaborar con el medio ambiente, es decir, utilizando los utensilios adecuados como son pico, azadón y pala. Véase en la figura 66:



Figura 65. Utensilios utilizados en la extracción manual

Fuente: Memoria de Empresa Ladrillera

Se remueve la capa superficial que se puede denominar estéril, donde se encuentran las raíces de las plantas; se encuentra en este proceso de excavación dos tipos de arena, una con gránulos muy finos y otra de granulo un poco más grandes, en el momento en el que se encuentra yacimiento de arcilla, entonces se empieza el trabajo de excavación donde se crea un foso o cantera donde se realizan las pruebas necesarias, este trabajo como es un poco dispendioso se debe organizar por varios frentes de trabajo, entonces cuando se toman las piedras se cargan en sacos o costales o cualquier otro medio para llevarlo hasta donde se va a realizar el tratamiento y mezclarlo para la obtención de la arcilla en sí.

Por otro lado, se debe preparar el terreno y luego se utiliza la maquinaria necesaria para reducir el tiempo de trabajo y aumenta la cantidad de extracción. De esta forma, se reduce el costo en personal de trabajo con el uso de retroexcavadoras para socavar las canteras y tener mayor radio de extracción. El material es cargado en los camiones para someter el material extraído a los procesos necesarios. Existen personas que tratan este material y lo convierten en arcilla y luego en productos y los venden como productos finales (figura 67).



Figura 66. Utensilios utilizados en la extracción con maquinaria

Fuente: Memoria de Empresa Ladrillera

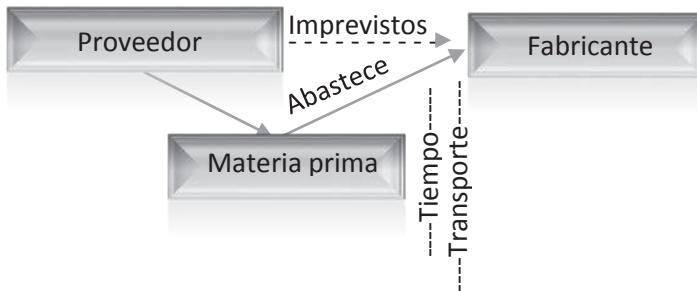


Figura 67. Entrega de materia prima al fabricante.

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 68, se muestra la entrega de la materia prima al fabricante, esta fue obtenida mediante el proceso que ya se ha mencionado con anterioridad, por lo tanto se ven involucrados factores de suma importancia y que van de la mano, como son el tiempo de entrega y el transporte de la materia prima, así como los imprevistos en la entrega, debido a que se condiciona la entrega al tiempo y el tiempo al transporte y el transporte a imprevistos que puedan ocurrir en el camino, por tanto se hace uso de una holgura de tiempo, para esto se debe tener en cuenta también el estado de

la vía, ya que de ello depende la velocidad de conducción, la distancia que se recorrerá, la cantidad de combustible utilizado para esto, la distancia recorrida, pero no hay que olvidarse de los imprevistos que se pueden presentar en el camino, lo que retrasaría la entrega horas o días o anulando la entrega, que no se quiere que pase por supuesto. (figura 69 y 70).



Figura 68. Utensilios utilizados en la extracción con maquinaria

Fuente: Memoria de Empresa Ladrillera

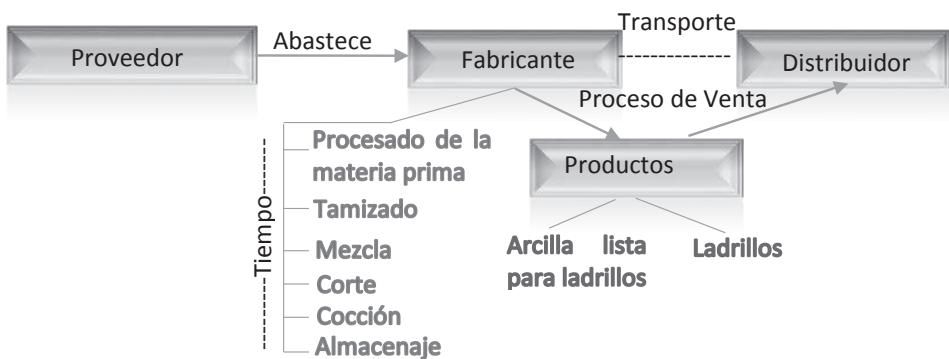


Figura 69. Venta de los Productos al Distribuidor.

Fuente: Elaboración Propia

Empresa dedicada a la fabricación de bloques de arcilla o cemento, a la fabricación del cemento y demás materiales destinados a la construcción, la empresa, es también un actor fabricante dentro de la SCM, ya que es

fabricante de ladrillos de arcilla. El fabricante en este caso, es el encargado de transformar la materia prima en el producto para la venta, ya sea bloques de arcilla o cemento, pero el fabricante también tiene la opción de vender la materia prima para otros fabricantes que vendrían a ser entonces sus clientes, aquí es donde se lleva a cabo el tratamiento de la materia prima, porque primeramente se debe procesar la materia prima, si se extrajo arcilla como tal, primero se debe dejar secar, esto se hace al aire libre debido a que cuando la arcilla es expuesta a las condiciones del clima, ya sea lluvia sol y otro, esto produce que las sustancias orgánicas que componen la arcilla se descompongan, lo cual conlleva a la putrefacción, lo que influye luego en la plasticidad de ésta, debido a que se produce un fluido orgánico que aumenta el perfil plástico en los minerales arcillosos (Amilano, 1985, 29).

Otros procesos son el tamizado, que es cuando se pasa la arcilla en una especie de colador para que los fragmentos más grandes de rocas y diferentes materiales se separen de la arcilla y esta quede uniforme, la mezcla; en este paso se coloca el material en unos recipientes lo suficientemente profundos y abundante agua bien mezclada, luego se espera a que los materiales se tornen más pesados para que estos se vayan al fondo del recipiente y con un cuenco de fondo plano se vacía la arcilla muy diluida en agua, con cuidado de no remover el fondo en el que han quedado depositadas las impurezas, luego de esto se debe obtener una arcilla de granulometría muy fina y uniforme, para esperar que esta se seque y poder continuar con los demás procesos, en la mezcla también se tiene la adición de desengrasantes que son necesarios si es muy plástica, para que tome mayor resistencia, pero si se nota la arcilla demasiado oscura, es porque carece de plasticidad, por lo que deberá ser unida con otras arcillas más plásticas

Existen materiales desengrasantes para mezclarlo con la arcilla, dependiendo el grado de plasticidad que esta tenga los más comunes utilizados son los silíceos, bajo la forma de cuarzos y materiales cerámicos que han sido cocidos, molidos y reducidos a granos de varios grosoros, estos pueden ser ladrillos, tejas o cerámicas, otros tipos de desengrasantes son los fundentes que no bajan el punto de fusión después de la cocción, estos serían ortoclasas o plagioclásas, los carbonatos, los óxidos de hierro, las calizas y el talco que es el silicato básico de magnesio.

Antes de iniciar el proceso de modelado, la arcilla debe ser ventilada por lo menos una semana (Woody, 1986,17) esto se realiza con el fin de

eliminar las burbujas que se forman cuando la arcilla se está humedeciendo, porque puede ocurrir que estas puedan provocar algunas imperfecciones en el material que se va a realizar luego de dejar ventilar se amasa la pasta arcillosa para hacer de esta una mezcla homogénea, luego corta en el tamaño deseado según el producto que se haya hecho. Luego de esto, viene la parte de la cocción, donde primero se precalienta el horno y las piezas cortadas para quitarles toda la humedad, porque cualquier humedad podría arruinar el producto debido a que podría agrietarse; luego se agrega más temperatura para la cocción en sí, que viene siendo una temperatura aproximada de 950°C y 1000°C¹. Cuando ya se hubo realizado esta fase de cocción, se procede a bajar gradualmente la temperatura hasta apagar completamente el horno, con el fin de no ocasionar cambios bruscos de temperatura evitando de esta manera que se dañe el producto. Cuando ya se hubo terminado todo el proceso anteriormente descrito viene el almacenaje, que es guardar las piezas en las bodegas para la respectiva venta, se hace inventario se hace respectivo control de esto. (Figura 71).

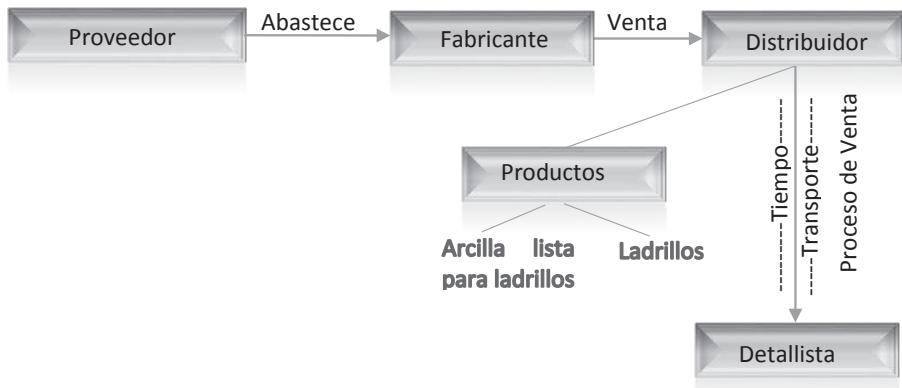


Figura 70. Venta de Distribuidor a Detallista.

Fuente: Elaboración Propia

Los mayoristas hacen referencia a las empresas que compran al por mayor los productos que ofrecen los fabricantes para facilitar la distribución de dichos productos, la empresa forma parte de este eslabón dentro de la cadena de suministro ya que distribuye a los mayoristas y a su vez a los detallistas sus productos. (Figura 72).

1 Basado en <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion7.COCCION.pdf>

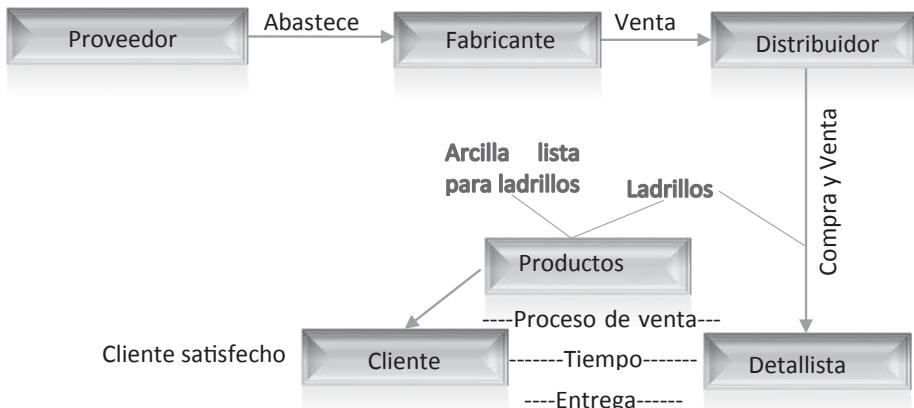


Figura 71. Venta del Detallista a Cliente o Consumidor final.

Fuente: Elaboración Propia

Detallistas son aquellos minoristas que llevan el producto al consumidor final, dentro de esto existen a nivel regional y muchas empresas que se dedican a esta labor que venden sus productos a las constructoras, la empresa, también ejerce este papel dentro de la SCM, tiene un gran número de empresas constructoras que se surten directamente de esta empresa.

Los clientes son definidos como aquellos que necesitan un producto y lo obtienen mediante un proceso de compra para solventar una necesidad y estos pueden ser en este caso las diferentes empresas constructoras o particulares, maestros de obras y demás personas que se sirven de los diversos materiales para la realización de sus obras ya sean pequeñas o grandes obras de ingeniería civil. (Figura 73).

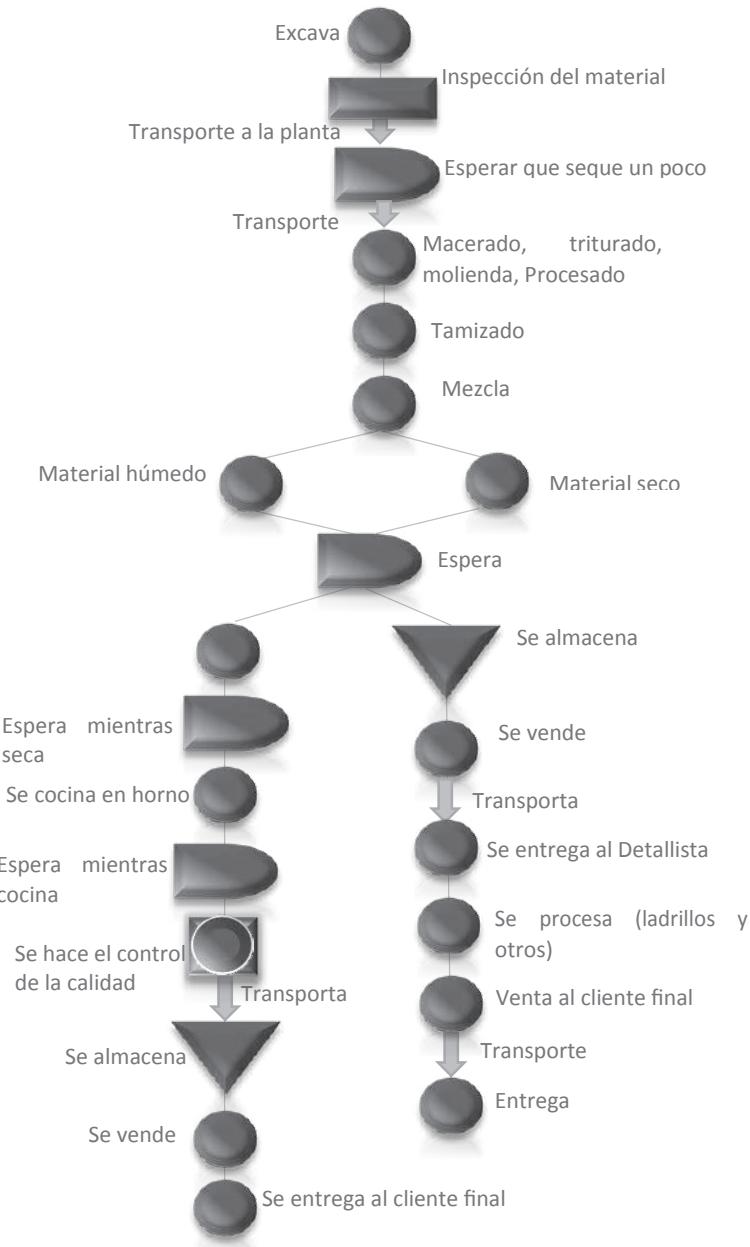


Figura 72. Diagrama De Procesos de Cadena de Suministro de la arcilla en el departamento de Sucre.

Fuente: elaboración propia

5.2.1 Descripción del Proceso de Producción de una Ladrillera en el Departamento de Sucre

La ladrillera Cerámica se encuentra ubicada en el departamento de Sucre vía Sampués, es una planta de procesamiento de arcilla basada en tecnologías conocidas, manipulada de manera semiautomática en donde el proceso de horneado es automático; pero, los demás procesos deben contar con operarios; maneja costos medios de inversión con respecto a otras alternativas, permite la elaboración de productos de alta calidad, tiene flexibilidad para una amplia gama de productos. Dentro de la empresa se producen 3 líneas de productos:

- Ladrillo de mampostería confinada: de esta línea se produce el ladrillo No. 4 – No. 5 – No. 6 y el ladrillo No. 4 estández.
- Ladrillos estructurales: de esta línea se produce el ladrillo catalán No. 6 – No.9 – No.12 y No.18.
- Bloquelón.

5.2.2 Descripción del Proceso de Producción de Ladrillera. Caso de Estudio

FASE DE EXPLOTACIÓN – EXTRACCIÓN MINERA A CIELO ABIERTO

Tareas o actividades de aprovechamiento o explotación de recursos geológicos que necesariamente requieran la aplicación de técnica minera, la cual es acorde a los lineamientos del plan de manejo ambiental aprobado para nuestro parque minero industrial. Se considera necesaria la aplicación de técnica minera en los casos en que se deban, formar cortes, tajos o bancos de tres metros o más altura, o el empleo de cualquier clase de maquinaria.

La materia prima utilizada para la producción de bloques y ladrillos es la arcilla. La minería a cielo abierto remueve la capa superficial o sobrecarga de la tierra para hacer accesibles los extensos yacimientos de mineral de mejor calidad.

Las actividades mineras comprenden diversas etapas, cada una de las cuales conlleva impactos ambientales particulares. Estas etapas serían las que se muestran en las Figuras de la 74-84.



Figura 73. Desarrollo y preparación de las minas.

Fuente: Memoria de Empresa Ladrillera

Explotación de las minas



Figura 74. Explotación de las minas.

Fuente: Memoria de Empresa Ladrillera

Maduración

Antes de incorporar la arcilla al ciclo de producción hay que someterla a ciertos tratamientos de trituración, homogeneización y reposo en acopio,

con la finalidad de obtener una adecuada consistencia y uniformidad con el objetivo de obtener productos comerciales de excelente calidad.

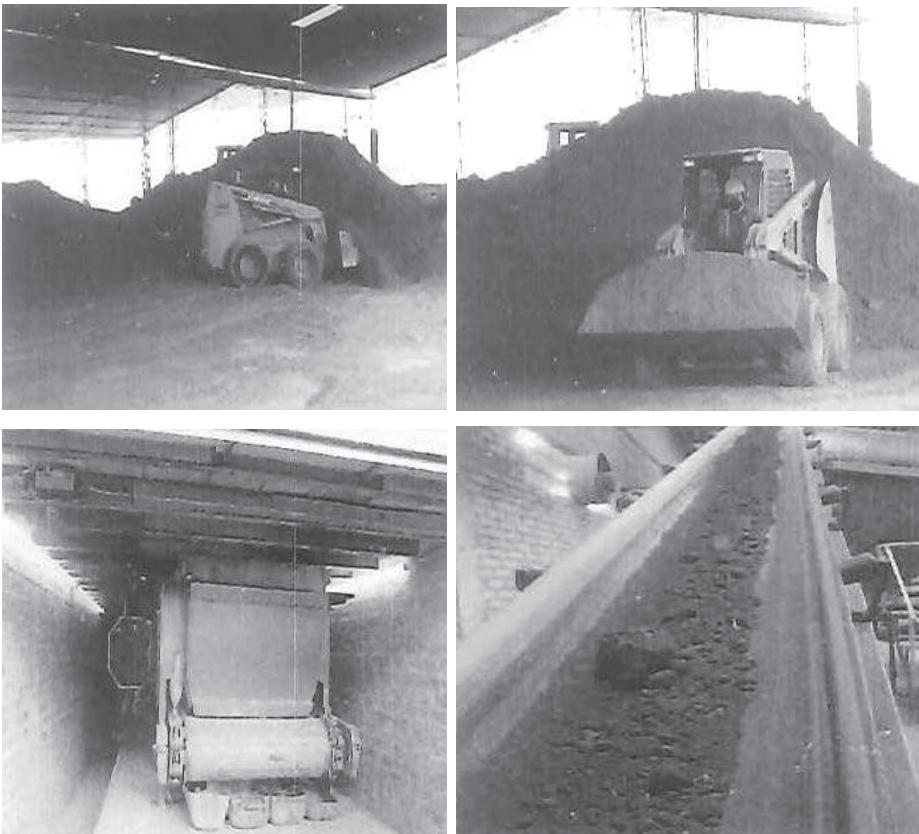


Figura 75. Maduración.

Fuente: Memoria de Empresa Ladrillera

Control de calidad de la mezcla y fase de transformación

Mediante análisis físico en cuanto a texturas, granulometría y tonos de la arcilla para lograr un producto de óptima calidad y resistencia. Después de la maduración que se produce en la zona de acopio, sigue la fase de pre-elaboración que consiste en una serie de operaciones que tienen la finalidad de purificar y refinar la materia prima.

Los minerales no metálicos arena, arcilla, gravas entre otros (como los materiales de construcción), que requieren tratamiento físico, como por ejemplo trituración, y molienda constituyen el primer paso mediante el

cual se reduce el material a fragmentos de tamaño fácilmente manejable a granel. En general, en este primer paso se tiende a quebrar el mineral hasta un tamaño adecuado no más fino que lo absolutamente necesario, y, si se requiere, también a separar los gruesos de los finos para tratarlos aisladamente de la manera más adecuada para cada uno de ellos.

Clasificación, dosificación y molienda

La producción considera de notable utilidad la clasificación del mineral con el fin de optimizar los resultados de las pruebas de laboratorio de los productos y por ende la calidad del producto. La molienda al igual que la trituración, merece cuidadoso estudio, se debe realizar el diagrama de flujo del molino ya que se proyecta para cada instalación en particular, a fin de obtener el menor costo posible y a la vez que los resultados sean los que se desean.

Se cuenta con un circuito de molienda como medio para producir diariamente determinada cantidad de material molido hasta estar formado por partículas con una granulometría máxima de 5 mm, y el condicionar el producto mineral de tal manera que se consiga obtener resultados óptimos cuando se someta al proceso de secado y cocción; solo de esa forma, se pueden obtener resultados de excelente calidad, es decir un producto que cumple con la norma técnica colombiana NTC 4205.

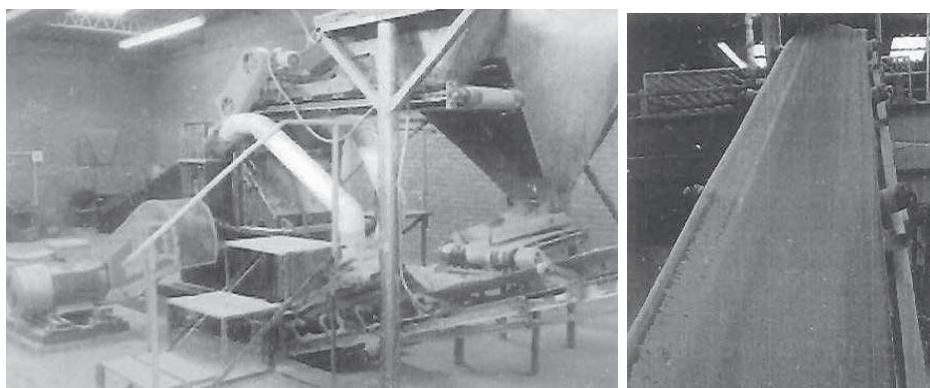


Figura 76. Molienda.

Fuente: Memoria de Empresa Ladrillera

Mezclado y humidificación

Después que se ha completado los procesos de trituración y molienda se procede hacer la mezcla de la arcilla, en un mezclador humedecido donde se agrega agua para obtener la humedad precisa del 19%.

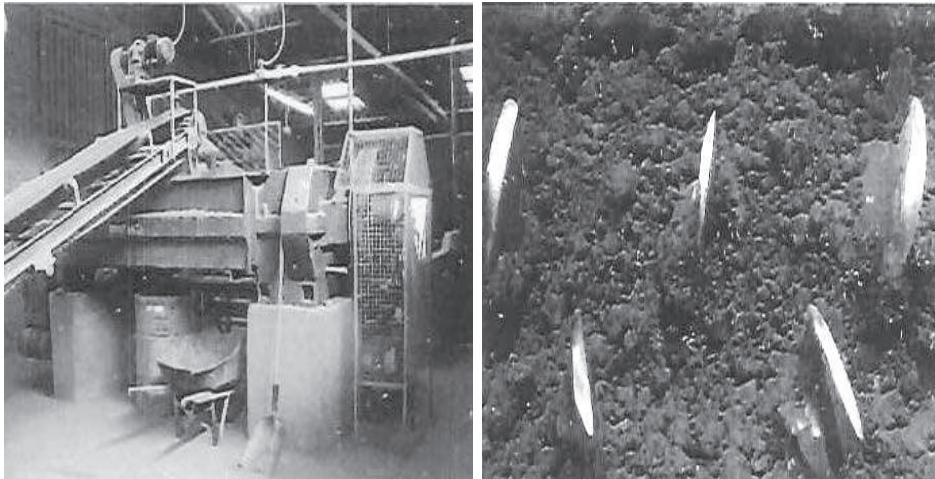


Figura 77. Mezclado y humidificación.

Fuente: Memoria de Empresa Ladrillera

Moldeado y extrusión

El moldeado consiste en hacer pasar la mezcla de arcilla a través de una boquilla al final de la extrusora. La boquilla es una plancha perforada que tiene la forma del objeto que se requiere producir. El moldeado, normalmente se hace en caliente utilizando vapor y presión reducida, de esta manera, se obtiene una humedad más uniforme y una masa más compacta, puesto que el vapor tiene un mayor poder de penetración que el agua. Se tiene especial cuidado en la calibración de las boquillas con el fin de obtener un producto de óptimas especificaciones.

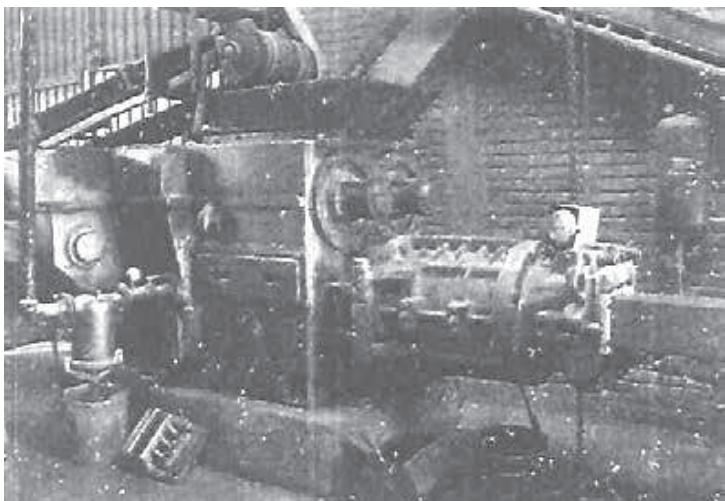


Figura 78. Moldeado y extrusión.

Fuente: Memoria de Empresa Ladrillera

Corte

El material es cortado teniendo en cuenta las dimensiones necesarias, esto se hace con la máquina cortadora neumática que corta el material cada cierta distancia.

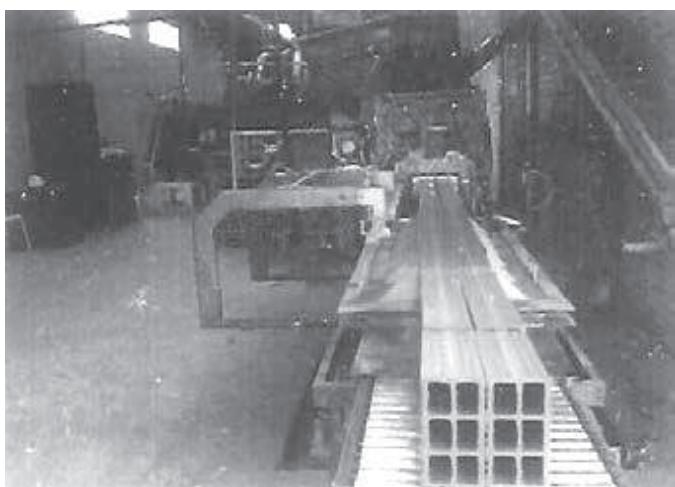


Figura 79. Corte.

Fuente: Memoria de Empresa Ladrillera

Fase de Secado

El secado es una de las fases más delicadas del proceso de producción; contamos con un secado 100% natural. De esta etapa depende, en gran parte, el buen resultado y calidad del producto, en lo que respecta a la ausencia de fisuras. El secado tiene la finalidad de eliminar el agua agregada en la fase de moldeado para de esta manera, seguir a la fase de cocción.

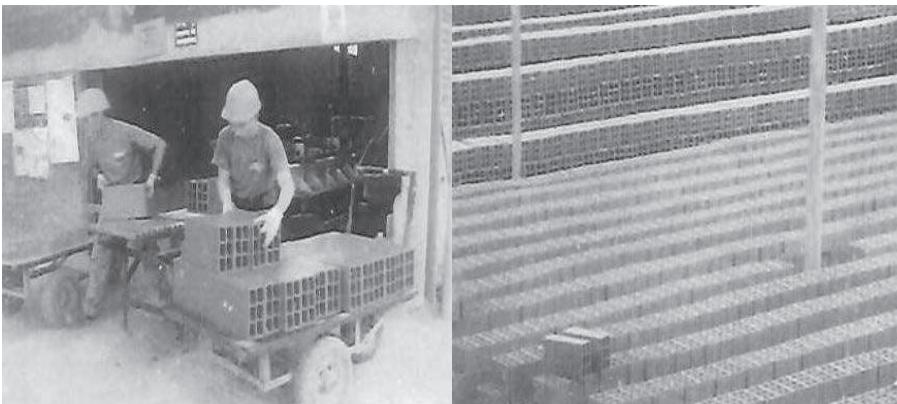


Figura 80. Secado.

Fuente: Memoria de Empresa Ladrillera

Fase de Cocción

Se realiza en horno Hoftman, de 60 m de longitud, y donde la temperatura de la zona de cocción oscila entre 900 °C y 1000 °C. En el interior del horno, la temperatura varía de forma continua y uniforme. El material secado se coloca en paquetes estándar y alimentado por las puertas laterales del horno. La dosificación del carbón como combustible es usado de manera controlada con el fin de disminuir la contaminación y obtener un producto terminado de óptimas condiciones.

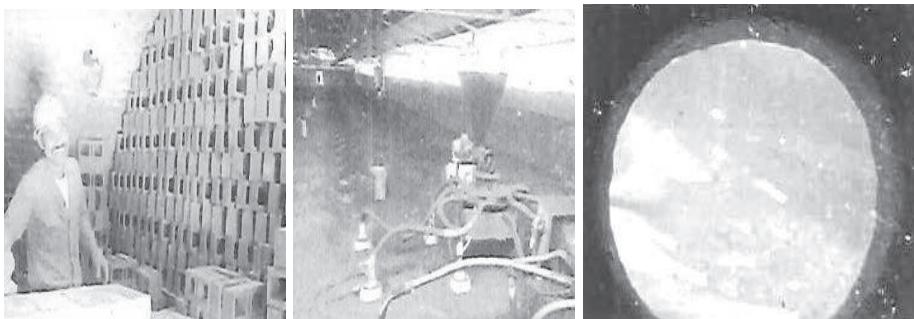


Figura 81. Cocción.

Fuente: Memoria de Empresa Ladrillera

Enfriado

Después de un tiempo determinado de horneado o quema se deja el producto en el horno hasta enfriarse gradualmente evitando cambios bruscos de temperatura, buscando el equilibrio térmico con el medio ambiente para obtener un producto de calidad.



Figura 82. Enfriado.

Fuente: Memoria de Empresa Ladrillera

Una vez culminado el proceso de enfriado se toman aleatoriamente piezas del lote de producto con el fin de enviarlas a pruebas de laboratorio para comprobar la resistencia a la compresión, la absorción en frío, y la tasa

inicial de absorción, ensayos que nos permitan garantizar la calidad del producto.

Fase de Almacenaje

Se procede a la formación de paquetes o pilas de producto (columna de 6 bloques) en el lugar de almacenamiento seleccionado ya sea el patio de producto terminado o bodega con plataforma de cargue, para posteriormente, ser trasladados al camión.



Figura 84. Almacenaje.

Fuente: Memoria de Empresa Ladrillera

6. MODELOS DE OPTIMIZACIÓN EN LA MINERÍA GLOBAL

6.1 Modelo de Optimización para la Cadena de Suministro Global de la Minería No Metálica Bajo la Consideración de Estructuras de Colaboración con Elementos de Planeación de la Capacidad

La cadena de la minería en el sector de minerales no metálicos, se encuentra compuesta por las industrias manufactureras de vidrio, arcilla, cerámica no refractaria, cemento, cal, yeso y artículos de hormigón, permitiendo proveer de los materiales al sector de la construcción de vivienda y obras civiles (DNP, 2011). La definición de materiales de la construcción (minerales no metálicos) que propone *The Aggregates Handbook*, es “cualquier combinación de arena, gravas, gravillas y piedras trituradas en su estado natural o procesado”, aun así, algunas fuentes de información no coinciden con los mismos niveles de desagregación (Aguilar, León y Meléndez, 2006). El transporte está dado por la transferencia de los productos o minerales desde un punto geográfico de oferta a otro de demanda utilizando diferentes medios y modos de transporte (Robusté, 2005).

En lo relacionado con estudios sobre el sector de minerales no metálicos, se exponen casos como el de Canadá, que no sólo ha contribuido al crecimiento del sector gracias a la elevada disponibilidad de recursos mineros, sino también a la formulación de políticas públicas que han sido orientadas para impulsar el desarrollo tecnológico, formar el talento humano para fortalecer los estudios mineros, y promocionar la minería a nivel internacional. Particularmente, en América Latina sobresale el resultado que ha tenido la agrupación de empresas para la economía minera de cada país. En ese sentido, aunque es complicado que se llegue fácilmente a acuerdos entre las pequeñas, medianas y grandes empresas mineras, los beneficios que se derivan de la cadena integrada han ido en aumento en relación a aquellos obtenidos de manera individual (Aguilar, León y Meléndez, 2006). Un aspecto, a considerar de la minería colombiana,

es que se encuentra clasificada en cuatro (4) segmentos (ver tabla 21), los cuales se distribuyen por las regiones del país y poseen los diversos tipos de minerales.

Tabla 21.
Clasificación de segmentos del sector minero colombiano.

Segmento 1
Corresponde a mineros de tradición, en ámbitos de dimensión local o regional, en el cual las actividades son de sustento y los niveles de productividad bajos. El impacto de su labor es más social que económico.
Segmento 2
Pertenecen empresas mineras emergentes, encadenadas o integradas verticalmente con procesos de transformación y de agregación de valor al producto
Segmento 3
Empresas con alta capacidad de inversión y excelente conocimiento del riesgo exploratorio, que manejan mejor los procesos de explotación y beneficio minero, los cuales suelen transferir total o parcialmente a empresas especializadas en ese tipo de actividades. Por estas características se pueden calificar como agentes aceleradores del desarrollo minero.
Segmento 4
Las grandes empresas mineras, que operan las mayores minas del mundo y poseen porciones significativas del mercado de uno o varios productos mineros.

Fuente: UPME (2010)

El diseño de un modelo matemático para la optimización de la cadena de suministro global (GSC) de la minería con enfoque en estructuras colaborativas que incluye elementos de planeación de la capacidad en el sector de los no metálicos, especialmente los materiales para la construcción, es novedoso. A través de la revisión de la literatura no se encontró un modelo matemático que integre los aspectos que incluyen, la cadena de suministro global, minerales no metálicos, enfoque colaborativo, y planeación de la capacidad, lo que redundará a la luz de los beneficios de otros modelos colaborativos, en mayor integración y coordinación en los procesos en los eslabones desde la extracción hasta la distribución de materiales (los que se prioricen), en los flujos, en el intercambio de

información y la toma de decisiones estratégicas que promoverán el diseño de sistemas logísticos acorde a los requerimientos del sector. Lo cual, puede verse traducido en beneficios económicos y prácticos, en una disminución de los costos unitarios, alta productividad, entregas puntuales y rápidas, servicio de calidad, innovación en los procesos, nuevos sistemas de gestión de la cadena, alta flexibilidad con base en la capacidad colaborativa y al volumen demandado y como consecuencia un incremento de los niveles de competitividad con clara planeación logística que integre gradualmente a otros sectores.

6.1.1 Modelo Conceptual

Dentro de los Modelos que se consideraron para caracterizar y modelar un modelo integral, se tomaron como referencias los modelos de Referencia (figuras de la 85 a la 88) que se plantean a continuación:

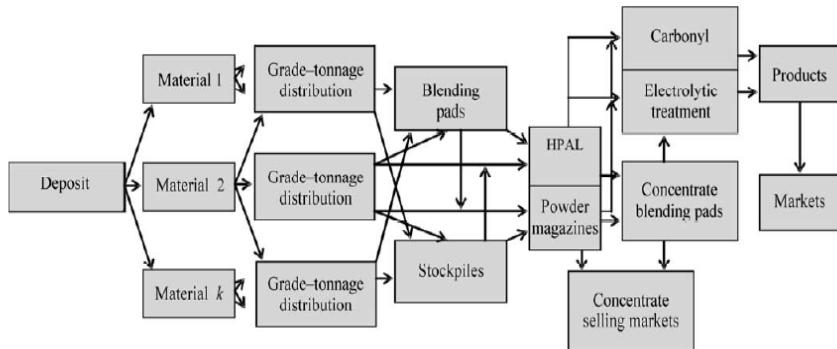


Figura 85. Modelo de referencia 1.

Fuente: Montiel y Dimitrakopoulos (2013)

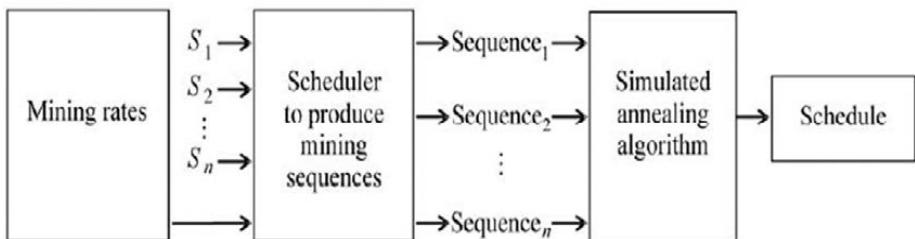


Figura 86. Modelo de referencia 2.

Fuente: Montiel y Dimitrakopoulos (2015)

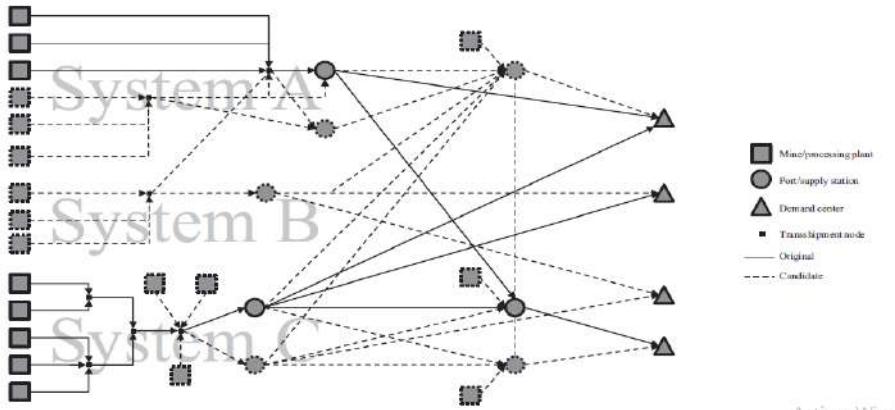


Figura 87. Modelo de referencia 3.

Fuente: Pimentel et al. (2011).

De esta forma para el Modelo conceptual de la cadena de suministro considerando aspectos de colaboración y elementos de capacidad, se definió la siguiente caracterización, así:

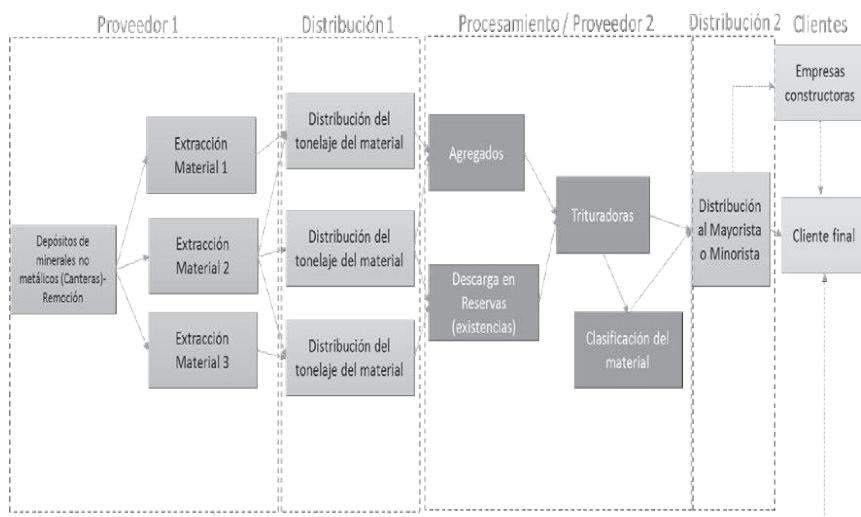


Figura 88. Modelo de conceptual de la cadena de suministro considerando aspectos de colaboración y elementos de capacidad.

Fuente: Los autores

6.1.2 Modelo Matemático

El modelo matemático planteado considera diferentes supuestos que facilitan la comprensión de su estructura, funcionamiento, validación y la interpretación de los resultados.

- Para optimizar el complejo minero, existen diferentes etapas de la cadena de suministro que intervienen simultáneamente.
- Existen múltiples escenarios que permiten modelar la incertidumbre en la cadena de suministro y realizar un análisis de sensibilidad para analizar el grado de colaboración o integración de la misma.
- Dada una función objetivo para un escenario particular, puede ser denotada por Obj . Cada escenario es equiprobabilístico

$$Obj \approx \left(\frac{1}{\#Escenarios} \times \left(\sum_{e=1}^E Obj_E \right) \right)$$

- Existen múltiples tipos de productos minerales.
- Los minerales no metálicos son explotados y extraídos desde de los yacimientos, depósitos, minas o canteras como materia prima.
- Existen múltiples depósitos o canteras desde donde se envían distintos materiales hasta las plantas de procesamiento o sitios de reserva/almacenamiento.
- Diferentes tipos de materiales se almacenan en reservas, dado que pueden tener propiedades minerales disímiles. En este sentido, se considera una reserva para cada tipo de material facilitando la operación de mezclado.
- Para cada escenario, un determinado bloque o terraza es enviado a una zona de reserva con su tipo de material. Sin embargo, para efectos del modelado el almacenamiento se considera que se realiza en $P=0$.
- Existen múltiples plantas de procesamiento.
- En cada planta de procesamiento existen distintas alternativas de operación.
- En cada planta de procesamiento el material es transformado en productos intermedios o finales, que luego se transportan al destino final.

- Existen propiedades minerales que controlan la operación de los diferentes procesos y se calculan como expresiones matemáticas o proporciones de los diferentes elementos de calidad, por ejemplo, el factor de finos de los productos que salen del proceso o el objetivo de proporción de minerales no metálicos procesados.
- Existen distintas alternativas de transporte.
- Se considera el despacho de diversos productos desde las plantas de procesamiento, luego de ser recuperados a través de múltiples alternativas de operación. Estos pueden ser comercializados en puntos de venta a través de distintos sistemas de transporte.
- Para extraer los minerales en los depósitos o canteras se trabaja por terrazas o bloques, con base en las características del terreno. En este sentido, para llegar a una terraza o bloque b, se deben excavar primero las terrazas o bloques j, que son predecesores (Pb) y es necesaria su remoción (figura 68). Para efectos del modelado se consideran bloques b y sus predecesores son subconjuntos artificiales o dummies j.
- Las relaciones entre las precedencias de los bloques es transitiva, es decir, si un bloque j es predecesor de un bloque b y si k es predecesor de un bloque j, entonces el bloque k es también predecesor del bloque b. Esta propiedad transitiva es usada para describir los predecesores inmediatos a b.

Formulación del modelo matemático.

En esta sección se presenta el modelo matemático para la optimización de la cadena de suministro de la minería de no metálicos bajo consideración de un enfoque de colaboración a través de la integración con elementos de planeación de la capacidad en un horizonte de tiempo determinado, teniendo en cuenta los supuestos mencionados y con base en Montiel y Dimitrakoupolus (2013), Lamghari y Dimitrakoupolus (2015), Dimitrakoupolus (2011). En los ítems a continuación y las 22 y 23, se muestran los conjuntos, parámetros, variables, función objetivo y restricciones del modelo.

Definición de conjuntos.

En la tabla 22 se presentan los conjuntos e índices del modelo matemático.

Tabla 22
Conjuntos e índices del modelo matemático

CONJUNTOS	
NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
<i>E</i>	Escenarios
<i>T</i>	Períodos u horizonte de planificación operativa en la cadena
<i>Alias (t,k)</i>	Períodos de planificación operativa en bloques predecesores a b
<i>C</i>	Canteras, extractores o productores de mineral no metálico
<i>B</i>	Terrazas de extracción o bloques dentro de la cantera
<i>Alias (b,j)</i>	Bloques predecesores a B
<i>P</i>	Plantas de procesamiento disponibles, donde Subconjunto P0 corresponde a reservas o sitio de almacenamiento
<i>A (P)</i>	Alternativas de operación en la planta de procesamiento P.
<i>M</i>	Productos de minerales no metálicos
<i>U</i>	Propiedades operativas de proporción de productos minerales no metálicos que quedan de una piedra amorfa de caliza
<i>S</i>	Sistemas de transporte empleados

Parámetros.

En la tabla 23 se muestran los parámetros del modelo, teniendo en cuenta los de índole económica y los operativos.

Tabla 21.
Parámetros del modelo matemático

PARÁMETROS ECONÓMICOS	
NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
<i>precio (m)</i>	Precio del producto mineral no metálico m por tonelada
<i>cc (c,e)</i>	Costos asociados a explotación de la cantera c por toneladas bajo el escenario e
<i>cp (p,a)</i>	Costos de procesamiento por toneladas en la planta de procesamiento p usando alternativa de operación a
<i>cs (e)</i>	Costos de almacenamiento o reserva de los materiales por toneladas bajo el escenario e
<i>cm (e)</i>	Costos de manejo de materiales desde reservas o lugares de almacenamiento hasta plantas de procesamiento por toneladas
<i>ct (s,e)</i>	Costos de transporte por toneladas usando el sistema de transporte s bajo el escenario e
<i>tasad (e)</i>	Tasa de descuento

PARÁMETROS OPERATIVOS	
NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
<i>ma(b,e,t)</i>	Masa del área o terraza de extracción b bajo el escenario e en el período t
<i>Re(p,a)</i>	Proporción de salida / entrada de tonelaje en la alternativa operativa a de la planta de procesamiento p . (Esto ayuda a definir lo que se merma o desperdicia)
<i>Tr (p,s)</i>	0-1 parámetro que indica si el material de salida de las plantas de procesamiento (trituradoras) p puede transportarse utilizando el sistema de transporte s
<i>prot (p,a,m)</i>	Proporción de producto no metálico m recuperado que es procesado en las plantas de procesamiento p utilizando la alternativa de operación a . (Esto lo definimos como la capacidad que tiene el proceso para generar el producto, es decir se relaciona con la condición o configuración del sistema para entregar un tipo de producto)

PARÁMETROS OPERATIVOS	
$g(b,e,m)$	Porcentaje de productos que puede quedar la roca extraída
$CAPM(c)$	Capacidades de producción en la cantera c
$CAPS(s)$	Capacidad del sistema de transporte s
$CAPP(p,a)$	Capacidad de procesamiento en la planta de procesamiento p usando alternativa a
$OP(p,a,u)$	Objetivo operativo de proporción de producto no metálico u en la planta de procesamiento p usando la alternativa operativa a
$PEU(t,c)_U$	Costo de penalización por tonelada asociado con la desviación excesiva de la producción en cantera c durante el período t
$PEL(t,c)_L$	Costo de penalización por tonelada asociado con la subdesviación de la producción en cantera c durante el período t
$PEUP(t,p,a)_U$	Costo de penalización por tonelada asociado con la desviación excesiva del procesamiento en alternativa de operación a de la planta de procesamiento p durante el período t
$PELP(t,p,a)_L$	Costo de penalización por tonelada asociado con subdesviación de la producción en alternativa de operación a de la planta de procesamiento (trituradoras) p durante el período t
$PEUK(t,p,a,u)_U$	Costo por penalización por tonelada asociado con la desviación excesiva del objetivo superior de la proporción de producto no metálico u en el período t considerando la operación alternativa a de la planta de procesamiento p
$PELK(t,p,a,u)_L$	Costo de penalización por tonelada asociado con la subdesviación del objetivo inferior de la proporción de producto no metálico u en el período t considerando la operación alternativa a de la planta de procesamiento p
$PEUS(t,s)_U$	Costo por penalización por tonelada asociado con exceder la capacidad del sistema de transporte s durante el período t

PARÁMETROS OPERATIVOS	
$PELS(t,s)_L$	Costo por penalización por tonelada asociado con el incumplimiento de la capacidad de tonelaje del sistema de transporte s durante el período t
$F_{finos}(t,b)$	Factor de finos por terrazas b en el periodo t, de acuerdo al porcentaje de las impurezas del material extraído
$Calidad$	Es un escalar que determina el porcentaje máximo de productos con impurezas que quedan luego del procesamiento en las plantas p

Variables.

En la tabla 23 se muestran las variables del modelo, teniendo en cuenta las principales, las de índole económica, las de capacidad y de calidad.

Tabla 23.
Variables del modelo matemático

NOMENCLATURA	VARIABLES PRINCIPALES
	DESCRIPCIÓN
$X(b,t,p)$	Variable binaria que indica si un área (bloque b) es minada en el periodo t y se envía a la planta de procesamiento p
$Y(t,p,a)$	Variable binaria que indica si se implementa o no una alternativa de procesamiento a en la planta de procesamiento p en el periodo t
$Z(t,p,s)$	Variable continua que representa la proporción del tonelaje de salida de la planta de procesamiento p que se transportará por el sistema de transporte s en el período t
VARIABLES EN LA FUNCIÓN OBJETIVO	
w	Utilidades netas de la operación en la cadena de suministro minera de no metálicos
$benefdesc(e,t)$	Beneficio por descuento en el periodo t bajo el escenario e
$penalidad(e,t)$	Término de penalización de la función objetivo en el periodo t bajo el escenario e

VARIABLES ECONÓMICAS Y DE CAPACIDAD	
NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
<i>ingresos(e,t)</i>	Ingresos por ventas del mineral no metálico en el período t bajo el escenario e
<i>costocant (e,t)</i>	Costos de la explotación minera en las canteras en el período t bajo escenario e
<i>costproc(e,t)</i>	Costos de procesamiento de los minerales no metálicos en el período t bajo escenario e
<i>costalm(e,t)</i>	Costos de almacenamiento de los minerales no metálicos en el período t bajo el escenario e
<i>costmat(e,t)</i>	Costo de envío del material desde las reservas o sitios de almacenamiento hacia las plantas de procesamiento disponibles en el período t bajo el escenario e
<i>costrans(e,t)</i>	Costos de transporte de los productos minerales distribuidos hacia comercializadoras o puntos de venta en el período t bajo el escenario e
<i>penalcant(e,t)</i>	Penalizaciones por las desviaciones de las capacidades de producción de las canteras en el período t bajo el escenario e (Unidad monetaria)
<i>penalproce(e,t)</i>	Penalizaciones por las desviaciones de las capacidades de procesamiento mediante alternativas de operación en el período t bajo el escenario e (Unidad monetaria)
<i>penalprod(e,t)</i>	Penalizaciones por las desviaciones de las propiedades operacionales de los minerales en el período t en el escenario e (Unidad monetaria)
<i>penaltrans(e,t)</i>	Penalizaciones por las desviaciones de la capacidades de los sistemas de transporte en el período t bajo el escenario e (Unidad monetaria)
<i>producant(e,t)</i>	Toneladas extraídas en las canteras en el período t bajo el escenario e
<i>tonenv(e,t,p)</i>	Toneladas enviadas desde las canteras hasta las plantas de procesamiento p en el período t bajo el escenario e
<i>tonexist(e,t)</i>	Toneladas almacenadas en las reservas en el período t bajo el escenario e

$tonrespla(e,t,p)$	Toneladas enviadas desde las reservas o sitios de almacenamiento a las plantas de procesamiento p en el período t bajo el escenario e
$tonproces(e,t,p)$	Toneladas de minerales procesados en la planta de procesamiento p en el período t bajo el escenario e
$matecant(e,t,p,m)$	Cantidad de mineral no metálico por tipo m enviado desde las canteras hasta las plantas de procesamiento p en el período t bajo escenario e y el tipo de material m
$materespla(e,t,p,m)$	Cantidad de mineral no metálico por tipo m enviado desde las reservas hasta las plantas de procesamiento p en el período t bajo el escenario e y el tipo de material m
$matexist(e,t,m)$	Productos minerales no metálicos m en almacenamiento en el período t bajo el escenario e
$matproce(e,t,p,m)$	Productos minerales no metálicos m en proceso en la planta p en el período t bajo el escenario e.
$produdest(e,t,p)$	Toneladas que salen (outputs) del procesamiento de los minerales no metálicos de la planta de procesamiento p en el período t bajo el escenario e
$produtrans(e,t,s)$	Toneladas transportadas de productos minerales no metálicos utilizando el sistema de transporte s en el período t bajo el escenario e
$recmat(e,t,m)$	Cantidad de mineral no metálico m que se recupera mediante distintas alternativas operativas en el período t bajo el escenario e

VARIABLES DE DESVIACIÓN

$VU(e,t,c)_U$	Toneladas que exceden la capacidad asociada con la cantera c en el período t bajo el escenario e
$VL(e,t,c)_L$	Cantidad de toneladas faltantes en la cantera c durante el período t bajo el escenario e con respecto a su capacidad asociada
$VUA(e,t,p,a)_U$	Toneladas que exceden la capacidad asociada con la alternativa de operación a en la planta de procesamiento p en el período t considerando el escenario e

$VLA(e,t,p,a)_L$	Cantidad de toneladas faltantes para la planta de procesamiento p en el período t bajo el escenario e considerando la alternativa de operación a y su capacidad asociada
$VUP(e,t,p,a,u)_U$	Cantidad de toneladas por encima del objetivo operativo con respecto a la proporción de mineral no metálico recuperado u en la alternativa de operación a de la planta de procesamiento p en el período t bajo el escenario e
$VLP(e,t,p,a,u)_L$	Cantidad de toneladas por debajo del objetivo operativo con respecto a la proporción de mineral no metálico recuperado u en la alternativa de operación a de la planta de procesamiento p en el período t bajo el escenario e
$VUS(e,t,s)_U$	Toneladas que exceden la capacidad asociada con el sistema de transporte s en el período t considerando el escenario e
$VLS(e,t,s)_L$	Cantidad de toneladas faltantes con respecto a la capacidad asociada con el sistema de transporte s en el período t bajo el escenario e

Función objetivo

La función objetivo viene dada por la ecuación (1) y busca maximizar las utilidades descontadas y minimizar las desviaciones de los objetivos a lo largo de todos los períodos y escenarios (derivados del tipo de colaboración). El primer término de la función objetivo tiene en cuenta los beneficios descontados al evaluar los ingresos obtenidos por la venta de los diferentes productos y los costos asociados a las diferentes actividades del complejo minero. El segundo término, representa las desviaciones con respecto a los objetivos de producción, el procesamiento, transporte y mezclado y puede considerarse como un costo de penalización incurrido al no cumplir con los objetivos.

El valor de la penalización (s, t) depende de las desviaciones de los propios objetivos y la magnitud de los costos de penalización por unidad asociados. Si los costos de penalización por unidad son demasiado altos, el método mejorará la reproducción de los objetivos ignorando el primer término de la función objetivo, generando una pobre mejora del VPN

(Valor presente neto) esperado. Por el contrario, los costos de penalización por unidad demasiado pequeños generarán soluciones con pronósticos de VPN grandes.

Maximizar

$$W = \sum_{t=1}^T \left(\frac{1}{\#Escenarios} \left(\sum_{e=1}^E benefdesc(e, t) - penalidad(e, t) \right) \right) \quad (1)$$

Sujeto a:

Restricciones (2) – (35)

Restricciones.

El modelo matemático está sujeto a las siguientes restricciones:

La cantidad de toneladas minadas en un período t bajo el escenario e:

$$producant(e, t) = \sum_{b=1}^B \sum_{p=0}^P X(b, t, p) \cdot ma(b, e, t) \quad \forall (e, t) \quad (2)$$

Las toneladas enviadas desde las canteras c a alguna planta de procesamiento p o reservas “P0”:

$$tonenv(e, t, p) = \sum_{b=1}^B X(b, t, p) \cdot ma(b, e, t) \quad \forall (e, t, p) \quad (3)$$

Toneladas en las reservas o sitios de almacenamiento en el período t bajo el escenario e (Balance de flujos de materiales):

$$\begin{aligned} tonexist(e, t) &= tonexist(e, t - 1) \\ &- \sum_{p=1}^P tonrespla(e, t, p) + tonenv(e, t, 'P0') \quad \forall (e, t) \end{aligned} \quad (4)$$

Toneladas de mineral no metálico procesadas en una planta p durante el período t bajo escenario e:

$$tonproces(e, t, p) = tonenv(e, t, p) + tonrespla(e, t, p) \quad \forall (e, t, p > P0) \quad (5)$$

Toneladas de mineral no metálico enviadas desde zonas de reserva no pueden ser mayores que las cantidades disponibles en almacenamiento:

$$\sum_{p=1}^P tonrespla(e, t, p) \leq tonexist(e, t - 1) \forall (e, t) \quad (6)$$

Cantidad de mineral no metálico m por tipo enviado desde las canteras c a alguna planta de procesamiento p:

$$matecant(e, t, p, m) = \sum_{b=1}^B (X(b, t, p) \cdot ma(b, e, t) \cdot g(b, e, m)) \forall (e, t, p, m) \quad (7)$$

Cantidad de mineral no metálico m por tipo en sitios de almacenamiento o reservas:

$$\begin{aligned} matexist(e, t, m) &= matexist(e, t - 1, m) \\ &- \sum_{p=1}^P materespla(e, t, p, m) + matecant(e, t, P0, m) \forall (e, t, m) \end{aligned} \quad (8)$$

Cantidad de mineral no metálico m por tipo procesado en plantas de procesamiento p:

$$\begin{aligned} matproce(e, t, p, m) &= matecant(e, t, p, m) \\ &+ materespla(e, t, p, m) \forall (e, t, p > P0, m) \end{aligned} \quad (9)$$

Toneladas de mineral no metálicos m por tipo, enviados desde zonas de reserva no pueden ser mayores que las cantidades disponibles en almacenamiento:

$$\sum_{p=1}^P materespla(e, t, p, m) \leq matexist(e, t - 1, m) \forall (e, t, m) \quad (10)$$

La cantidad de toneladas que salen (outputs) desde las plantas de procesamiento p en un período t bajo el escenario e:

$$\begin{aligned} produdest(e, t, p) &= \sum_{a=1}^{A(p)} (tonproces(e, t, p) \cdot Y(t, p, a) \cdot Re(p, a)) \forall (e, t, p > P0) \end{aligned} \quad (11)$$

Las toneladas transportadas por el sistema s en un período t bajo el escenario e:

$$produtrans(e, t, s) = \sum_{p=1}^P (produdest(e, t, p) \cdot Z(t, p, s)) \forall (e, t, s) \quad (12)$$

La cantidad de mineral m por tipo que es recuperado en las plantas de procesamiento en el período t bajo el escenario e:

$$recmat(e, t, m) = \sum_{p=1}^P \sum_{a=1}^{A(p)} (matproce(e, t, p, m) \cdot prot(p, a, m)) \forall (e, t, m) \quad (13)$$

Los ingresos asociados a la venta de productos obtenidos en la cadena de suministro minera de no metálicos:

$$ingresos(e, t) = \sum_{m=1}^M (recmat(e, t, m) \cdot precio(m)) \forall (e, t) \quad (14)$$

Costos asociados a la explotación o extracción en las canteras la cadena de suministro minera de no metálicos:

$$costocant(e, t) = produmin(e, t) \cdot cc(c, e) \forall (e, t, c) \quad (15)$$

Costos asociados al procesamiento en la cadena de suministro minera de no metálicos:

$$costproc(e, t) = \sum_{p=1}^P \sum_{a=1}^{A(p)} (tonproces(e, t, p) \cdot cp(p, a) \cdot Y(t, p, a)) \forall (e, t) \quad (16)$$

Costos asociados al almacenamiento de minerales no metálicos en la cadena de suministro minera:

$$costalm(e, t) = tonexist(e, t) \cdot cs(e) \forall (e, t) \quad (17)$$

Costos asociados al manejo de materiales en proceso desde la cadena de suministro minera de no metálicos:

$$costmat(e, t) = \left(\sum_{p=1}^P tonrespla(e, t, p) \right) \cdot cm(e) \forall (e, t) \quad (18)$$

Costos asociados al transporte de productos en la cadena de suministro minera de no metálicos:

$$costrans(e, t) = \sum_{s=1}^S (prodtrans(e, t, s) \cdot ct(s, e)) \quad \forall (e, t) \quad (19)$$

Desviaciones con respecto a la capacidad de producción de la cantera c:

$$\begin{aligned} & \sum_{b=1}^B \sum_{p=0}^P X(b, t, p) \cdot ma(b, e, t) + VU(e, t, c)_U - VL(e, t, c)_L \\ & = CAPM(c) \quad \forall (c, t, e) \end{aligned} \quad (20)$$

Desviaciones con respecto a la capacidad de transporte en el sistema s:

$$prodtrans(e, t, s) + VUS(e, t, s)_U - VLS(e, t, s)_L = CAPS(s) \quad \forall (s, t, e) \quad (21)$$

Desviaciones con respecto a la capacidad de procesamiento en la planta p mediante alternativa a:

$$tonproces(e, t, p) + VUA(e, t, p, a)_U + VLA(e, t, p, a)_L = CAPP(p, a) \quad \forall (p > P0, a, t, e) \quad (22)$$

Desviaciones con respecto al objetivo operativo de proporción de producto no metálico u en la planta de procesamiento p usando la alternativa operativa a:

$$matproce(e, t, p, m) + VUP(e, t, p, a, u)_U - VLP(e, t, p, a, u)_L = OP(p, a, u) \quad \forall (p > P0, a, t, e, m) \quad (23)$$

Penalidades asociadas a las canteras c (costos):

$$\begin{aligned} & penalcant(e, t) \\ & = \sum_{c=1}^C (PEU(t, c)_U \cdot VU(e, t, c)_U + PEL(t, c)_L \\ & \cdot VL(e, t, c)_L) \quad \forall (e, t) \end{aligned} \quad (24)$$

Penalidades asociadas al sistema de transporte s (costos):

$$\begin{aligned} & penaltrans(e, t) \\ & = \sum_{s=1}^S (PEUS(t, s)_U \cdot VUS(e, t, s)_U + PELS(t, s)_L \\ & \cdot VLS(e, t, s)_L) \quad \forall (e, t) \end{aligned} \quad (25)$$

Penalidades asociadas a las plantas de procesamiento p (costos):

$penalproce(e, t)$

$$= \sum_{p=1}^P \sum_{a=1}^{A(p)} ((PEUP(t, p, a)_U \cdot VUA(e, t, p, a)_U + PELP(t, p, a)_L \\ \cdot VLA(e, t, p, a)_L) \forall (e, t) \quad (26)$$

Penalidades con respecto al objetivo operativo de recuperación de materiales no metálicos u, mediante alternativa de operación a (costos):

$penalprod(e, t)$

$$= \sum_{p=1}^P \sum_{a=1}^{A(p)} \sum_{u=1}^U (PEUK(t, p, a, u)_U \cdot VUP(e, t, p, a, u)_U \\ + PELK(t, p, a, u)_L \cdot VLP(e, t, p, a, u)_L) \forall (e, t) \quad (27)$$

Una terraza (bloque b) no se mina hasta que se haya explotado otra en el período t (Un bloque es minado antes de ser almacenado):

$$\sum_{p=0}^P X(b, t, p) - \sum_{k=1}^t \sum_{p=0}^P X_{jkp} \leq 0 \forall (b, t, j) \quad (28)$$

Asegura que un área de extracción o terraza es minada sólo una vez en todos los períodos t (Minado 100%):

$$\sum_{t=1}^T \sum_{p=0}^P X(b, t, p) = 1 \forall (b) \quad (29)$$

Una alternativa operativa a es seleccionada en una planta de procesamiento p en un período t:

$$\sum_{a=1}^{A(p)} Y(t, p, a) = 1 \forall (t, p > P0) \quad (30)$$

Todo el material que sale en una planta de procesamiento p es transportado:

$$Z(t, p, s) \leq Tr(p, s) \forall (t, p > P0, s) \quad (31)$$

Se respetan las relaciones viables entre el sistema de transporte s que será usado y las capacidades requeridas en los procesos:

$$\sum_{s=1}^S Z(t, p, s) = 1 \forall (t, p > P0) \quad (32)$$

Calidad de los productos recuperados m en cada planta de procesamiento:

$$\begin{aligned} \sum_{t=1}^T (recmat(e, t, m) * FFinos(t, b) * X(b, t, p)) \\ \leq calidad \cdot \sum_{t=1}^T recmat(e, t, m) \quad \forall (e, b, m, p) \quad (33) \end{aligned}$$

El beneficio neto con base en la diferencia entre los ingresos y costos asociados a la actividad minera:

$$benefdesc(e, t) = \frac{(ingresos(e, t) - costomina(e, t) - costproc(e, t) - costalm(e, t) - costmat(e, t) - costrans(e, t))}{(1 + tasad(e))^t} \quad (34)$$

Cálculo de las penalidades por períodos t bajo el escenario e:
 $penalidad(e, t)$

$$\begin{aligned} &= penalcant(e, t) + penaltrans(e, t) + penalproce(e, t) \\ &+ penalprod(e, t) \quad (35) \end{aligned}$$

Condición de no negatividad para:

$Z, ingresos, costocant, costproc, costalm, costmat, costrans, penalcant, penalproce, penalprod, penaltrans, producant, tonenv, tonexist, tonrespla, tonproces, matecant, materespla, matexist, matproce, produest, produtrans, recmat, VU, VL, VUA, VLA, VUP, VLP, VUS, VLS \geq 0$

Variables binarias: $X(b, t, p), Y(t, p, a) \in [0,1]$

Variable continua (proporción): $Z \leq 1$

6.2 Modelo Matemático Multiobjetivo para la Planeación Colaborativa de la Cadena de Suministro de los Materiales para la Construcción.

El problema de planificación colaborativa de los materiales para la construcción a través de un modelo multiobjetivo, considerando incertidumbre y ruidos, que permita maximizar los procesos a lo largo de

la cadena y los beneficios a todos los miembros: proveedores, fabricantes, distribuidores y detallistas

6.2.1 Definición del Problema

El Modelo planteado buscó identificar elementos de colaboración sobre la cadena de suministros de materiales de construcción del sector arcilla para el departamento de Sucre. Los actores involucrados dentro del modelo multiobjetivo son proveedores, canteras de extracción, procesamiento y almacenamiento, Canales de distribución, detallistas y consumidor final.

- **Proveedores:** Para este caso es el encargado de suministrar la materia prima como es esencialmente la arcilla, la cual se extrae de las canteras ubicadas cerca del sitio de producción de la empresa Cerámicas.
- **Fabricante:** Empresa dedicada a la fabricación de bloques de arcilla o cemento, a la fabricación del sementó y demás materiales destinados a la construcción, la empresa Cerámicas, es también un actor fabricante dentro de la SCM, ya que es fabricante de ladrillos de arcilla.
- **Distribuidor:** Empresas mayoristas que compran al por mayor a los fabricantes para facilitar la distribución de los productos, la empresa Cerámicas forma parte de este eslabón dentro de la cadena de suministro ya que distribuye a los mayoristas y a su vez a los detallistas sus productos.
- **Detallista:** Son aquellos minoristas que llevan el producto al consumidor final, dentro de esto existen a nivel regional y muchas empresas que se dedican a esta labor que venden sus productos a las constructoras, la empresa Cerámicas, también ejerce este papel dentro de la SCM, tiene un gran número de empresas constructoras que se surten directamente de esta empresa.
- **Cliente o Consumidor:** las diferentes empresas constructoras o particulares, maestros de obras y demás personas que se sirven de los diversos materiales para la realización de sus obras ya sean pequeñas o grandes obras de ingeniería civil.

6.2.2 Parámetros del Modelo

Para el planteamiento del modelo se tomaron los siguientes parámetros de entrada: datos de fabricación, datos de transporte, datos de Inventario y datos de costos.

6.2.3 Supuestos

- Proveedores de materia prima
- Existen muchos proveedores
- Servicio de 8 Horas de lunes a sábado
- Productos defectuosos ($0 < \alpha < 1$) suministrados por el proveedor
- Capacidad de almacenamiento
- Cantidad a compra y entrega de cada materia prima por proveedor a la planta
- Stock de inventario de materia prima en la planta productora
- Producción

Existen muchos productores

Servicio de 8 Horas de lunes a sábado

β Productos defectuosos ($0 < \beta < 1$) suministrados

Capacidad de almacenamiento durante el periodo

Cantidad a producir en la planta durante el periodo

Stock de producto terminado en la planta productora

- Distribución

Existen muchos productores

Servicio de 8 Horas de lunes a sábado

Capacidad de envío de cada Productor a cada distribuidor durante el periodo

Stock de inventario de cada producto por Distribuidor durante el periodo

- Clientes

Existen muchos Clientes

Servicio de 8 Horas de lunes a sábado

Capacidad de envío de cada Productor a cada cliente durante el periodo

Stock de inventario de cada producto por Cliente durante el periodo

- Outputs del modelo

Plan de despacho de productos (materia prima o producto terminado) en cada etapa de la cadena de suministros. Plan de compra (materia prima o producto terminado) en cada etapa de la cadena de suministros. Plan de Producción. Plan de Ventas. Stock de inventarios. Estudio de costos.

- Nomenclatura de índices del modelo.

Tabla 29.

Nomenclatura Índice de Modelo de Colaboración para la Minería.

Periodo Actual	T
Periodo Anterior	T-1
Materia Prima	M
Productor	P
Fabricante	F
Distribuidor	D
Producto	L
Esperado	E

Tabla 30.

Ingresos y Costos de Modelo de Colaboración para la Minería.

Utilidad del proveedor durante el Periodo (T)	UP _T
Ventas total de materia prima durante el periodo (T)	VT _{MT}
Costos directos de producción de materia prima durante el periodo (T)	CDP _{MT}
Costo del trasporte de la materia prima a la planta del proveedor durante el Periodo (T)	CTM _T
Gastos Fijos del proveedor el periodo (T)	GF _{PT}
Costos de ventas de materia prima durante el periodo (T)	CV _{MT}
Costos de envío de materia prima, del proveedor al fabricante (F), durante el periodo (T)	CE _{MFT}
Costos de almacenamiento de materia prima durante el periodo (T)	CA _{MT}
Capacidad total de almacenamiento de materia prima por parte del productor	AT _{PM}
Capacidad total de almacenamiento de producto (L) por el fabricante (F)	AT _{FL}
Capacidad total de almacenamiento de producto (L) por el Distribuidor (D)	AT _{DL}
Utilidad total del fabricante durante el periodo (T)	UF _T
Ventas total de Producto (L) durante el periodo (T), del fabricante (F)	VT _{FLT}
Costos directos de producción del producto (L), del fabricante (F) durante el periodo (T)	CDP _{FLT}
Gastos fijos del fabricante (F) durante el periodo (T)	GF _{FL}
Costos de ventas del producto (L), del fabricante (F) durante el periodo (T)	CVP _{FLT}
Costos de ventas del producto (L), del fabricante (F) durante el periodo (T)	CV _{FLT}
Costos de envío del producto (L), del fabricante (F) al Distribuidor (D), durante el periodo (T)	CEP _{FLDT}
Costos de almacenamiento del producto (L), del fabricante (F) durante el periodo (T)	CA _{FLT}
Utilidad total del Distribuidor durante el periodo (T)	UD _T

Ventas total de Producto (L) durante el periodo (T), del Distribuidor (D)	VT_{DLT}
Gastos fijos del Distribuidor (D) durante el periodo (T)	GF_{DT}
Costos de ventas del producto (L), del Distribuidor (D) durante el periodo (T)	CV_{DLT}
Costos de almacenamiento del producto (L), del Distribuidor (D) durante el periodo (T)	CA_{FLT}
Unidades totales de materia prima requerida por el fabricante durante el periodo (T)	UT_{MFT}
Precio de venta de la materia prima durante el periodo (T)	PV_{MT}
Unidades Producidas de materia prima durante el periodo (T)	UP_{MT}
Costo de producción por unidad de materia prima durante el periodo (T)	CU_{MT}
Total materia prima en m^3 requerida durante el Periodo (T)	TM_T
Materia prima requerida para fabricar una unidad del producto (L)	M_L
Total Unidades requeridas del producto (L)	TUR_L
Total Unidades requeridas del producto (L) por el distribuidor (D)	UR_{LD}
Proyección de ventas del producto (L) por el distribuidor (D)	PV_{LD}
Costo total de transporte de materia prima requerida durante el Periodo (T)	CTM_T
Unidades de materia prima en m^3 que se pueden transportar en una hora	UMH
Valor del transporte de materia prima por Hora.	VH
Unidades Vendidas de materia prima durante el periodo (T)	UV_{MT}
Costo de Ventas por unidad de materia prima durante el periodo (T)	CVU_{MT}
Unidades de materia prima enviadas al fabricante ((F) durante el periodo (T)	UE_{FMT}
Costo unitario de envío de materia prima al fabricante (F) durante el periodo (T)	CUE_{FMT}
Inventario inicial de materia prima con que se abre el periodo (T)	II_{MT}

Inventario Final de materia prima con que se abre el periodo (T)	IF_{MT}
Costo unitario de Almacenamiento de materia prima durante el periodo (T)	CUA_{FMT}
Unidades totales de Producto (L) requerido por el Distribuidor (D) al fabricante (F) durante el periodo (T)	UT_{LDT}
Precio de venta del producto (L), dado por el fabricante (F) durante el periodo (T)	PV_{FLT}
Unidades Producidas del producto (L) durante el periodo (T)	UP_{LT}
Costo de producción por unidad del producto (L) durante el periodo (T)	CU_{LT}
Unidades Vendidas del producto (L) por el fabricante (F), durante el periodo (T)	UV_{FLT}
Costo de Ventas por unidad de producto (L) por el fabricante (F) durante el periodo (T)	CVU_{FLT}
Unidades de producto (L) enviado del fabricante ((F) al distribuidor (D) durante el periodo (T)	UE_{FDLT}
Costo unitario de envío de producto (L) enviado del fabricante ((F) al distribuidor (D) durante el periodo (T)	CUE_{FDLT}
Inventario inicial de producto (L), que posee el fabricante (F) con que se abre el periodo (T)	II_{FLT}
Inventario Final de producto (L), que posee el fabricante (F) con que se abre el periodo (T)	IF_{FLT}
Costo unitario de Almacenamiento de producto (L) que genera el fabricante (F) durante el periodo (T)	CUA_{FLT}
Unidades totales Vendidas del Producto (L) por el Distribuidor (D) durante el periodo (T)	UV_{DLT}
Precio de venta del producto (L) dado por el distribuidor (D) durante el periodo (T)	PV_{DLT}
Unidades Vendidas del producto (L) por el Distribuidor (D), durante el periodo (T)	UV_{DLT}
Costo de Ventas por unidad de producto (L) por el distribuidor (D) durante el periodo (T)	CVU_{DLT}
Inventario inicial de producto (L), que posee el distribuidor (D) con que se abre el periodo (T)	II_{DLT}

Inventario Final de producto (L), que posee el distribuidor (D) con que se abre el periodo (T)	IF_{DLT}
Costo unitario de Almacenamiento de producto (L) que genera el Distribuidor (D) durante el periodo (T)	CUA_{DLT}
Capacidad total de almacenamiento del proveedor durante el periodo (T)	CTA_{PT}
Capacidad total de almacenamiento del Fabricante (F) durante el periodo (T)	CTA_{FT}
Capacidad total de almacenamiento del Distribuidor(D) durante el periodo (T)	CTA_{DT}

6.2.4 Formulación del Modelo Matemático Multiobjetivo para la Planeación Colaborativa de la Cadena de Suministro los Materiales para la Construcción.

- Función Objetivo

Maximizar la utilidad

$$UT_T = \sum_P UP_T + \sum_F UF_T + \sum_D UD_T \quad (36)$$

La función objetivo es la suma de todas las utilidades de cada uno de los eslabones de la cadena de distribución como: utilidad del proveedor + utilidad del fabricante + utilidad del distribuidor + los beneficios del cliente

- Función de Utilidad de cada eslabón

$$UP_T = \sum_T (VT_{MT} - CDP_{MT} - CTM_T - GF_{PT} - CV_{MT} - CE_{FMT} - CA_{MT}) \quad (37)$$

$$UF_T = \sum_T (VT_{FLT} - CDP_{FLT} - GF_{FLT} - CV_{FLT} - CE_{FDLT} - CA_{FLT}) \forall F \quad (38)$$

$$UD_T = \sum_T (VT_{DLT} - CV_{DLT} - GF_{DT} - CA_{DLT}) \forall D \quad (39)$$

- Costos e ingresos Proveedor

$$VT_{MT} = \sum (UT_{MFT}) \forall F * PV_{MT} \quad (40)$$

$$CDP_{MT} = UP_{MT} * CU_{MT} \quad (41)$$

- Materia prima requerida y gastos de la misma

$$TM_T = \sum (M_L * TUR_L) \forall L \quad (42)$$

$$TUR_L = \sum UR_{I,D} \forall D \quad (43)$$

$$UR_{LD} = PV_{LD} \text{ (44)}$$

$$CTM_T = \frac{TM_T}{UMH} * VH \text{ (45)}$$

- Unidades de materia prima vendidas, costo de ventas y de envío

$$CV_{MT} = UV_{MT} * CVU_{MT} \text{ (46)}$$

$$UV_{MT} = \sum(UE_{FMT}) \forall F \text{ (47)}$$

$$CE_{FMT} = UE_{FMT} * CUE_{FMT} \text{ (48)}$$

- Inventario final y costos de almacenamiento

$$CA_{MT} = IF_{MT} * CUA_{MT} \text{ (49)}$$

$$II_{MT} = IF_{M(T-1)} \text{ (50)}$$

$$IF_{MT} = II_{MT} + UP_{MT} - UV_{MT} \text{ (51)}$$

- Costos e ingresos fabricante

$$VT_{FLT} = \sum((UT_{FLDT}) \forall D * (PV_{FLT}) \forall F, D, L) \text{ (52)}$$

- Costos de producción

$$CDP_{FLT} = UP_{LT} * CU_{LT} \text{ (53)}$$

- Unidades vendidas Costos de ventas y de envío

$$CV_{FLT} = \sum(UV_{FLT} * CVU_{FLT}) \forall F, L \text{ (54)}$$

$$UV_{FLT} = \sum(UE_{FDLT}) \forall F, D, L \text{ (55)}$$

$$CE_{FLT} = \sum(UE_{FDLT} * CUE_{FDLT}) \forall F, L, D \text{ (56)}$$

- Inventario final y costo de almacenamiento

$$CA_{FLT} = \sum(IF_{FLT} * CUA_{FLT}) \forall F, L \text{ (57)}$$

$$II_{FLT} = IF_{FL(T-1)} \text{ (58)}$$

$$IF_{FLT} = II_{FLT} + UP_{FLT} - UV_{LT} \text{ (59)}$$

- Costos e ingresos distribuidor

$$VT_{DLT} = \sum((UV_{LDT}) \forall D * (PV_{LDT}) \forall L, D) \text{ (60)}$$

- Unidades vendidas proyección de ventas y costos de ventas

$$CV_{DLT} = \sum(UV_{DLT} * CVU_{DLT}) \forall D, L \text{ (61)}$$

- Inventario final y costos de almacenamiento

$$CA_{DLT} = \sum(IF_{DLT} * CUA_{DLT}) \forall D, L \quad (62)$$

$$II_{DLT} = IF_{DL(T-1)} \quad (63)$$

$$IF_{DLT} = II_{DLT} + UE_{FDLT} - UV_{DLT} \quad (64)$$

- Restricciones Adicionales

$$II_{MT} + UP_{MT} \geq UE_{FMT} \quad (65)$$

$$II_{FLT} + UP_{FLT} \geq UV_{FLT} \quad (66)$$

$$II_{DLT} + UE_{FDLT} \geq PV_{LD} \quad (67)$$

El stock de inventario debe ser igual o superior a la demanda o los requerimientos del siguiente eslabón de la cadena de suministros, esto para satisfacer todas las demandas.

$$IF_{MT} \leq CTA_{PT} \quad (68)$$

$$IF_{FLT} \leq CTA_{FT} \quad (69)$$

$$IF_{DLT} \leq CTA_{DT} \quad (70)$$

El inventario final de cada elemento de los eslabones no debe superar la capacidad de almacenamiento del mismo.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Introducción

A lo largo de los años las empresas han venido adoptando medidas que las ayudan a estar encaminadas a los cambios según el medio en el cual se desenvuelven para tener mayor competitividad, es por eso, que hoy en día se están enfocando en mejorar las relaciones con los clientes y proveedores, logrando eficiencias en los procesos de producción, reducción de costos y competencia con éxito en una variedad de entornos empresariales. Con el fin de mejorar la competitividad las empresas comenzaron a darse cuenta del potencial de la tecnología de la información para transformar su negocio.

Una cadena de suministro incluye todas las etapas implicadas, directa o indirectamente, en cumplimiento de una petición del cliente. Incluye fabricantes, transportistas, almacenes, minorista, proveedor externo de logística y atención al cliente.

El objetivo de la gestión de la cadena de suministro es maximizar el valor total generado en lugar de los beneficios generados en la cadena de suministro en particular. La gestión de la cadena de suministro abarca la planificación y gestión de todas las actividades involucradas en el suministro y la adquisición, conversión y gestión de todas las actividades de logística. Importante destacar que también incluye la coordinación, colaboración e integración con los socios de canal, que pueden ser proveedores, intermediarios, proveedores de servicios subcontratados y clientes.

Ahora bien, la colaboración en la cadena de suministros en el sector minero es de suma importancia y demarca la línea de partida para determinar el proceso de la planificación y por ende la obtención de los resultados esperados; pero para ello se demanda responsabilidad de coordinación, de gestión, de integración de dirección.

Partiendo de lo anterior, es necesario que toda empresa cuente con una excelente estructura humana y sistemática para que los procesos y actividades generen productos con calidad y se mantenga en competencia, para ello es imprescindible que se implementen medidas que ayuden a mejorar su eficiencia empresarial y calidad en el servicio, todas las tareas tienen que desarrollarse de manera eficaz desde el principio de la extracción del material hasta que llega al cliente final, por lo que en este proyecto se planteó el diseño para gestionar, caracterizar y modelar la planeación colaborativa en la cadena de suministro de los materiales

para la construcción que consideren distintos elementos, los cuales fueron plasmados en la solución en el sector de agregados de piedra caliza y arcilla del departamento de Sucre, denotando que la eficiencia sistemática para el avance en las empresas es indispensable para determinar el camino que recorrerán a lo largo de su existencia, ya que si una empresa no implementa nuevas tendencias o se adapta a los cambios del entorno para mejorar, lo más probable es que se estanke y de ser posible quede extinta; porque a medida que pasa el tiempo se tornará ineficiente indistintamente del sector que abarque.

El departamento de Sucre presenta un amplio crecimiento en el sector de la construcción que evidencia la aparición de nuevos actores locales, los cuales han crecido a grandes ritmos y generan nuevos emprendimientos en la fabricación de materiales de construcción, pero los costos logísticos relacionados no son los deseados en términos de gestionar adecuadamente las cadenas productivas mineras, bajando así su competitividad. Es por esto, que se justifica que este sector requiere el desarrollo de modelos de trabajo asociado para la explotación y procesamiento eficiente de estos materiales para la construcción por parte de pequeños y medianos productores, mediante el diseño de un modelo de planeación colaborativa en la cadena de suministro de materiales para la construcción que permita maximizar el promedio de productos despachados a los clientes y así mismo la minimización de los costos totales en la cadena de suministro, generando así una alternativa de asociatividad y sostenibilidad en el mercado a los productores, que les permitan posesionarse.

7.2 Oportunidades y Potencial Minero en el Departamento de Sucre

El departamento de Sucre cuenta con el distrito minero Calamarí – Sucre, el cual es una zona especial para la exploración de materiales para la construcción, esta formación de manera general se caracteriza de una sucesión de carbonatos con un conglomerado cuarzoso hacia la base, con intercalaciones de areniscas hacia la parte media y baja. Las secciones más completas se encuentran en el arroyo Chalán y en alrededores de Varsovia, así como en cerro Mena (Bracamonte, Vertel, & Cepeda, 2013).

Este distrito se designó debido a las características y encadenamiento productivo minero que podría generar y afectar en el desarrollo y su

influencia de manera directa e indirecta en aspectos sociales, económicos y ambientales en el departamento.

Un alto porcentaje de las construcciones en el departamento de Sucre, especialmente Sincelejo y municipios cercanos de Córdoba, Bolívar utilizan estos agregados para la construcción o elaboración de concretos. Los materiales de construcción son aquellos que se usan en las obras arquitectónicas o de ingeniería, sin importar su naturaleza. Estos se pueden clasificar, de acuerdo a diferentes criterios, siendo los más habituales su origen, su uso y su función en la obra (Díaz & Ramírez, 2011).

El crecimiento del sector está ligado directamente a la demanda de materiales de construcción, la evaluación realizada por la UPME, referente a la situación actual y futura del mercado de los materiales de construcción y arcillas en algunas de las principales ciudades de Colombia, como Bogotá, Medellín, Barranquilla, Bucaramanga, Pereira, Manizales, Santa Marta y Armenia, presenta que la demanda ascendió a 31.383.000 toneladas en 2013, representando un consumo por habitante de 1.95 toneladas al año (Unidad de Planeación Minero Energética, 2014). Igualmente, en 2015 la demanda de materiales de construcción para 24 ciudades del país fue de 49.2 millones de toneladas. La distribución por segmento de consumo se hace de la siguiente manera: obras civiles, 19 %; edificaciones, 14 %; cadena de distribución, 61 %; e industria, 6 %. La proyección de la demanda de materiales de construcción muestra que para el 2023 las ciudades antes mencionadas alcanzarán cerca de 46 millones de toneladas. Lo anterior, representa un crecimiento del 48 % con respecto a 2013 y un consumo per cápita aproximado a las 2,56 toneladas (Ministerio de Minas y Energía, 2016).

Los agregados finos empleados en las construcciones corresponden principalmente a depósitos aluviales de los arroyos, los cuales principalmente están ubicados en el municipio de Ovejas. En el distrito se podría producir diariamente aproximadamente 2800 metros cúbicos de agregados para la construcción como es triturado, gravilla, polvillo y demás derivados.

Dentro de la Matriz DOFA que se identificó para los procesos, se tienen las siguientes características:

- Las fortalezas que poseen estos agregados del distrito minero es la cercanía a los centros poblados, en los cuales debido a la demanda

de inmuebles existe un mayor consumo, por parte de constructoras, ferreterías, y cualquier empresa o persona que necesiten estos productos.

- Fácil conexión con la infraestructura o red vial nacional del país y departamental, debido a las vías pavimentadas nacional que pasa al costado de la formación geológica de Toluviejo donde se extraen estos productos, y puede conectarse con los municipios de Toluviejo, Tolú, Sincelejo, Corozal, Sampaés, etc.
- Los empresarios y organizaciones afirmaron tener voluntad para el mejoramiento de las capacidades y condiciones de producción, para así brindar mejores productos, y ambiente de confort para sus empleados, clientes y demás actores que intervienen en la cadena.
- Aunque existe cercanía al sistema nacional de vías, existe déficit de infraestructura vial las cuales son vías de un solo carril y en muchos casos en mal estado, que aumenta el tiempo de transporte de la zona de producción hasta el cliente. No obstante, se están ejecutando la construcción de la doble calzada Sampaés - Sincelejo – Toluviejo y esta se conectaría así mismo con la doble calzada Sincelejo – Corozal, que permitirá disminuir los tiempos de transporte y flujo de vehículos.
- Existe baja integración entre los diferentes actores de la cadena, debido a que cada actor realiza su papel de forma independiente y el flujo de información en los diferentes niveles se corta, no permitiendo muchas veces cumplir con los volúmenes del pedido del cliente o el productor no ajusta la capacidad de producción a la capacidad real necesaria para la producción.
- Es necesario crear sinergia entre los transportadores, clientes y productores. Como se observó solo el 39% de los productores poseen transporte propio y el resto utiliza transporte de carga de material particular, no planificándose las rutas, capacidades de carga, tiempos y disposición de los equipos de transporte cuando el cliente necesita el material.
- El impacto ambiental y paisajístico se hace evidente en la zona, así como el mal manejo de los residuos generados de los procesos, para ello es necesario estimular la planeación participativa en un contexto de sostenibilidad ambiental y de equilibrio, a través de las evaluaciones ambientales estratégicas, para así facilitar los procesos de articulación frente a la planeación de la productividad y de la competitividad sostenible minera de forma acorde con la visión de país.

- La conformación de un Clúster minero debería ser analizada, esto para aprovechar la zona minera especial de Calamari – Sucre, debido a que se podría mejorar la capacidad para gestión de obras de infraestructura y desempeño logístico. Así mismo el clúster permitiría generar mayor promoción de marketing y creación de alianzas estratégicas para suministro de materiales, fortalecimiento social, mejoramiento de la tecnología utilizada y menor impacto ambiental negativo.

Actualmente existe poco valor agregado y baja diversificación de productos derivados de estos materiales en el Departamento, pero con buenas políticas y estrategias se puede dar mayor aprovechamiento de estos recursos, mediante el diseño e innovación de nuevos productos y con el clúster facilitaría la incursión a nuevos mercados en el contexto nacional e incluso internacional debido a la cercanía del puerto.

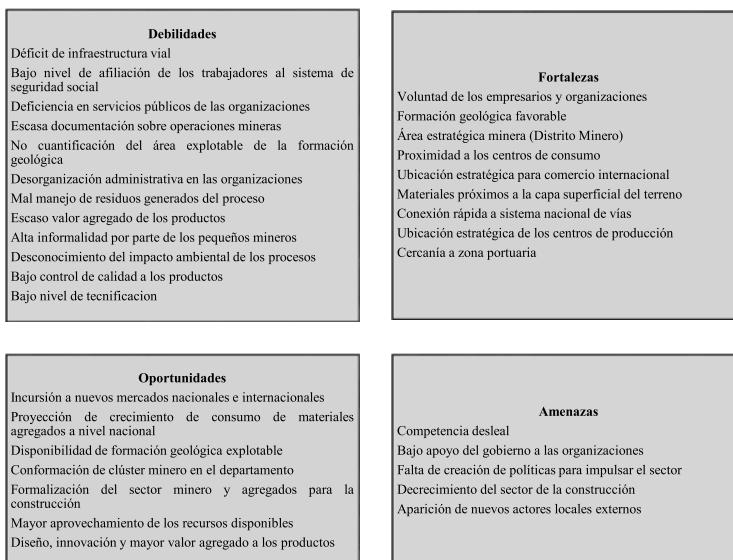


Figura 88. DOFA del Sector de la Minería no Metálica del departamento de Sucre.

7.3 Aspectos Generales

Según la anterior investigación se encontró que el departamento de Sucre posee aproximadamente 10.812 hectáreas tituladas para la explotación minera, de las cuales las mayores áreas con titulación minera se encuentran ubicadas en los municipios de Toluviejo y Colosó, ocupando el 53% del total de área titulada en el departamento de Sucre.

El sector de materiales agregados para la construcción en el departamento de Sucre se realiza principalmente en la formación geológica de Tolviejo en el distrito minero Calamarí – Sucre, en el cual predomina la explotación de agregados gruesos de piedra caliza y sus derivados principales como es triturado de 1 hasta de pulgadas, la gravilla que va desde los hasta los de pulgadas y el polvillo con dimensiones inferiores a los de pulgadas. Además de eso, se extraen agregados finos como es arenas o material de arrastre presente en los cauces de los arroyos cercanos.

La capacidad productiva del sector está cercana a los 2500 metros cúbicos diarios de roca de caliza y agregados procesados, el sector opera a una capacidad promedio cercana al 76% de utilización de la capacidad y el 91% opera solo un turno de trabajo.

Los registros y documentación son importantes, el 70% posee registros de la producción realizada, lo cual permitiría realizar proyecciones para la producción futura, sin embargo, el 76% no realiza proyecciones de demanda y producción, esto debido al desconocimiento de herramientas para esto, la baja planeación e informalidad podrían ser la causa de la desorganización del sector.

Referente a los riesgos laborales y afiliación al sistema de seguridad social, se encontró que el 73% implementan acciones de seguridad y salud en el trabajo y solo el 39% afilan sus trabajadores a administradores de riesgos, fondos de pensiones y servicios de salud. Sin embargo, la parte más crítica está en las asociaciones que realizan sus actividades de forma artesanal, no implementan acciones de seguridad y tampoco se encuentran afiliados al sistema de seguridad social.

Las estrategias de marketing utilizadas por los negocios son escasas, debido a que solo el 34% invierten en publicidad o estrategia de marketing para la promoción del negocio y sus productos con inadecuados programas y estrategias que garanticen un afianzamiento de los clientes y subsistencia dentro del mercado.

Otro caso importante encontrado en la parte logística es el transporte, de ellos solo el 39% posee su propio transporte y el 61% acude a la prestación de este servicio, en el cual predomina el uso de transporte suministrado por terceros, los cuales realizan el transporte del material mediante el alquiler de sus vehículos y cobran por el viaje o distancia a

los centros de comercialización, como es Sincelejo, Corozal, Los Palmitos, Sampués, Toluviejo y municipio de otros departamentos vecinos como Chinú, Carmen de Bolívar, Sahagún, entre otros.

Sin embargo, a pesar del crecimiento en este sector, según Cárdenas y Reina (2008) para alcanzar un desarrollo adecuado en cuanto a actividades mineras se necesita presencia del Estado en algunas zonas del país debido a que se presentan fragilidad institucional, percepción de corrupción en algunas instituciones debido a resultados a estudios internacionales e inexistencia de clúster minero que promueva la productividad y las mejoras continuas. Bajo estas circunstancias se puede observar que Colombia se encuentra en crecimiento hacia un desarrollo minero, sin embargo, requiere implementar estrategias competitivas que permitan posicionarse en el mercado sudamericano (Gómez & Correa, 2011).

Según Martínez & Escobar (2014), el no cumplimiento de lo establecido en la regulación, además de la ignorancia sobre la importancia del sector minero en la economía del país genera dificultades al momento de constituir políticamente el sector. Adicionalmente, no se cuenta con una información estructurada de la situación minera por los diferentes puestos informales, lo que se traduce en falencias al momento de estructurar los costos y los tipos de inversiones dentro de la actividad minera colombiana. Esta situación evidencia una clara dificultad para analizar la eficiencia del sector y comparar los indicadores financieros inherentes a la actividad minera en comparación con otros países. Sin embargo, la inversión extranjera es crucial para el desarrollo de este sector, su relevancia como fuente de financiación del déficit externo del país no puede desconocerse. En promedio, entre los años 2007 y 2012, “la inversión extranjera que ha llegado al sector minero supera los USD 2.000 millones anuales, monto que ha permitido financiar el 28% del déficit en la cuenta corriente colombiana” (Martínez & Escobar, 2014).

Además, no se puede omitir que la actividad minera puede contribuir al desarrollo en un adecuado marco institucional con reglas claras y estables y fortaleza del Estado. Adicionalmente, la gran minería (de minerales no metálicos, usualmente para la construcción) construye infraestructura de uso público, y genera recursos que, si son bien invertidos, pueden redundar en beneficios para toda la sociedad. No obstante, también es importante combatir la explotación minera ilegal en el país que en su mayoría extraen

materiales de construcción y, en menor medida, oro y carbón. “Según la Defensoría del Pueblo (2010), en 44% de los municipios del país ha existido minería ilegal o de hecho entre 2008 y 2010, iniciando con el departamento de Córdoba (86%), seguido Boyacá (69%) y luego Risaralda (64%), Quindío (62%), Valle del Cauca (55%), Caldas (52%) y Antioquia (46%)”. (Martínez, 2012).

Cabe destacar y teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, que la producción de minerales no metálicos o materiales de construcción, según PROCOLOMBIA (2016) ha permitido:

- Dinamismo de la construcción en Colombia con un incremento de más 100% en el PIB en los últimos 9 años y un crecimiento del 29% de la inversión extranjera en los últimos 6 años, convirtiéndolo en el principal impulsador de los materiales para la construcción.
- Comportamiento positivo de la demanda externa de materiales para la construcción con un crecimiento de las exportaciones del 16% y aumento del 78% en las inversiones.
- La edificación ha mostrado una dinámica positiva en los últimos años, incrementando en más de 3 millones de metros cuadrados para la construcción y un 24% en áreas aprobadas. En el 2010, se licenciaron alrededor de 16 millones de metros cuadrados.
- Incremento de más de un 39% en obras civiles por concepto de mayores inversiones en el grupo de carreteras, calles, caminos y puentes.
- La inversión total en hotelería ha tenido un crecimiento promedio anual del más del 100% en los últimos 6 años, al pasar de USD 24,8 millones en 2004 a USD 1.700 millones en 2010. La mayor parte de ésta inversión se ha dirigido a las grandes ciudades.
- Vivienda e infraestructura son sectores prioritarios en la estrategia del Gobierno, que impulsarán el desarrollo del país en la construcción y sus insumos.
- Las expectativas de crecimiento del sector en la región apuntan a un incremento cercano al 62% para el 2014, representando un mercado aproximado de US\$34.000 millones, lo cual impulsará fuertemente la demanda de materiales de construcción.
- Construcción y remodelación de puertos, aeropuertos, carreteras, represas, cárceles, sistemas de transporte masivos, etc. Estas licitaciones demandan diferentes materiales de construcción que interesan a in-

versionistas.

Además, es crucial señalar que a pesar de que esta minería no metálica o de construcción no es el mayor representante de la minería en general de Colombia, ha podido generar gran empleo y disponibilidad de mano de obra calificada. Igualmente, según Proexport, hubo una disponibilidad de graduados de más de 119.00 profesionales y técnicos en el sector, con una oferta de capital humano calificado; 28 programas especializados en la formación para el recurso humano de materiales de construcción; fue líder del crecimiento de la fuerza laboral en Latinoamérica y segundo puesto a nivel mundial; posicionó a Colombia en los tres países con mayor nivel de ingenieros calificados en Latinoamérica; Colombia tiene la fuerza laboral más productiva de Suramérica (Pricewaterhousecooper, 2009). Según el IMD 2010, Colombia cuenta con la regulación laboral que menos obstaculiza las actividades de negocios en Latinoamérica y el mejor índice de flexibilidad en la región.

Por otra parte, los títulos mineros en Colombia están sujetos a constantes variaciones debido al vencimiento de algunos y la concepción de otros. (Bravo, 2016). En la siguiente gráfica se puede observar que a partir del año 2010 hubo un incremento de 8,574 títulos a 9,742 en el año 2013, posteriormente hasta el año 2015 es notorio la disminución de los títulos registrados en este sector.

7.4 Conclusiones en Sector Caliza

La minería de caliza en Sucre también requiere desarrollo de modelos de trabajo asociado para la explotación eficiente de los yacimientos por parte de pequeños productores, pero también para generar alternativas a la sostenibilidad de las explotaciones, la generación de ingresos a las familias y la erradicación del trabajo infantil.

Sería conveniente considerar el desarrollo de alternativas para la producción de cemento en pequeñas plantas que apoyen las necesidades del sector de la construcción al interior de Sucre; se podrían así generar oportunidades para reducir los costos y aumentar el valor agregado y el empleo en el departamento.

Dentro de las brechas que se presentan, están:

- Falta de capacidades para cumplir normas de salud en el trabajo, lo

cual hace referencia a las condiciones de alto riesgo que afrontan los mineros.

- Falta de capacidades para cumplir normas sobre el uso de material explosivo.
- Falta de capacidades para manejar y mejorar tecnologías de proceso.
- Falta de capacidades para cumplir normas sobre tala y protección de ecosistemas.
- Falta de capacidades para innovar en procesos.
- Falta de capacidades para recuperación ambiental de las áreas explotadas.
- Falta de capacidades para manejar estructuras de costos y formación de precios.
- Necesidad de organizar el área de salud en el trabajo.
- Necesidad de organizar el área de talento humano.
- Necesidad de organizar el área de gestión de tecnología.

7.5 Conclusiones del Sector Arcilla

El sector arcilla es de suma importancia en el departamento de Sucre, pero es de anotar que las pequeñas y medianas empresas de la comercialización y extracción de este tipo de material, tienen un nivel tecnológico no muy avanzado, ya que en muchos casos se puede evidenciar la utilización de métodos artesanales para llevar a cabo las tareas antes mencionadas, además no siempre se siguen con los determinantes que garanticen unos procesos óptimos y lo más importante la seguridad de las personas que laboran en ese campo. Por lo tanto, aquí se ve radicado uno de los problemas que se presentan en el sector de la construcción en el departamento de Sucre, además de la débil integración, colaboración, y generación de valores agregados en su cadena, al igual de sus productos derivados.

Cabe anotar que el Departamento de Sucre cuenta con varias empresas, pequeñas y medianas que se dedican a la extracción, explotación y comercialización de la arcilla en sus diferentes presentaciones. Por lo

que deben estar a la vanguardia de los avances de las nuevas tecnologías para no quedarse en el camino y desaparecer como muchas empresas que no evolucionan, es de suma importancia que las empresas cuenten con las diferentes maquinarias y herramientas que permitan mejorar la comercialización y dar satisfacción a los clientes, pero no todas las empresas se esmeran por mantener a los clientes satisfechos, y no se preocupan por seguir en el camino del éxito empresarial, por muchas razones, ya sea por negligencia, por falta de personal capacitado, por falta de capital monetario o por cualquier otra razón que sea de excusa para obtener buenos resultados y avances en el medio empresarial, aun sabiendo que los clientes son la base de todo negocio.

Vemos que al ejecutar el modelo con los datos suministrados para el período en el que se está evaluando el modelo, arrojó resultados óptimos ya que generaría una utilidad a la cadena de suministros de \$ 435.439.425, este resultado se logra si y solo si los distribuidores aceptan los pedidos que el fabricante les suministre; en algunos se busca satisfacer la demanda de cada distribuidor y en los otros por el contrario serán aumentados en su requerimiento mínimo. Pero, esto garantizará un inventario inicial a los distribuidores para el siguiente período a su vez que todos tendrán la máxima utilidad esperada.

Estos resultados le ayudan al proveedor a realizar el plan de producción y despacho, al igual que al fabricante que junto con los distribuidores contará con material de inventario para próximos pedidos, también le permite elaborar su plan de fabricación y despacho a los distribuidores.

Se puede concluir la utilidad del modelo matemático en cada uno de los períodos que la empresa quiera evaluar para obtener la máxima utilidad en la cadena de suministros, al igual que le ayudará a generar los planes y la toma de decisiones en cuanto al ajuste de precios y costos, permitiendo de este modo generar mayores ingresos. Este modelo será útil para la empresa durante muchos años mientras mantenga el sistema productivo y de suministros actuales, los cambios a futuro serían mínimos.

Se sugiere la aplicación constante de este modelo en cada uno de los períodos, y utilizar los resultados para realizar ajustes de precios y costos, lo cual garantizará una mejor utilidad para la cadena de suministros.

7.6 Justificación de un Clúster Minero.

De acuerdo con las variables analizadas y el contexto del departamento de Sucre en términos de materiales de construcción se tiene:

- Alta disponibilidad de recursos en términos de materia prima (piedra caliza, arcillas, etc.)
- Existen inversiones importantes en términos privado y gubernamentales en el sector minero para desarrollo de conocimiento en arcillas, piedra caliza, etc.
- Posicionamiento regional-caribe de las empresas de materiales ya desarrollado.
- Las infraestructuras que se están construyendo actualmente en el Caribe posicionarán a Sucre como un centro de producción estratégico de materiales.
- Poca formación empresarial por parte de los pequeños mineros que dificulta la reflexión estratégica y la gestión organizacional de sector.
- Las entidades de apoyo y la demanda del sector público de materiales no fomentan el componente de innovación en los materiales de construcción utilizados en obra pública.

El comportamiento histórico en el sector de construcción, permite evidenciar las siguientes cifras, la extracción de minerales no metálicos generan a la región 16 mil millones de pesos, mientras que la construcción brinda 265 mil millones de pesos al producto interno bruto del departamento. Lo que indica en términos generales el 6% de PIB. Los factores de exportación de los productos minerales no metálicos mantienen tendencia de 150000 mil US, correspondiente al 33,15% de capacidad de exportación del departamento de Sucre. Entre los productos se encuentran principalmente, cemento y productos asociados para la construcción, la participación en las exportaciones aumentó en los últimos años hasta situarse en 33%. En materia de importaciones en la medida que el sector de construcción crece, la tasa de importación disminuye.

De acuerdo con las políticas públicas, en términos de sector de construcción y minería, en el departamento de Sucre, se espera que el sector se potencialice en la arcilla y la caliza, permitiendo un aumento en su productividad y empleabilidad. Dentro las estrategias se esperan la

generación de plantas comunitarias para materiales de construcción, por medio de la construcción de 10 pymes de alta tecnología para caliza y cerámica; además de constituir un centro de desarrollo tecnológico y clúster.

El sector minero -de la caliza y la arcilla- que en este departamento, se realiza principalmente, por pequeña y mediana minería se priorizó la formación dirigida a la seguridad en mina y al manejo de explosivos, así como la gestión ambiental, que son temas determinantes para la sostenibilidad de la actividad; además se consideró fundamental la formación de alto nivel en el desarrollo de nuevos materiales basados en caliza y arcilla, a partir de los cuales es posible derivar una gran diversidad de productos.

De acuerdo con las condiciones del entorno y de los diferentes actores involucrados en el sector de la construcción se determinan un conjunto de factores que son claves en el desarrollo estratégico:

- Existe variedad de laboratorios que prestan servicios técnicos en la construcción.
- Falencias en la formación técnica y de I+D dentro del sector.
- Se cuenta con perfiles profesionales en área de Ingeniería civil y arquitectura.
- La demanda local es creciente, pero poco exigente en factores de innovación.
- Poca conformación del sector de servicios de construcción, donde existen factores diferenciados como calidad, costos, residenciales y autoservicios.
- No hay colaboración estratégica entre productores de materiales para la construcción que permita un desarrollo de producto conjunto.
- No se registran actualmente industrias auxiliares sofisticadas para el sector.
- Potencial actual de sector de construcción en departamento de Sucre:
- Crecimiento en la conformación de edificaciones tanto residenciales, como comerciales (oficinas, educación, bodegas, hoteles).
- Aumento en área licenciada de construcción en un 143%, el cual genera una demanda directa sobre los materiales de construcción.
- Coveñas demuestra un aumento significativo en el número de licencias para construcción.

- El mercado nacional de materiales para construcción ha vivido una dinámica positiva en los últimos años.
- El mercado nacional de materiales seguirá creciendo, se estima que para el año 2016 se alcance una facturación de \$12.337 MUSD, es decir, un crecimiento acumulado de 24% y una tasa de crecimiento anual de 7,2%¹⁶ respecto al año 2013. Los materiales que más crecerán son ladrillos (7,96% TAC), cementos y sus aplicaciones (7,62% TAC) y madera (7,32% TAC).
- Aunque el mercado nacional seguirá creciendo a ritmos interesantes, se están produciendo una serie de cambios en el negocio que van a afectar de forma clara a los jugadores locales: la mayor concentración de la distribución (los retailers tradicionales concentran el poder en pocas manos, mayor tamaño de las constructoras y los fabricantes de insumos se integran hacia la distribución para controlar el canal todavía muy atomizado) y el incremento de las importaciones y las inversiones directas de jugadores internacionales.
- Los materiales que más crecerán son ladrillos, cementos y sus aplicaciones y madera.
- Dentro de los materiales que participan en el sector de la construcción se hallan: áridos, ladrillos y bloques, concreto y cemento, construcción en madera, pinturas y barnices, pavimentación, yeso, productos de cal, prefabricados de hormigón, productos para cubiertas, puertas y ventanas, metalmecánica, Insumos de construcción (pinturas, aditivos, solventes) *

7.6.1 Enfoque del Sector de Construcción

La propuesta para el departamento de Sucre, es alinear esfuerzos en la cadena de construcción, que fortalezcan las oportunidades de los fabricantes de los materiales de esta área, que en los últimos años se han consolidado con una oferta multi-producto industrial (ladrillos, pegantes, pinturas, concreto) y están reforzados en la parte minera en arcillas y caliza. Los retos de este segmento de negocio a nivel nacional tienen grandes oportunidades de desarrollarse por el crecimiento de la construcción, pero grandes desafíos en posicionamiento y mantenimiento de la cuota de mercado frente a nuevos competidores internacionales e importaciones de productos tanto desde países de más bajo coste como productos de alto valor agregado.

7.6.2 Segmentos de Negocio Estratégico del Sector de Construcción

Dentro del sector de la construcción se visionan dos negocios estratégicos, las constructoras de edificaciones y la fabricación de materiales de construcción. Dentro de las perspectivas estudiadas por Clúster Development (2013, hoja de ruta del Departamento de Sucre):

Tabla 31.
Hoja de Ruta del departamento de Sucre en Minería

Proyecto	Enfoque
Servicios de construcción de edificaciones	Abrir mercados complementarios cercanos en la región. Explorar nuevos modelos de negocio con mayor integración con los fabricantes de insumos
Insumos para la Construcción	Fortalecer estrategias de apertura de mercados cercanos atlántico. Integrarse con estrategias de innovación de producto para exigencias de turismo sol y playa.

Fuente: Clúster Development, 2013.

Retos del sector de construcción.

- Desarrollar gerencias estratégicas dentro de los negocios de construcción que les permita ser visionarias y sostenidas en el tiempo, más que productivos al corto plazo, de modo que se facilite el acceso a nuevos mercados.
- Empoderar, formar y capitalizar la transferencia de conocimiento que permita el desarrollo de nuevos productos con alto componente de innovación para generar diferenciación y posicionamiento en el mercado.
- Adecuar los procesos de transferencia tecnológica que permita la realización de vigilancia continua y fortalecer los procesos de apropiación y los perfiles técnicos para un mejor uso de maquinaria de punta.
- Focalizar esfuerzos en desarrollar el mercado regional en nuevos segmentos de negocio que se consolidan.
- Articular el trabajo de arquitectos e ingenieros con las constructoras y fabricantes de materiales para sofisticar los modelos de negocio.

- Integrarse con estrategias de innovación de producto para exigencias de turismo sol y playa.
- Perspectiva de mercado y referenciación internacional de las tendencias del negocio para el desarrollo de productos a partir de necesidades de la demanda.

7.6.3 Panorama del Sector de Construcción

- Aunque existe una concentración alta de empresas de materiales, se observa que existen 5 competidores con una gran concentración de la oferta, los cuales generan un valor agregado y cambios en el negocio.
- Mínima incursión a otros mercados (nacionales e internacionales) y en su defecto bajos niveles de exportación en los últimos años (DIAN –DANE, 2013), centralizado en una reconocida empresa privada en la zona y siendo Sincelejo el centro de la mayor parte de servicios.
- Hay ausencia de técnicos en desarrollo de producto que permitan tener una oferta con un componente de innovación más altos.
- Las 5 constructoras más grandes del departamento se han integrado hacia atrás en la cadena generando productos como concretos y cementos, podrían generar desarrollo de producto incrementando el componente de innovación en base a su conocimiento sobre la demanda y el consumidor final.
- Trabajo conjunto de 23 asociaciones de pequeños mineros que están consolidando una oferta de materiales en base a piedra caliza, arena.
- Hay muy poca asociatividad para desarrollo de producto entre constructoras y arquitectos con las empresas de materiales debido a que hay alta rivalidad y desconfianza para hacer un trabajo conjunto y en compartir información sobre sus procesos productivos.

Dentro de las oportunidades de exportación que presenta el departamento de Sucre, es relevante resaltar que, en el acuerdo comercial de la unión europea, los países interesados en mantener lazos comerciales en elementos y materiales de construcción son: Bélgica, España y Reino Unido. En el marco de Tratado de Libre Comercio de Estados Unidos, los estados interesados en mantener lazos comerciales en elementos y materiales de construcción son: California, Illinois, Nueva York, Texas. Al mismo tiempo Canadá es un mercado promisorio para la exportación de materiales de construcción, con el cual se mantiene un tratado de libre

comercio. En conclusión, Sucre posee una posición estratégica en el Mar Caribe y comunicación con el resto de los países de Centro y Norte América (Ministerio de Minas y Energía, 2011).

Y finalmente de acuerdo con la agenda interna de Sucre (Agenda Sucre, 2011); se definió que:

“En el año 2019 la minería del distrito minero Calamarí-Sucre será modelo nacional, por sus sistemas y procesos amigables con el ambiente, que generarán productos muy competitivos y de alto valor agregado para los mercados nacional e internacional; las instalaciones, obras de mitigación, restauración y rehabilitación de impactos en su zona de influencia formarán parte de la oferta turística regional, integrando y mejorando la calidad de vida de sus habitantes”.

Referencias

- Accenture. (2007). ¿How Do Mining Companies Achieve High Performance Through Their Supply Chains?
- Agencia Nacional Minera. (2016a). Catastro Nacional Minero 2016.
- Agencia Nacional Minera. (2016b). Dirección de Minería empresarial.
- Agencia Nacional Minera. (agosto de 2003). Glosario Técnico Minero. Obtenido de <https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>
- Aguilar, C; Leon N. y Meléndez, M. (2006). El sector de materiales de construcción en Bogotá” – Cundinamarca. Cuadernos de Fedesarrollo, ISBN: 958-33-9478-5
- Ailyn Zeren Alagoz, G. K. (2008). Determination of the best appropriate management methods for the health - care wastes in Istanbul.
- Akkermans, H., Bogerd, P., y Van Doremale, J. (2004). Travail, transparency and trust: A case study of computer-supported collaborative supply chain planning in high-tech electronics. European Journal of Operational Research, 153(2), 445-456.
- Akkermans, H., Bogerd, P., Yucesa, E., y Wassenhove, L. (2003). The impact of ERP on supply chain management: exploratory findings from European Delphi study. European Journal of Operational Research, p. 284-301.
- al., A. e. (2004). “travail, transparency and trust: a case study of computer supported collaborative supply chain planning in high-tech electronics” european journal of operational research. 153.2, pp 445-456.
- Alarcón, F. O. (2004). “Planificación Colaborativa en un contexto de varias Cadenas de Suministro: ventajas y desventajas.”. VIII Congreso de Ingeniería de Organización, Leganés, 9 y 10 de septiembre de 2004.

- Alarcón, F.; Alemany, M.M.E.; Lario, F.C. y Oltra, R.F. (2009). Modelo conceptual para el desarrollo de modelos matemáticos de ayuda a la toma de decisiones en el proceso colaborativo de comprometer pedidos. En “3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management XIII Congreso de Ingeniería de Organización, Barcelona-Terrassa”.
- Alarcón, F.; Lario, F. C.; Bozá, A. y Pérez, D. (2007). “Propuesta de marco conceptual para el modelado del proceso de Planificación Colaborativa de Operaciones en contextos de Redes de Suministro/Distribución (RdS/D)”, en Congreso de Ingeniería de Organización, XI ed., Madrid.
- Alemany, M.M.E.; Alarcón, F.; Lario, F.C.; JJ Boj, J.J. (2009). Caracterización del Proceso de Planificación Colaborativa de una Cadena de Suministro del Sector Cerámico. III International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, Barcelona, septiembre 2-4.
- Alhaj, M. A., Svetinovic, D., y Diabat, A. (2016). A carbon-sensitive two-echelon-inventory supply chain model with stochastic demand. *Resources, Conservation and Recycling*, 108, 82–87. <http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.11.011>
- Amaya, J. S. (2014). Elementos para la integración de sistemas de gestión. BOGOTA.
- ANAYA, J. J. (1999). Logistica Integral: La gestión operativa de la empresa. Madrid: ESIC.
- Anderson, J. C., y Narus, J. A. (1990). A model of distributor firm and manufacturer firm working partnerships. *the Journal of Marketing*, 42-58.
- Angerhofer, B. J., y Angelides, M. C. (2006). A model and a performance measurement system for collaborative supply chains. *Decision Support Systems*, 42(1), 283–301. <http://doi.org/10.1016/j.dss.2004.12.005>
- Armaghan Abed-Elmdoust, R. K. (2012). Regional hospital solid waste assessment using the evidential reasoning approach. *Science of The Total Environment*, 67-76.

- Armengot, Espí & vázquez. 2006. Orígenes y desarrollo de la minería. Departamento de ingeniería geológica e.t.s. de ingenieros de minas de madrid. España. 28 pp
- Athanasiou C. Karmperis, K. A. (2013). Decision support models for solid waste management: Review and game-theoretic approaches.
- Aviv, Y. (2001). The Effect of Collaborative Forecasting on Supply Chain Performance. *Management Science (ABS2015:4*)*, 47(10), 1326–1343. <http://doi.org/10.1287/mnsc.47.10.1326.10260>
- Aviv, Y. (2002). Gaining Benefits from Joint Forecasting and Replenishment Processes : The Case of Auto-Correlated Demand. *Manufacturing y Service Operations Management*, 4(1), 55–74. <http://doi.org/10.1287/msom.4.1.55.285>
- Aviv, Y. (2007). On the Benefits of Collaborative Forecasting Partnerships Between Retailers and Manufacturers. *Management Science*, 53(5), 777–794. <http://doi.org/10.1287/mnsc.1060.0654>
- Axelrod, p. n. (s.f.). Evolución de la Cooperación.
- Baena E.; Sánchez J.; Montoya, O. (2006). Algunos factores indispensables para el logro del desarrollo regional. *Revista Scientia Et Technica*, vol. XII, núm. 31, agosto, pp. 177-182, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- Ballou, R. (2004). Business Logistics management. Prentice Hall, The United States. Pag 252.
- Barratt, M. (2004). Understanding the meaning of collaboration in the supply chain. *Supply Chain Management: an international journal*, 9(1), 30-42.
- Beamon, B. (1988). Supply chain design and analysis: models and methods. *International Journal of Production Economics*. 55, 281-294.
- Beamon, B. (1999). “Measuring supply chain performance”. *International Journal of Operations y Production Management* 19[3], pp. 275-292.
- Benndorf, J., y Dimitrakopoulos, R. (2013). Stochastic long-term production scheduling of iron ore deposits: Integrating joint multi-element geological uncertainty. *Journal of Mining Science*, 49(1).

- Berning, G. B. (2004). "Integrating collaborative planning and supply chain optimization for the chemical process industry methodology" computers and chemical engineering, Vol. 28, pp.913-927.
- Betzabe, A. (2015). Minería de los No Metálicos. Principales productores mundiales. Recuperado en : 12/Diciembre/2016. <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.2373.2640>
- Biazaran, M. y Gharakhani, M. (2011). A game theoretic approach to coordinate pricing and vertical co-op advertising in manufacturer–retailer supply chains. European Journal of Operational Research, 211, p. 263-273.
- Binder, M. y. (2007). "Enterprise management: A new frontier for organizations". International Journal of Production Economics, Vol. 106 No. 2, pp. 409-430.
- Blackbum, l. (1991). The quick-response movement in the apparel industry: a case study in time-compressing supply chains, in Blackburn, I.D. (Ed.), Time-Based Competition, Business One Irwin, New York, p. 246-69.
- Bodon, P., Fricke, C., Sandeman, T., y Stanford, C. (2011). Modeling the mining supply chain from mine to port: A combined optimization and simulation approach. Journal of Mining Science, 47(2), 202-211. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- BOLETÍN TÉCNICO COMUNICACIÓN INFORMATIVA (DANE), Bogotá Mayo 19 de 2017. Cuentas Trimestrales - Colombia Producto Interno Bruto (PIB) Primer Trimestre de 2017
- Boletín Técnico DANE. 2013 Datos Preliminares. Diciembre 2014.
- Bowersox, D. (1990). "The strategic benefits of logistics alliances". Harvard Business Review, Vol. 68 No. 4, pp. 36-43.
- Bowersox, D., Closs, D., y Stank, T. (2000). Ten mega-trends that will revolutionize supply chain logistics. Journal of Business Logistics, Vol. 21, No.2, p. 1-16.
- Bradley, S.P. ; Hax, A.C. y Magnanti, T.L. (1977). Applied Mathematical Programming. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Company.

- Bravo, J. (2015). Caracterización del sistema productivo, cadena logística y comercial del sector minero no metálico en el departamento de Sucre. Sincelejo.
- Burns, J., y Sivazlian, B. (1978). Dynamic analysis of multi-echelon supply systems. *Computers y Industrial Engineering*
- Bustamante, H. (2009). Propuesta modelo de Redes Colaborativas en Proyectos de Infraestructura en Interconexión Eléctrica S.A. Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia. P. 10.
- C.L. Chen, W. L. (2004). Multi-objective optimization of multi-echelon supply chain networks with uncertain product demands and prices, *Comput. Chem. Eng.* 28(2004) 1131–1144.
- Cabero, J. (1998). Impacto de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación en las. GRANADA: Editorial Universitario.
- Calderón, J. L., y Lario, F. (2005). Análisis del modelo SCOR para la Gestión de la Cadena de Suministro. Proyecto de Investigación del Programa de Doctorado Gestión de la Cadena de Suministro en el contexto de Empresa Virtual, Ingeniería y Modelización Empresarial. Universidad Politécnica de Valencia.
- Cámara de Comercio de Sincelejo. (2016). Listado de Almecenes del Sector de la Construcción en el Departamento de Sucre.
- Cao, M. V.-N. (2010). “Supply chain Collaboration: conceptualization and instrument development”. *International Journal of Production Research*. Vol. 48, No.22, pp. 6613-6635.
- Cárdenas, M., Steiner, R., Reina, M., & Yanovich, D. (2008). La Minería en Colombia: Impacto Socioeconómico y Fiscal.
- Cárdenas. M y Reina.M. (2008). La minería en Colombia: Impacto Socioeconómico y fiscal. Fedesarrollo, Colombia.p.10-15.
- Cardenas-Barron, L., y Sana, S. (2014). A production-inventory model for a two-echelon supply chain when demand is dependent on sales teams' initiatives, *International Journal of Production Economics*, 155 (2014) 249-258.
- Cardona-Valdés, Y. Á. (2011). A bi-objective supply chain design problem with uncertainty. *Transportation Research Part C*, 19, 821–832.
- Carter, B. (2012). Boom, Bust, Boom: a Story about Copper, the Metal that Runs the World, first ed. Scribner, New York.

- CEPAL (2004). División de Recursos Naturales e Infraestructura. Signatura: LC/L.2186-P ISBN:9213225822
- Chan, F. T. S., y Zhang, T. (2011). The impact of collaborative transportation management on supply chain performance: A simulation approach. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2319–2329. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.08.020>
- Chandra, K. y Kumar, S. (2000). Supply chain management in theory and practice: a passing fad or a fundamental change. *Industrial Management & Data Systems*, Nº.100/03, p.100-113.
- Chang, M. T. (2007). A scenario planning approach for the?ood emergency logistics preparation problem under uncertainty. *Transportation Research Part E* 43 (6), 737–754.
- Chang, T.-H., Fu, H.-P., Lee, W.-I., Lin, Y., y Hsueh, H.-C. (2007). A study of an augmented CPFR model for the 3C retail industry. *Supply Chain Management: An International Journal*, 12(3), 200–209. <http://doi.org/10.1108/13598540710742518>
- CHEN, M.-C., YANG, T., y LI, H.-C. (2007). Evaluating the supply chain performance of IT-based inter-enterprise collaboration. *Information and Management*, Vol. 44, No. 6, pp. 524-534.
- Chen, T. H., y Chen, J. M. (2005). Optimizing supply chain collaboration based on joint replenishment and channel coordination. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 41(4), 261–285. <http://doi.org/10.1016/j.tre.2004.06.003>
- Cheung, C. F., Cheung, C. M., y Kwok, S. K. (2012). A Knowledge-based Customization System for Supply Chain Integration. *Expert Systems with Applications*, 39(4), 3906–3924. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.096>
- Christopher, M. (1992). *Logistics and Supply Chain Management*: London: Pitman Publishing.
- Christopher, M. (1998). *Logistics and Supply Chain Management: Strategies for reducing cost and improving services*. Second edition, Financial Times/prentice Hall, London.
- Coelho, P. C. S., Teixeira, J. P. F., & Gonçalves, O. N. B. S. M. (2011). Encyclopedia of Environmental Health. *Encyclopedia of Environ-*

- mental Health. Elsevier. <http://doi.org/10.1016/B978-0-444-52272-6.00488-8>
- Colciencias. (2005). Plan estrategico del programa nacional de investigaciones en energía y minería. Colciencias.
- Companys, R. (2003). Teoría de la decisión. Cpda-ETSEIB. Barcelona.
- Companys, R. (2005). "Diseño de sistemas productivos y logísticos". EP-SEB-UPC.
- COOMULPROPICAL. (26 de mayo de 2012). COOMULPROPICAL. Obtenido de <http://coomulpropical.blogspot.com.co/?view=classic>
- Correa & Gómez. 2008. Cadena de suministro en el sector minero como estrategia para su productividad. Boletín de ciencias de la tierra. Universidad Nacional de Colombia. COLOMBIA. 101 pp.
- Correa, A, y Gómez, R. (2009). Tecnologías De La Información En La Cadena De Suministro. Dyna, 76(157), 37-48.
- Correa, A., & Gomez, R. (diciembre-junio de 2008). CADENA DE SUMINISTRO EN EL SECTOR MINERO COMO ESTRATEGIA PARA SU PRODUCTIVIDAD. Boletín de Ciencias de la Tierra, pp. 93-101. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169516255006>
- DANE (2013). Instituto Colombiano de Productores de Cemento ICPC, Cálculo: UPME.
- DANE (2014). Cuentas Trimestrales – Colombia Producto Interno Bruto (PIB) Cuarto Trimestre de 2013 y Total Anual.
- DANE. (12 de diciembre de 2016). Obtenido de <http://www.dane.gov.co/reloj/>
- DANE. (2015). Estructura del PIB por actividad en el departamento de Sucre. Cuentas departamentales (DANE). Obtenido de <http://www.dane.gov.co/index.php/servicios-al-ciudadano/tramites/rendicion-de-cuentas>
- Daskin, M. S., y Owen, S. H. (2003). Location models in transportation. In Handbook of transportation science (pp. 321-370). Springer US.
- Daugherty, P. J., Autry, C. W., y Ellinger, A. E. (2001). JOURNAL OF BUSINESS LOGISTICS, Vol22, No. 1,2001 107, 22(1), 107–124.
- Dávila, J.; Ramírez, L. (2012). Modelo matemático para la optimización de una cadena de suministro global con consideraciones de cupos

- de compra y periodos de pago El Hombre y la Máquina, núm. 38, enero-abril, pp. 6-21 Universidad Autónoma de Occidente. ISSN: 0121-0777
- Davis, T. (1993). Effective supply chain management, Sloan Manag. Rev. 34, 35-46.
- De La Arada, M. (2015). MF1005_3 - Optimización de la cadena logística. Ediciones Paraninfo.S.A. ISBN: 928 84 283-9752 0, Depósito legal: M-10524-2015.
- Departamento Nacional De Planeación (DNP). (2011). Balance Sector Industrial 2011. Recuperado de: www.dnp.gov.co
- Departamento nacional de planeación. (2015). Diálogo Regional para la construcción del plan nacional de desarrollo 2014-2018. Presentaciones encuentro Regional Sucre. Sincelejo.
- Diario El País, (2015). Años de duros Retos Para la Economía de Colombia. En línea, recuperado de: <http://www.elpais.com.co/elpais/colombia/noticias/2016-ano-duros-retos-para-economia-colombiana>
- Diaz, J.; Captivo, y Climaco, J. (2006)“Capacitated dynamic location problems with opening, closure and reopening of facilities,” IMA Journal of Management Mathematics, vol. 1, no. 2, pp. 317–348, February.
- Dimitrakopoulos, R. (2011). Strategic mine planning under uncertainty. Journal of Mining Science, 47(2), 138–150.
- Dimitrakopoulos, R. (2011). Strategic mine planning under uncertainty. Journal of Mining Science, 47(2), 138–150.
- Dobos, I. y Pintér, M. (2010). Cooperation in supply chains: A cooperative game theoretic analysis: working paper. Corvinus University of Budapest, HU ISSN 1786-3031
- Eksioglu, B. (2001). Global Supply Chain Models. Encyclopedia of Optimization, Reference Work Entry 2001 Online ISBN 978-0-306-48332-5 pp 890-893
- El sector Arcilla en Colombia. En línea, recuperado de: <http://www.casagres.com/panorama-de-la-arcilla-en-colombia-revista-en-obra-edicion-en-arcilla/>

- EL UNIVERSAL. (14 de septiembre de 2010). Obtenido de <http://www.eluniversal.com.co/sincelejo/local/realizan-censo-minero-en-el-departamento-de-Sucre>
- Ericsson, M., y Hodge, A. (2012). Trends in the mining and metals industry. Mining's Contribution to Sustainable Development. International Council on Mining and Minerals (ICMM), London, UK, 16.
- Esmaeili, M., Aryanezhad, M.-B., y Zeephongsekul, P. (2009). A game theory approach in seller-buyer supply chain. European Journal of Operational Research, 195(2), 442–448. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.02.026>
- F. Hnaiena, X. D. (2010). Multi-objective optimization for inventory control in two-level assembly systems under uncertainty of lead times, Comput. Oper. Res. 37 (2010) 1835–1843.
- Fisher, M. (1997). What is the right supply chain for your product?. Harvard Business Review, Vol. 75 No. 2, p. 105- 16.
- Forrester (1961). "Industrial Dynamics" Portland (OR) Productivity Press, 1961.
- Fu, Y., y Piplani, R. (2004). Supply-side collaboration and its value in supply chains. European Journal of Operational Research, 152(1), 281–288. [http://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00670-7](http://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00670-7)
- Fung, J., Singh, G., y Zinder, Y. (2015). Capacity planning in supply chains of mineral resources. Information Sciences, 316, 397–418. <http://doi.org/10.1016/j.ins.2014.11.015>
- Ganeshan R. (1999). "Managing Supply Chain Inventories: A multiple retailer, one warehouse, multiple supplier model". International Journal of Production Economics 59, 2 págs. 341-354
- Ganeshan, R., y Harrison, T. P. (1995). An introduction to supply chain management. Department of management sciences and information systems, 303.
- Génin, P. (2003). Planification tactique robuste avec usage d'un APS. Proposition d'un mode de gestion par plan de référence. Thèse de Doctorat, École des Mines de Paris.
- Georgiadis, M. C. (2011). Optimal desing of supply chain networks under uncertain transient demand variations. Omega, 39, 254-272.

- Glave & Kuramoto. 2002. Minería, minerales y desarrollo sustentable en Perú. International Institute for Environment and Development, Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable en América del Sur. Recuperado de: <http://www.grade.edu.pe/upload/publicaciones/archivo/download/pubs/JK-MG-Miner%cc3%ada,%20Minerales%20y%20Desarrollo%20Sustentable%20en%20Per%c3%ba.pdf>
- Gobernación de Sucre. (10 de diciembre de 2016). Obtenido de http://www.Sucre.gov.co/Publicaciones_Municipio.shtml?apc=caxx-1-&x=1525632
- Godoy, M., y Dimitrakopoulos, R. (2004). Managing risk and waste mining in long-term production scheduling of open-pit mines. Transactions, 316.
- Gómez, R. y Correa, A. (2011). Análisis del transporte y distribución de materiales de Construcción utilizando simulación discreta en 3D. Boletín de ciencias de la tierra - Número 30, Medellín, ISSN 0120 - 3630. pp 39-52.
- Goodfellow, R. C., y Dimitrakopoulos, R. (2016). Global optimization of open pit mining complexes with uncertainty. Applied Soft Computing, 40, 292–304. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2015.11.038>
- Groover, M. P. (2007). Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing. Prentice Hall Press.
- Gutiérrez, L. 2003. El concreto y otros materiales para la construcción. Universidad nacional de Colombia.
- Hacklin, F., Marxt, C., y Fahrni, F. (2006). Strategic venture partner selection for collaborative innovation in production systems: A decision support system-based approach. International Journal of Production Economics, 104(1), 100–112.
- Haldar, S. K. (2013). Mineral Exploration. Mineral Exploration. Elsevier. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-416005-7.00011-8>
- Hancock, G. R., Lowry, J. B. C., Moliere, D. R., & Evans, K. G. (2008). An evaluation of an enhanced soil erosion and landscape evolution model: a case study assessment of the former Nabarlek uranium mine,

- Northern Territory, Australia. *Earth Surface Processes and Landforms*, 33(13), 2045–2063. <http://doi.org/10.1002/esp.1653>
- Hennet, J. C., y Arda, Y. (2008). Supply chain coordination: A game-theory approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 21(3), 399–405. <http://doi.org/10.1016/j.engappai.2007.10.003>
- Herrera, G. (2014). Análisis de Modelos de Planificación Colaborativa en la Cadena de Suministros: Una Revisión de la Literatura. En Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2014) "Excellence in Engineering To Enhance a Country's Productivity" July 22 - 24, 2014 Guayaquil, Ecuador
- Herrera, G. y Acevedo, J. (2014). Análisis del Problema de Planificación de la Producción en Cadenas de Suministro Colaborativas: Una Revisión de la Literatura en el Enfoque de Teoría de Juegos. En Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2014) "Excellence in Engineering To Enhance a Country's Productivity" July 22 - 24, 2014 Guayaquil, Ecuador.
- Herrera, G., Tomás, R., Vicente, F., Lopez-Sánchez, J. M., Mallorquí, J. J., & Mulas, J. (2010). Mapping ground movements in open pit mining areas using differential SAR interferometry. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47(7), 1114–1125. <http://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2010.07.006>
- Historias y Biografías. Actividad minera mundial en línea, recuperado de:
URL http://historiaybiografias.com/actividad_minera/
- Hoja de Ruta del Departamento de Sucre. Cámara de Comercio de Sincelejo. MINCIT. Innspulsa.2014.
- Hopwood, P., (2014). Tracking the Trends 2014: Ten of the Top Issues Mining Companies Will Face in the Coming Year. Tech. Rep.. Deloitte e Global Mining, Canada.
- Huang, Y., Huang, G. Q., y Newman, S. T. (2011). Coordinating pricing and inventory decisions in a multi-level supply chain: A game-theoretic approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(2), 115–129. <http://doi.org/10.1016/j.tre.2010.09.011>

- Huang, Z., y Li, S. (2001). Co-op advertising models in manufacturer-retailer supply chains: a game theory approach. European Journal of Operational Research, 135, p. 527-544.
- Hu-Chen Liu, J. W. (2013). Assessment of health-care waste disposal methods using a VIKOR-based fuzzy multi-criteria decision making method.
- Huiskonen, J. (2001). "Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices". International Journal of Production Economics, Vol. 71 No. 1-3, pp. 125-133.
- INCOPLAN S.A. (2010). Estudio técnico sectorial: infraestructura para transporte multimodal y de logísticas integradas para el desarrollo de la industria minera en Colombia, con énfasis en puertos. Bogotá, (46).
- Infantes (2010). Yacimientos no metálicos.
- Instituto de Gestión de la Cadena de Suministros. URL <http://www.scm-institute.org>
- Jagdev H., y Thoben K. (2001). Anatomy of enterprise collaborations. Production Planning and Control, 12(5), p. 437-451
- Jena, S. K., y Sarmah, S. P. (2014). Price competition and cooperation in a duopoly closed-loop supply chain. Intern. Journal of Production Economics, 156, 346-360. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.06.018>
- Kanter, R. (1994). Kanter, R. "Collaborative Advantage", Harvard Business Review, No. July-August, pp. 96-108.
- Kelle, P., y Milne, A. (1999). The effect of (s, S) ordering policy on the supply chain. International Journal of Production Economics, 59(1), 113-122.
- Kemppainen, K. y. (2003). "Trends in industrial supply chains and networks", International Journal of Physical Distribution y Logistics Management, Vol.33, Nº.8, pp. 701-719.
- Kilger, C. y Reuter, B. (2002). Collaborative Planning. In: Stadtler, H., Kilger, C.(Eds.), Supply Chain Management and Advanced Planning, second ed. Berlin, p.223-237..
- Kim B, P. C. (2010). Cordinating decisions by supply chain partners in a vendor-managed inventory relationship. journal of manufacturing systems 2010;29:71-80.

- Kim, B., y Oh, H. (2005). The impact of decision-making sharing between supplier and manufacturer on their collaboration performance. *Supply Chain Management: An International Journal*, 10(3), 223–236. <http://doi.org/10.1108/13598540510606287>
- Kumar, K. (2001). Technologies for supporting supply chain management. *Communications of the ACM*, 44 (6), p. 58-61.
- Kwon, O., Im, G. P., y Lee, K. C. (2007). MACE-SCM: A multi-agent and case-based reasoning collaboration mechanism for supply chain management under supply and demand uncertainties. *Expert Systems with Applications*, 33(3), 690–705. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2006.06.015>
- La Londe, B. (1997). Supply Chain Management: Myth or Reality?. *Supply Chain Management Review*. Vol. 1, Spring, p. 6-7.
- La Londe, B. A. (1994). "Emerging Logistics Strategies; Blueprints for the next Century". *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol. 24 No.7, pp. 35-47.
- Lambert, D. J. (1998). "Fundamentals of Logistics Managements". Boston, MA: Irwin/McGraw-Hill. Chapter 14.
- Lambert, D., y Cooper, M. (2000). Issues in Supply Chain Management. *Industrial Marketing Management*, Vol. 29, pp. 65–83, 2000.
- Lamghari, A., Dimitrakopoulos, R., & Ferland, J. A. (2015). A hybrid method based on linear programming and variable neighborhood descent for scheduling production in open-pit mines. *Journal of Global Optimization*, 63(3), 555-582.
- Lamghari, A., Dimitrakopoulos, R., y Ferland, J. A. (2013). A variable neighbourhood descent algorithm for the open-pit mine production scheduling problem with metal uncertainty. *Journal of the Operational Research Society*, 65(9), 1305-1314.
- Lamghari, A., y Dimitrakopoulos, R. (2012). A diversified Tabu search approach for the open-pit mine production scheduling problem with metal uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 222(3), 642-652.
- Langroodi, R. R. P., y Amiri, M. (2016). A system dynamics modeling approach for a multi-level, multi-product, multi-region supply

- chain under demand uncertainty. *Expert Systems with Applications*, 51, 231–244. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.12.043>
- Lario F., y P. (2005). “Gestión de Redes de Suministro (GRdS): sus Tipologías y Clasificaciones. Modelos de Referencia Conceptuales y Analíticos”. IX Congreso de ingeniería de organización. Gijón, 8 y 9 de septiembre de 2005.
- Lario, E., y Vicens, S. (2006). Modelos Conceptuales en Planificación Colaborativa de la Red/Cadena de Suministro (R/CdS) en un contexto de modelado de Procesos de Negocio. In X Congreso de Ingeniería de Organización.
- Lee H., y Billington C. (1993). Material Management in Decentralized Supply Chains. *Operations Research*, 41 (5), p. 835-847.
- Lejeune, M., y Yakova, N. (2005). On characterizing the 4C's in supply chain management. *Journal of Operations Management*, Vol.23, p. 81-100.
- Leng, M., y Parlar, M. (2009). Allocation of Cost Savings in a Three-Level Supply Chain with Demand Information Sharing: A Cooperative-Game Approach. *Operations Research*, 57(1), 200–213. <http://doi.org/10.1287/opre.1080.0528>
- Leng, M., y Parlar, M. (2010). Game-theoretic analyses of decentralized assembly supply chains: Non-cooperative equilibria vs. coordination with cost-sharing contracts. *European Journal of Operational Research*, 204(1), 96–104. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.10.011>
- Leung, S. T. (2007). A robust optimization model for multi-site production planning problem in an uncertain environment. *European Journal of Operational Research* 181 (1), 224–238.
- Li, H.; Hendry, L. y R. Teunter (2009). “A strategic capacity allocation model for a complex supply chain: Formulation and solution approach comparison”. *International Journal of Production Economics* , vol. 121.
- Li, J., Wang, S., y Cheng, T. C. E. (2010). Competition and cooperation in a single-retailer two-supplier supply chain with supply disruption. *International Journal of Production Economics*, 124(1), 137–150. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.10.017>

- Li, W. H. (2007). "The impact of specific supplier development efforts on buyer competitive advantage: an empirical model". *International Journal of Production Economics*, vol. 106, no. 1, pp. 230-247.
- Long, Q. (2016). A multi-methodological collaborative simulation for inter-organizational supply chain networks. *Knowledge-Based Systems*, 96, 84–95. <http://doi.org/10.1016/j.knosys.2015.12.026>
- M., S., y R., S. (2002). The Collaborative Supply Chain. *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 13, No. 1, pp. 15-30, 2002.
- M.A. Rodriguez, A. V. (2014). Optimal supply chain design and management over a multi-period horizon under demand uncertainty. Part I: MINLP and MILP models, *Comput. Chem. Eng.* 62 (2014) 194–210.
- MacCormack, A. D., Newman, L. J., y Rosenfield, D. B. (1994). The new dynamics of global manufacturing site location. *Sloan management review*, 35(4), 69.
- Majchrzak, A., y Wang, Q. (1996). Breaking the functional mind-set in process organizations. *Harvard Business Review*, September-October.
- Manzini, R. (Ed.). (2012). *Warehousing in the global supply chain: Advanced models, tools and applications for storage systems*. Springer Science y Business Media.
- March Consulting Associates Inc. (2012). *How To Successfully Access the Mining Supply Chain*.
- Marin, A., & Londoño, V. (8 de Abril de 2013). El Espectador. Obtenido de Así está el mapa minero del país: <http://www.elespectador.com/noticias/infografia/asi-esta-el-mapa-minero-del-pais-articulo-414719>
- Martínez & Escobar. 2014. El sector Minero Colombiano actual. UPME. COLOMBIA. 29 pp.
- Martínez Ortiz, A. (2012). Impacto socioeconómico de la minería en Colombia. Fedesarrollo, 50. Retrieved from <http://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/375>
- Martínez, A. (2012). Impacto socioeconómico de la Minería en Colombia. Fedesarrollo. Colombia. 50 pp.
- McKaige, W. (2001). Collaborating on the supply chain. *IIE Solutions*, 33(3), 34-34.

- Measham, T. G., Haslam Mckenzie, F., Moffat, K., y Franks, D. M. (2013). An expanded role for the mining sector in Australian society?. *Rural Society*, 22(2), 184-194.
- Mehrjerdi, Z. (2009). The collaborative supply chain. *Assembly Automation*, 29(2), 127-136.
- Mehtap Dursun, E. K. (2011). A fuzzy multi-criteria group decision making framework for evaluating health-care.
- Mendoza, A. 1987. La formación de un cartel en el primer tercio del siglo XX: la industria del cemento portland. *Revista de Historia Económica/Journal of Iberian and Latin American Economic History (Second Series)*.
- Menguzzato M. (2009). La dirección de empresas ante los retos del siglo XXI: los autores. 2009 Publicacions de la Universitat (le Valencia, 2009). ISBN: 978-84-370.
- Mentzer, J. T. (2004). *Fundamentals of supply chain management: Twelve drivers of competitive advantage*. Sage publications.
- Mentzer, J., Witt, W., Keebler, J., Min, S., Nix, N., y Smith, C. (2001). Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 22(2), p. 1-25.
- Min, H. y. (2002). "Supply chain modeling: past, present and future", *Computers y Industrial Engineering*, vol. 43, no. 1-2, pp. 231-249.
- Min, S., y Mentzer, J. (2000). The role of marketing in supply chain management. *International Journal of Physical Distribution y Logistics Management*, Vol.30, Nº.9, p. 765-787.
- Ministerio de Minas (2014). Anuario estadístico minero 2007-2012. Recuperado de: www.minminas.gov.co
- MINISTERIO DE MINAS (2016). ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL PIB MINERO CUARTO TRIMESTRE DE 2015. Minminas. Colombia. 17 pp.
- MINISTERIO DE MINAS (2016). Política minera de Colombia: Base para la minería del futuro. Minminas. Colombia. 62 pp.
- Ministerio de Minas y Energía. (2003). Glosario Técnico Minero. Recuperado de: <http://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>

- Ministerio de Minas y Energía. (2012). Censo Minero: Colombia 2010-2011. ISBN 978-958-98603-5-9. Recuperado de: <http://www.minminas.gov.co/documents/10180/698204/CensoMinero.pdf>
- Ministerio de Minas y Energia. (2013). Cartilla Normativa Minera, 56.
- Ministerio de Minas y Energia. (2015). Mitos & Realidades. Obtenido de <https://www.minminas.gov.co/mitos-y-realidades-mineria>
- Ministerio de Minas y Energía. (2016). Política minera de colombia: Bases para la mineria del futuro.
- Ministerio de Mins y Energia. (2015). Analisis del comportamiento del PIB Minero cuarto trimestre de 2015. Obtenido de <https://www.minminas.gov.co/boletines?idBoletin=257>
- Mirzapour Al-e-Hashem, S. M. (2011). A multiobjective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty. International Journal of Production Economics, 134, 28–42.
- Mishra, A. A., y Shah, R. (2009). In union lies strength: Collaborative competence in new product development and its performance effects. Journal of Operations Management, 27(4), 324–338. <http://doi.org/10.1016/j.jom.2008.10.001>
- Mohammaditabar, D., Ghodsypour, S. H., y Hafezalkotob, A. (2014). A game theoretic analysis in capacity-constrained supplier-selection and cooperation by considering the total supply chain inventory costs. International Journal of Production Economics. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.11.016>
- Montiel, L., y Dimitrakopoulos, R. (2013). Stochastic mine production scheduling with multiple processes: Application at Escondida Norte, Chile. Journal of Mining Science, 49(4), 583–597. <http://doi.org/10.1134/S1062739149040096>
- Montiel, L., y Dimitrakopoulos, R. (2013). Stochastic mine production scheduling with multiple processes: Application at Escondida Norte, Chile. Journal of Mining Science, 49(4), 583–597. <http://doi.org/10.1134/S1062739149040096>
- Nagarajan, M., y Sošić, G. (2008). Game-theoretic analysis of cooperation among supply chain agents: Review and extensions. Euro-

- pean Journal of Operational Research, 187(3), 719–745. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.05.045>
- Nash, J. F. (1950). The bargaining problem. *Econometrica*, 18: 155-162.
- Nyaga, G. N., Whipple, J. M., y Lynch, D. F. (2010). Examining supply chain relationships: Do buyer and supplier perspectives on collaborative relationships differ? *Journal of Operations Management*, 28(2), 101-114. <http://doi.org/10.1016/j.jom.2009.07.005>
- Ohmae, K. (1995). Putting global logic first. *Harvard business review*, 73(1), 119-124.
- Pardo, Cultrone, Garibaldi, Rodríguez, de la Torre & Valverde-Palacios. 2008. La caliza de Sierra Elvira: comportamiento petrofísico de una piedra significativa del Patrimonio Arquitectónico Andaluz.
- PEDCTI. (2013). PLAN ESTRATEGICO DEPARTAMENTAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN DE SUCRE SUCRE INNOVACION DE SUCRE.
- Perfil Departamento de Sucre. MINCIT con base en DANE Cuentas Departamentales Fecha de actualización: 01 de abril del 2015.
- Perpiñan, G. (2014). Optimización de los procesos mineros realizados en el area de cantera en la planta cementera del grupo ARGOS, Toluviejo (Tesis de grado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia). Obtenido de <http://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1522/1/TGT-263.pdf>
- Pimentel, B. S., Mateus, G. R., y Almeida, F. A. (2011). Stochastic capacity planning in a global mining supply chain. In Computational Intelligence In Production And Logistics Systems (CIPLS), 2011 IEEE Workshop On (pp. 1-8). IEEE.
- Pimentel, B. S.; Mateus, G. R. y Almeida F. A. (2010). Mathematical models for optimizing the global mining supply chain, in Intelligent Systems in Operations: Models, Methods and Applications, B. Nag, Ed. Hershey, Pennsylvania: IGI Global, pp. 133–163.
- Poirel C., y Bonet D. (2006). La chaîne logistique, un cadre conceptuel alternatif au canal de distribution pour analyser les rapports de pouvoir et de dépendance entre acteurs. Dans Les chaînes logistiques multi-acteurs, ouvrage coordonné par G. Paché et A. Spalanzani, P.U.G.

- Porta, J. d. (1962). Léxico estratigrafico. Obtenido de La Minería en Colombia: <http://lamineria.com.co/lombia/wp-content/uploads/2015/09/LEXICO-ESTRATIGRAFICO-J.-DE-POR TA.pdf>
- Porter, M. (2008) On Compétition, Boston. MA: Harvard Business School Press.
- Porter, M. E. (1999). Competição: estratégias competitivas essenciais. Gulf Professional Publishing.
- Preiss, K., Goldman, S.L. and Nagel, R.N. (1996), Cooperate to Compete: Building Agile Business Relationships, Van Nostrand Reinhold, New York, NY.
- Prékopa, A. (1995). Stochastic programming, volume 324 of Mathematics and its Applications.
- Prieto, I. R. (2011). Asociatividad Empresarial Como Estrategia. Ecuador: Universidad Andina Simón Bolívar.
- PROCOLOMBIA. Oportunidades de Negocio en sector Materiales de construcción. Recuperado: 13/Diciembre/2016. <http://www.procolombia.co/node/1179>
- PROEXPORT COLOMBIA. PERFIL SECTORIAL - MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Recuperado: 12/Diciembre/2016. <http://www.colombiatrade.com.co/>
- Quijano, P., & Pardo, M. del pilar. (2012). Elementos diagnósticos para una caracterización de la minería en Colombia.
- Raghunathan, S. (2001). Information Sharing in a Supply Chain: A Note on its Value when Demand Is Nonstationary. *Management Science*, 47(4), 605–610. <http://doi.org/10.1287/mnsc.47.4.605.9833>
- Ramanathan, U. (2013). Aligning supply chain collaboration using Analytic Hierarchy Process. *Omega*, 41(2), 431–440. <http://doi.org/10.1016/j.omega.2012.03.001>
- Ramanathan, U., y Gunasekaran, A. (2014). Supply chain collaboration: Impact of success in long-term partnerships. *International Journal of Production Economics*, 147(PART B), 252–259. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.06.002>
- Ramanathan, U., y Muyldermans, L. (2010). Identifying demand factors for promotional planning and forecasting: A case of a soft drink com-

- pany in the UK. International Journal of Production Economics, 128(2), 538–545. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.07.007>
- Ramani, R. V. (2012). Surface Mining Technology: Progress and Prospects. Procedia Engineering, 46, 9–21. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.09.440>
- Ray, S. L. (2005). Tailored supply chain decision making under price-sensitive stochastic demand and delivery uncertainty. Management Science 51.
- Reina.M., C. M. (2008). La minería en Colombia: Impacto Socioeconómico y fiscal, Fedesarrollo, Colombia. Pag 10-15.
- Ren, Z. J., Cohen, M. a., Ho, T. H., y Terwiesch, C. (2010). Information Sharing in a Long-Term Supply Chain Relationship: The Role of Customer Review Strategy. Operations Research, 58(December 2015), 81–93. <http://doi.org/10.1287/opre.1090.0750>
- Renna, P., y Argoneto, P. (2011). Capacity sharing in a network of independent factories: A cooperative game theory approach. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 27(2), 405–417. <http://doi.org/10.1016/j.rcim.2010.08.009>
- Rey, M. (2001). “Supply Chain Collaboration”. Transport y Logistics, Business Briefinbg: Global Purchasing and Supply Chain Networks. pp. 40-42
- Robusté, F. (2008). Logística del transporte. UPC Barcelona, pág. 56.
- Rohde, J. y. (2002). “Master Planning. In: Stadtler, H., Kilger, C. (Eds.)”, Supply Chain Management and Advanced Planning, second ed. Berlin, pp. 143– 160.
- Rohde, J., Meyr, H., y Wagner, M. (2000). Die supply chain planning matrix(No. 36716). Darmstadt Technical University, Department of Business Administration, Economics and Law, Institute for Business Studies (BWL).
- Rohde, J., Meyr, H., y Wagner, M. (2000). Die supply chain planning matrix. pps management,5:10-5.
- Rohde, J., y Wagner, M. (2002). Master Planning. In: stadler, H., kilger, C (Eds), Supply Chain Management and advance planning, second ed.

- Rosenthal, E. C. (2008). A game-theoretic approach to transfer pricing in a vertically integrated supply chain. *International Journal of Production Economics*, 115(2), 542–552. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.05.018>
- Roy, A. (2015). Optimal Pricing of competing retailers under uncertain demand a two layer supply chain model.
- S.M.J. Mirzapour Al-e-Hashem, H. M. (2011). A multi-objective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty, *Int. J. Prod. Econ.* 138 . Repetida
- Sahay, B. (2003). “Supply Chain Collaboration: The Key to Value Creation”. *Supply Chain Management: An International Journal*. Vol. 52, No. 2, pp. 76-83.
- Sánchez, M. (2008). Cuantificación y generación de valor en la cadena de suministro extendida. Del Blanco editores.
- Sánchez, R.V. (2008). Establishing a transport operation focused uncertainty model for the supply chain. *International Journal of Physical Distribution y Logistics Management* 38(5), pp. 388411.
- Sankar, S., Acevedo, J., y Salas, K. (2014). A three layer supply chain model with multiple suppliers, manufacturers and retailers for multiple items. *Applied Mathematics and Computation*, 229, 139–150. <http://doi.org/10.1016/j.amc.2013.12.006>
- Santacreu, D. A. 2007. Primeras aproximaciones a la tecnología cerámica prehistórica en la península de Calviá (Mallorca). *Arqueología y Territorio*.
- Sebastião Roberto Soares, A. R. (2013). Applications of life cycle assessment and cost analysis in health care waste management.
- Sepideh Jahandideh a, S. J. (2009). The use of artificial neural networks and multiple linear regression to predict rate of medical waste generation.
- Sepúlveda, J. A. (2008). Coordination and demand uncertainty in supply chain. *Production Planning and Control*. Vol. 19, No. 7, pp. 712-721.
- Seyedesfahani, M. M., Biazaran, M., y Gharakhani, M. (2011). A game theoretic approach to coordinate pricing and vertical co-op advertising in manufacturer-retailer supply chains. *European Journal*

- of Operational Research, 211(2), 263–273. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.11.014>
- Shafiei, F., Sundaram, D., y Piramuthu, S. (2012). Multi-enterprise collaborative decision support system. *Expert Systems with Applications*, 39(9), 7637–7651. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.01.029>
- Shapley, L. S. (1953). A value for n-person games. En Kuhn, H.W.; Tucker, A. (eds.) *Contributions to the Theory of Games II*, Princeton University Press.
- Sheu, C., Yen, H. R., y Chae, B. (2006). Determinants of supplier-retailer collaboration: Evidence from an international study. *International Journal of Operations y Productions Management*, 26(1), 24-49
- Shishvan, M. S., & Sattarvand, J. (2015). Long term production planning of open pit mines by ant colony optimization. *European Journal of Operational Research*, 240(3), 825–836. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.07.040>
- Simatupang, T. A. (2008). “Design for supply chain collaboration”. *Business Process Management Journal*. Vol. 14, No. 3, pp. 401-418.
- Simatupang, T. M., & Sridharan, R. (2004). Benchmarking supply chain collaboration: an empirical study. *Benchmarking: An International Journal*, 11(5), 484-503. <http://doi.org/10.1108/14635770410557717>
- Simatupang, T. Y. (2002). “The collaborative supply chain”. *International Journal of Logistics*.
- Simatupang, T., y Sridharan R. (2005), “An integrative framework for supply chain collaboration”. *The International Journal of Logistics Management*, Vol.16, No.2, pp.257-274.
- Singh, P. J., y Power, D. (2009). The nature and effectiveness of collaboration between firms, their customers and suppliers: a supply chain perspective. *Supply Chain Management: An International Journal*, 14(3), 189–200. <http://doi.org/10.1108/13598540910954539>
- Sinha, A. K., Aditya, H. K., Tiwari, M. K., y Chan, F. T. S. (2011). Agent oriented petroleum supply chain coordination: Co-evolutionary Particle Swarm Optimization based approach. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 6132–6145. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.11.004>
- Sistema de Información Minero Colombiano. (enero de 1996). Información tomada de archivos que reposan en la Biblioteca del Ministerio de

Minas y Energía y entidades relacionadas del sector. Explotación de Arenas y Arcillas; Explotación a cielo abierto. (Archivo de video). Obtenido de <http://www.simco.gov.co/Inicio/Videos/tabcid/381/Default.aspx>

- Songini, M. (2002). "Collaborative planning still eyed with caution". Computerworld, <http://computerworld.com/>.
- Songini, M. L., y Sliwa, C. (2002). Collaborative planning still eyed with caution. Computerworld, 36(7), 10.
- Stadtler, H. (2002). "Supply Chain Management and Advanced Planning: Concepts, Models, Software.
- STADTLER, H. (2005). Supply Chain Management and advanced planning-basics, overview and challenges. European journal of operational research. Vol. 163, p. 575-588.
- Stadtler, H., y Kilger, C. (2002). Supply Chain Management and Advanced Planning: Concepts, Models, Software and Case Studies. Berlin.
- Stank, T. K. (2001). "Supply chain collaboration and logistical service performance", Journal of Business Logistics, Vol.22, Nº.1, pp. 29-48.
- Stank, T. P., Keller, S. B., y Daugherty, P. J. (2001). Supply chain collaboration and logistical service performance. Journal of Business logistics, 22(1), 29-48.
- Stevens G. (1989). Integrating the Supply Chain. International Journal of Physical Distribution y Materials Management, 19, p. 3-8.
- Stock, G. y Greis, N. Y. (1999). Logistics, Strategy And Structure.
- Sun, L., y Ma, Y. (2010). On cooperation and competition between upstream and downstream companies in supply chain. Logistics Systems and Intelligent Management, International Conference on Volume: 3 P. 1513 – 1517
- Tah, J. H. (2005). Towards an agent-based construction supply network modelling and simulation platform, Automation in Construction 14(3): 353–359.
- Tarolli, P., Preti, F., & Romano, N. (2014). Terraced landscapes: From an old best practice to a potential hazard for soil degradation due to land abandonment. Anthropocene, 6, 10–25. <http://doi.org/10.1016/j.ancene.2014.03.002>

- TRANSFORMER, (2005). Optimización de la cadena de abastecimiento. En línea, recuperado de: <http://www.e-transformer.com>
- Tseng, Y.-J., Jhang, J.-F. y Huang, F.-Y. (2007). Multi-plant assembly planning models for a collaborative manufacturing environment. International Journal of Production Research, Vol. 45, No. 15, pp. 3333-3349.
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2014). Indicadores de la minería en Colombia. Bogotá.
- UPME, (2006). El plan nacional para desarrollo minero visión 2019. Recuperado de: www.upme.gov.co/Docs/PNDM_2019_Final.pdf
- UPME, (2010). Distritos Boletín Estadístico de Minas y Energía 1990-2010. Bogotá: UPME. 71p
- UPME. 2014. Evaluación de la situación actual y futura del mercado de los materiales de construcción y arcillas en las ciudades de Bogotá, Medellín, Bucaramanga, Barranquilla, Santa Marta Y Eje Cafetero. Revisión 01. Informe ejecutivo. Colombia. 58 pp.
- UPME. 2014. Indicadores de la Minería en Colombia. Subdirección de planeación minera. Recuperado de: http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Minero/2014/
- Van der Vaart, T., y Van Donk, D. P. (2004). Buyer focus: evaluation of a new concept for supply chain integration. International Journal of Production Economics, 92(1), 21-30.
- Van Dijk & Oomen. 1978. Filtración lenta en arena para abastecimiento público de agua en países en desarrollo: manual de diseño y construcción. In CIR Serie Documentos técnicos (Vol. 11). Cepis. Recuperado de: http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/guiocalde/2sas/d23/069_Filtro_Lento_de_Arena/Filtro_Lento_de_Arena.pdf
- Vernadat, F. B. (1996). Enterprise integration: On business process and enterprise activity modelling. Concurrent Engineering, 4(3), 219-228.
- Vics. (2004). “Voluntary Interindustry Commerce Standards Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment (CPFR)”. Recuperado de: http://www.vics.org/standards/CPFR_Overview_US-A4.pdf.

- Vonderembse, M. U. (2006). "Designing supply chains: Towards theory development". *International Journal of Production Economics*, Vol. 100 No. 2, pp. 223- 238.
- Vrijhoef, R., y Koskela, L. (1999). Roles of supply chain managent in construction, in Proc. of the Roles of Supply Chain Management in Construction, 26-28 July, 1999, University of California, Berkeley, CA, USA, 133-146.
- Walsh, K. D., Hershauer, J. C., Tommelein, I. D. y Walsh, T. A. (2004). Strategic Positioning of Inventory to Match Demand in a Capital Projects Supply Chain, *Journal of Construction Engineering y Management* 130(6): 818-826.
- Wang, D., Du, G., Jiao, R. J., Wu, R., Yu, J., y Yang, D. (2016). A Stackelberg game theoretic model for optimizing product family architecting with supply chain consideration. *International Journal of Production Economics*, 172, 1-18.
- Wang, H., Guo, M., y Efstathiou, J. (2004). A game-theoretical cooperative mechanism design for a two-echelon decentralized supply chain. *European Journal of Operational Research*, 157(2), 372-388. [http://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00233-9](http://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00233-9)
- Weng, Z. M. (2003). Coordinated ordering decisions for short life cycle products with uncertainty in delivery time and demand. *European Journal of Operational Research* 151 (1), 12-24.
- Womack, J. P., y Jones, D. T. (1996). Beyond Toyota: how to root out waste and pursue perfection. *Harvard business review*, 74(5), 140.
- Wullink, G. G. (2004). Scenario-based approach for flexible resource loading under uncertainty. *International Journal of Production Research* 42 (24), 5079-5098.
- Xiao, T., y Qi, X. (2008). Price competition, cost and demand disruptions and coordination of a supply chain with one manufacturer and two competing retailers. *Omega*, 36(5), 741-753. <http://doi.org/10.1016/j.omega.2006.02.008>
- Xiaofen, J., Wei C., Lei H., Fei Z. y Shufang L. (2011) Research on Distribution Mechanism of Supply Chain Risk Based on Cooperative Games.

- Xie, J., y Neyret, A. (2009). Co-op advertising and pricing models in manufacturer-retailer supply chains. *Computers and Industrial Engineering*, 56(4), 1375–1385. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2008.08.017>
- Xifengru, Houxilin, Chenerdong, y Wangweiwei. (2011). Discussion in the mining industry of ecology and sustainable development. *BMEI 2011 - Proceedings 2011 International Conference on Business Management and Electronic Information*, 1, 81–83. <http://doi.org/10.1109/ICBMEI.2011.5916879>
- Zhang, K., y Kleit, A. N. (2016). Mining rate optimization considering the stockpiling: A theoretical economics and real option model. *Resources Policy*, 47, 87–94. <http://doi.org/10.1016/j.resourpol.2016.01.005>
- Zhang, X., y Huang, G. Q. (2010). Game-theoretic approach to simultaneous configuration of platform products and supply chains with one manufacturing firm and multiple cooperative suppliers. *International Journal of Production Economics*, 124(1), 121–136. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.10.016>
- Zhao, Y., Wang, S., Cheng, T. C. E., Yang, X., y Huang, Z. (2010). Coordination of supply chains by option contracts: A cooperative game theory approach. *European Journal of Operational Research*, 207(2), 668–675. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.05.017>
- Zhao, Y., Zhou, Y., Li, C., y Cao, Z. (2012). SCM-based optimization of production planning for coal mine. In *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, 2012 9th International Conference on (pp. 968-972). IEEE.
- Zijm, W. H. M. (2000). Towards intelligent manufacturing planning and control systems. *OR-Spektrum*, 22(3), 313–345.



Edición digital

Caracterización de los procesos asociados a la producción de materiales para la
construcción y productos derivados en Sucre, Colombia.

Un enfoque de integración y colaboración para la mejora de competitividad

Sincelejo, Sucre, Colombia

Septiembre de 2019



**PROGRAMA DE FORMACIÓN DE CAPACIDADES EN CT+I
EN EL DEPARTAMENTO DE SUCRE, CARIBE**

Núcleo

**Procesos Asociados a la Producción de Materiales para la Construcción
y Productos Derivados**