
Diseño de Estrategias para la Mitigación de la Huella de Carbono Generada por la Trituradora
San José en la Extracción de Agregados para la Construcción en el Municipio de Toluviejo,
Sucre

Fraiman José Sierra de Hoyos

Corporación Universitaria del Caribe – CECAR
Facultad de Ciencias Básicas, Ingenierías y Arquitectura
Programa de Ingeniería Industrial
Sincelejo – Sucre
2019

Diseño de Estrategias para la Mitigación de la Huella de Carbono Generada por la Trituradora
San José en la Extracción de Agregados para la Construcción en el Municipio de Toluviejo,
Sucre

Frیمان José Sierra de Hoyos

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Industrial

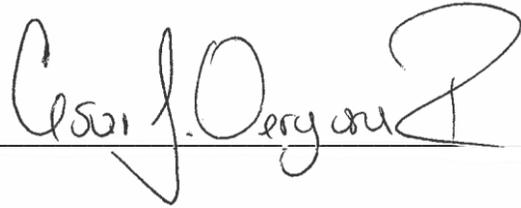
Director
Cesar José Vergara Rodríguez

Co-Director
Gean Pablo Mendoza Ortega

Corporación Universitaria del Caribe – CECAR
Facultad de Ciencias Básicas, Ingenierías y Arquitectura
Programa de Ingeniería Industrial
Sincelejo – Sucre
2019

Nota de Aceptación

3.7



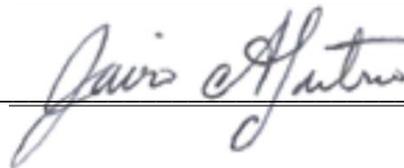
Director



Codirector



Evaluador 1



Evaluador 2

Dedicatoria

Toda la gloria y honra sea para Dios que nos regala cada día más fortaleza y perseverancia para alcanzar la victoria en cada etapa de la vida.

A mis padres por hacer posible cada nueva experiencia enriquecedora, gracias por sus constantes esfuerzos y atenciones.

Agradecimientos

Agradecido con Dios por bendecirme con el hogar que toda persona desea tener, con los padres y hermanas que hacen de cada momento un maravilloso recuerdo, son el motor que me impulsa para perseverar y a soñar en grande. Al director Cesar José Vergara Rodríguez y al codirector Gean Pablo Mendoza Ortega, por la motivación y dirección impuesta por cada uno en el proceso de investigación y construcción del presente proyecto de grado, a la TRITURADORA SAN JOSÉ DE TOLUVIEJO y sus colaboradores por su amabilidad y cooperación.

Y a todas esas personas que hicieron parte de esta grata experiencia.

Eternamente agradecido con todos.

Tabla de Contenido

Resumen.....	12
Abstract.....	13
Introducción.....	14
Capitulo 1: Estado del Arte.....	18
1.1 La Huella de Carbono en el Mundo.....	18
1.2 La Huella de Carbono en el Colombia.....	18
1.3 La Industria Extractiva en el Mundo.....	25
1.4 La Industria Extractiva en Colombia.....	29
1.5 Principales metodologías para la medición de la huella de carbono.....	31
2. Metodología Pas 2050.....	33
Capitulo 2: Resultados.....	36
3.1 Metodología.....	36
3.2 Características del sector de extracción y trituración de la piedra caliza.....	38
3.2.1 Municipio de Toluviejo, Departamento de Sucre.....	38
3.3 Proceso productivo de la extracción de la piedra Caliza.....	42
3.3.1 Eliminación del material estéril.....	43
3.3.2 Extracción del material agregado para la construcción.....	44
3.3.3 Cargue del material agregado para la construcción.....	46
3.3.4 Transporte del material agregado para la construcción.....	47
3.3.5. Descargue del material agregado para la construcción.....	48
3.3.6. Trituración del material agregado para la construcción.....	49
3.3.7. Clasificación del material agregado para la construcción triturado.....	52
3.3.8. Almacenamiento del material agregado para la construcción triturado.....	53
3.3.9. Venta del material agregado para la construcción triturado.....	54

3.4. Características de la Trituradora San José	55
3.5. Límites del cálculo de la huella de carbono	55
3.6. Mapa de proceso productivo de la trituradora San José.....	60
3.7 Descripción por producto del proceso productivo de la trituradora San José.....	63
3.7.1. Triturado Grueso (35 mm y 12 mm).	63
3.7.2. Triturado Medio o Gravillon (12mm y 8mm).	65
3.7.3 Triturado Fino o Gravilla.....	66
3.7.4 Polvillo.....	67
3.8. Recolección de datos.....	68
3.8.1. Inventario de materia prima (Mp) y producto terminado (Pt) de la Trituradora San José.....	70
3.8.2 Inventario de maquinaria y equipos de la Trituradora San José.....	71
3.8.3 Inventario de equipos de combustión de la Trituradora San José - Alcance 1.....	72
3.8.4 Consumo de combustibles por remoción, explotación y transporte de materia Prima en la Trituradora San José.....	73
3.8.5 Inventario de equipos eléctricos en el proceso de trituración en la Trituradora San José – Alcance 2.....	75
3.8.6 Consumo eléctrico en la producción de Polvillo.....	76
3.8.7 Consumo eléctrico en la producción de Gravilla.....	78
3.8.8 Consumo eléctrico en la producción de Triturado Grueso.....	80
3.8.9 Consumo eléctrico en la producción de Gravillon.....	82
Capítulo 4: Resultado de la Huella de Carbono.....	86
4. Cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero propiciadas del consumo de combustibles	86

4.1 Calculo de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero generadas de consumo eléctrico.....	87
4.1.1 Emisiones de consumo eléctrico en la producción de Gravillon en la Trituradora San José.....	88
4.1.2 Emisiones de consumo eléctrico en la producción de Triturado Grueso en la Trituradora San José	89
4.1.3 Emisiones de consumo eléctrico en la producción de Gravilla en la Trituradora San José.....	90
4.1.4 Emisiones de consumo eléctrico en la producción de Polvillo en la Trituradora San José.....	90
4.2 Resumen de emisiones de Gases de Efecto Invernadero por producto.....	91
4.2.1 Consumo Eléctrico.....	91
4.2.2 Emisiones de Gases de efecto Invernadero.....	92
4.3 Discusión.....	93
4.4 Aportes Significativos.....	94
Estrategias.....	96
Conclusiones.....	100
Referencias Bibliograficas.....	102

Lista de Tablas

Tabla 1. Factor de emisión para la energía eléctrica adquirida por año.....	24
Tabla 2. Métodos más relevantes para la determinación de la huella de carbono.....	30
Tabla 3. Empresas y organizaciones del sector agregados para la construcción en el municipio de Tolu Viejo.....	38
Tabla 4. Clasificación de la piedra caliza según sus dimensiones.....	51
Tabla 5. Tipos de productos derivados de la piedra caliza.....	55
Tabla 6. Volumen de Mp y Pt de la Trituradora San José.....	66
Tabla 7. Consumo de materia prima por producto de la Trituradora San José.....	67
Tabla 8. Inventario de máquinas y equipos de la Trituradora San José.....	68
Tabla 9. Inventario de equipos de combustión de la Trituradora San José.....	69
Tabla 10. Consumo de combustible explotación, transporte y eliminación de material estéril de la Trituradora San José.....	70
Tabla 11. Inventario de equipos de trituración de la Trituradora San José.....	71
Tabla 12. Inventario de consumo eléctrico en la producción de polvillo en la Trituradora San José.....	72
Tabla 13. Consumo eléctrico de la producción de polvillo de la Trituradora San José.....	73
Tabla 14. Inventario de consumo eléctrico en la producción de Gravilla en la Trituradora San José.....	74
Tabla 15. Consumo eléctrico de la producción de Gravilla de la Trituradora San José.....	75
Tabla 16. Inventario de consumo eléctrico en la producción de Triturado Grueso en la Trituradora San José.....	76
Tabla 17. Consumo eléctrico de la producción de Triturado Grueso de la Trituradora San José.....	77

Tabla 18. Inventario de consumo eléctrico en la producción de Gravillon en la Trituradora San José.....	78
Tabla 19. Consumo eléctrico de la producción de Gravillon de la Trituradora San José.....	79
Tabla 20. Emisiones de GEI de combustibles por producto de la Trituradora San José.....	81
Tabla 21. Emisiones por consumo eléctrico en la producción de Gravillon en la Trituradora San José.....	82
Tabla 22. Emisiones por consumo eléctrico en la producción de Triturado Grueso en la Trituradora San José.....	83
Tabla 23. Emisiones por consumo eléctrico en la producción de Gravilla en la Trituradora San José.....	84
Tabla 24. Emisiones por consumo eléctrico en la producción de Polvillo en la Trituradora San José.....	85
Tabla 25. Emisiones de GEI de electricidad por producto.....	86
Tabla 26. Emisiones de GEI de combustible y electricidad por producto.....	86
Tabla 27. Matriz de impactos al medio ambiental más relevantes.....	87
Tabla 28. Alternativas acordes a la emisión directa por el transporte del material.....	90
Tabla 29. Alternativas acordes a la emisión indirecta por el transporte del material.....	92

Lista de Figuras

Figura 1. Metodología PAS 2050.....	16
Figura 2. Generación de energía, emisiones de CO2 Eq, cuando se presenta el fenómeno el niño del SIN comprendiendo los años de 1990 hasta el 2016.....	23
Figura 3. Mapa Municipio de Tolviejo, Departamento de Sucre.....	36
Figura 4. Proceso productivo de la extracción de la piedra Caliza.....	40
Figura 5. Máquina para la eliminación de material estéril.....	41
Figura 6. Forma artesanal en la que se extrae la piedra caliza.....	42
Figura 7. Perforaciones de la piedra caliza.....	43
Figura 8. Piedra caliza en sus diferentes dimensiones.....	43
Figura 9. Zona montañosa de la que se extrae la piedra caliza.....	44
Figura 10. Forma de cargue de la piedra caliza.....	45
Figura 11. Equipos de transporte de la piedra caliza.....	46
Figura 12. Descargue y alimentador vibratorio del proceso productivo.....	47
Figura 13. Tolva y la trituración de la piedra caliza.....	48
Figura 14. Almacenamiento de la piedra caliza en sus diferentes derivados.....	49
Figura 15. Clasificación de la piedra caliza.....	50
Figura 16. Clasificación y almacenamiento de la piedra caliza.....	52
Figura 17. Ubicación de la Trituradora San José en el municipio de Tolviejo.....	53
Figura 18. Mapa de procesos general de la Trituradora San José.	58
Figura 19. Mapa de procesos del Triturado Grueso en la Trituradora San José.....	60
Figura 20. Mapa de procesos del Gravillon en la Trituradora San José.....	61
Figura 21. Mapa de procesos de la Gravilla en la Trituradora San José.....	62
Figura 22. Mapa de procesos de Polvillo en la Trituradora San José.....	63

Resumen

En el Municipio de Toluviejo, la industria extractiva de agregados emite gases de efecto invernadero al ambiente del lugar, lo que amerita la implementación de estrategias para la medición y cuantificación de los mismos. Esta medición va a brindar la oportunidad de identificación de las posibles alternativas para la reducción de estas emisiones que van directamente al ambiente (Juvinao, 2012). De esta situación nace la iniciativa de desarrollo del proyecto, en el cual se va a implementar un sistema de medición de la huella de carbono, basado en la metodología PAS 2050:2011, aplicado en la Trituradora San José.

El trabajo que se desarrolla a continuación tiene como objetivo diseñar estrategias para la mitigación del impacto ambiental generado por la Trituradora San José en la extracción de agregados para la construcción en el municipio de Toluviejo, Sucre mediante el análisis de la huella de carbono. Es un trabajo de aplicación práctico, enmarcado en la construcción de mapas de procesos comprendiendo el ciclo de vida de la cuna a la puerta, la identificación de las actividades que representan la mayor emisión de gases de efecto invernadero durante el proceso productivo de una empresa de la región para posteriormente proponer estrategias que conlleven la minimización del impacto que los gases de efecto invernadero actualmente generan.

Es una propuesta con un diseño basado en un enfoque cuantitativo - analítico, soportada en un estudio cualitativo con la utilización de fuentes primarias y secundarias de información para facilitar el logro de los resultados propuestos anteriormente. De igual manera, se lleva a cabo un trabajo de campo que va a ser fundamental para lograr el total éxito de este trabajo y facilitar la operacionalización de los objetivos. En lo que algunas conclusiones respectan el agregado para la construcción que mayor volumen representa como aquel que un menor índice de emisiones de GEI tiene, lo cual es un aporte muy significativo de la Trituradora San José hacia el medio ambiente.

Palabras Clave: Carbono, gases, impacto, ambiental.

Abstract

In the Municipality of Toluviéjo, the extractive industry of aggregates greenhouse gases in the environment of the place, which merits the implementation of strategies for the measurement and quantification of the same. This measure is an opportunity for the opportunity to identify possible alternatives for the reduction or reduction of these emissions that go directly to the environment (Juvinao, 2012). From this situation arises the initiative of development of the project, which will implement a system of measurement of carbon footprint, based on the methodology PAS 2050: 2011, applied in the extraction and production of this material in the extractive industry of aggregates of said municipality.

The objective of the work that follows is to design strategies for the mitigation of the environmental impact generated by the San José crusher in the extraction of aggregates for construction in the municipality of Toluviéjo, Sucre through the analysis of the carbon footprint. It is a work of practical application, framed in the construction of process maps, which seeks the identification of the main activities that are part of the production process of a company in the region to later propose strategies that involve the minimization of the effects of gases of greenhouse effect that these actions generate to the environment.

It is a proposal with a design based on a quantitative - analytical approach, supported in a qualitative study with the use of primary and secondary sources of information to facilitate the achievement of the previously proposed results. In the same way, a fieldwork is carried out that will be fundamental to achieve the total success of this work and facilitate the operationalization of the objectives. In what some conclusions regards the aggregate for the construction that greater volume represents as the one that a lower index of GHG emissions has, which is a very significant contribution of the San José crusher to the environment.

Keywords: Carbon, gases, impact, environmental.

Introducción

El presente trabajo se refiere al impacto ambiental generado en una empresa extractiva de agregados para la construcción en el municipio de Tolviejo, la cual es una fuente característica de empleo para la mayor parte de los habitantes; representando el único aspecto positivo de esta actividad, ya que el efecto posterior a su ejecución según el autor Herrán (2012) genera efectos adversos en el ambiente e incluso a los habitantes de los lugares donde se emiten este tipo de gases de efecto invernadero (GEI). Por esto, se realiza con la intención de determinar el factor del proceso productivo que más afecta al medio ambiente del municipio para luego diseñar estrategias para la mitigación del impacto ambiental generado por la Trituradora San José en la extracción de agregados para la construcción en el municipio de Tolviejo, Sucre mediante el análisis de la huella de carbono.

Asimismo, surge de la problemática del cambio climático y las consecuencias del mismo ya que el cambio climático se ha convertido en un aspecto de preocupación mundial en la que se observa una serie de alteraciones generadas a causa del calentamiento global que sufre el planeta; que a su vez son ocasionados por lo que se conoce como gases de efecto invernadero (GEI), lo cual conlleva a consecuencias preocupantes como son inundaciones, olas de calor, lluvias torrenciales, sequías interminables, huracanes, etc. (Elías, Jiménez, Montón, Muñoz, Prieto y Serrano, 2008).

Sin embargo, al tratarse de un contexto en específico, este proyecto se limita solo a la recolección de información propiciada por la empresa para la posterior realización del cálculo de la huella de carbono; no requiriendo muestras para realizar pruebas experimentales que arrojen el factor que mayor contaminación ambiental genera.

La presente propuesta de grado se encuentra enmarcada dentro del proyecto denominado “Propuesta para la disminución del impacto en el cambio climático generado por la producción

de agregados para la construcción provenientes de la caliza en el municipio de Toluviéjo, basada en el análisis de la huella de carbono'', este proyecto fue aprobado a través de una convocatoria interna para la conformación de un banco de elegibles de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico en el año 2016; en donde uno de sus objetivos establece la caracterización de este impacto en el sector. Por tal motivo esta propuesta de grado responde a la cuantificación del impacto en el cambio climático generados por esta actividad en una empresa de este sector.

El trabajo desarrollado se compone de algunos apartes entre los que se encuentran los siguientes: Un resumen ejecutivo que conlleva un acercamiento del lector hacia el tema objeto de la misma, conceptos relacionados con la huella de carbono y la determinación de las emisiones de gases de efecto de invernadero en el ambiente del municipio.

Es debido a lo anterior que su objetivo general es el diseño de estrategias para la mitigación del impacto ambiental generado por la Trituradora San José en la extracción de agregados para la construcción en el municipio de Toluviéjo, Sucre mediante el análisis de la huella de carbono.

Así mismo, la construcción de mapas de procesos del ciclo de vida que va de la cuna a la puerta de los agregados extraídos por la Trituradora San José del municipio de Toluviéjo, el segundo tiene el propósito de identificar las actividades promotoras de la mayor emisión de gases de efecto invernadero en la Trituradora San José del municipio de Toluviéjo mediante el cálculo de la huella de carbono y el último tiene la intención de sugerir iniciativas de reducción ante la situación ambiental que presente la Trituradora San José del municipio de Toluviéjo a causa de la emisión de gases efecto invernadero generados por la extracción de agregados para la construcción.

Mostrando las acciones pertinentes para el trabajo de campo relacionado con la medición de la huella de carbono en la empresa extractiva de agregados para la construcción llamada Trituradora San José del municipio de Toluviéjo, así como los efectos que esta puede generar en

el entorno del lugar y sus habitantes; basados en el PAS 2050, la cual es una metodología la cual se enfoca solo en las actividades que corresponden al proceso productivo dentro de una empresa u organización para medir el cálculo de la huella de carbono. A continuación se ilustrará la estructura que sigue la metodología:

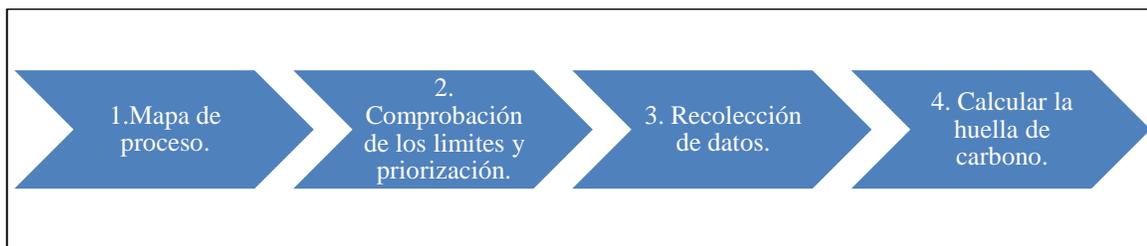


Figura 1. Metodología PAS 2050

Fuente: Olmos & Frohman (2013)

En el apartado de resultados, se muestra la información recolectada en la Trituradora San José del municipio de Tolviejo, Sucre, la operacionalización de los objetivos y los resultados de la medición de la huella de carbono, con sus respectivos porcentajes y la comparación con los niveles de emisión que ha tenido otra empresa anteriormente estudiada en el municipio de Tolviejo, Sucre, posteriormente las conclusiones del trabajo y las recomendaciones, las referencias bibliográficas o las fuentes que se consultaron en el desarrollo del mismo.

Capítulo 1

Estado del Arte

1.1 La Huella de Carbono en el Mundo

La huella de carbono es una herramienta de suma importancia para evitar los altos impactos de las emisiones de gases de tipo efecto invernadero en el ambiente; al respecto Fort y Cerný (2018) resaltan la importancia de su aplicación, para evitar que el rápido crecimiento industrial y el transporte generan impactos negativos en el ambiente; permiten proponer estrategias tendientes a disminuir la concentración del dióxido de carbono en la atmosfera, aplicación de principios de preservación de la sostenibilidad y la preservación de las condiciones del medio ambiente, el fortalecimiento de los procesos de desarrollo sostenible y la mitigación de los gases de efecto invernadero.

Doménech (2011) define la huella de carbono como una medición de las emisiones directa del CO₂ y de los gases de efecto invernadero; de igual manera, la conversión a estos en la consumición de recursos, así como, los gases que se absorben porque los entornos bioproductivos están ocupados. Todo ello desemboca en la idea que la huella de carbono es un indicador que muestra el impacto físico-químico de la actuación humana y la huella que va dejando, con sus actividades, en la ecología.

Schneider y Samaniego (2010) precisan la huella de carbono como una medición que busca mostrar el impacto que producen los gases del efecto invernadero en el medio ambiente, debido a todas las actividades productivas del hombre, ya sean individuales, colectivas, eventuales y en la producción de bienes y servicios. Esta medición determina la cantidad de dióxido de carbono, que equivalen al efecto invernadero que se presentan en la actividad de quema de combustibles fósiles, que se utilizan en los procesos productivos de la energía, para la calefacción y el transporte.

Galvez, y Velasquez (2016), definen la huella de carbono como una suma de emisión directa e indirecta de gases de efecto invernadero que está asociada a las actividades productivas de una empresa y que se expresa en forma de CO₂; es el cálculo que se elabora a partir de un inventario de las emisiones que se dan en la fuente de las mismas y que son descargados en un tiempo determinado.

Chacón, Pinzón, Ortegón y Rojas (2016) concretan que la huella de carbono se define como el conjunto comprendido por las emisiones de gases efecto invernadero que pueden ser considerados como contaminantes del medio ambiente; entre ellos, se encuentran el dióxido de carbono, el metano, y el óxido nitroso, lo que ha desatado el cambio climático y el cambio de la composición atmosférica. Esta acción se desarrolla en el marco de las actividades productivas individuales y colectivas del hombre.

Valderrama y Espíndola (2012) delimitan la huella de carbono como un indicador, que busca la sintetización del impacto provocado por las actividades productivas del hombre y sus empresas en el medio ambiente donde desarrollan sus productos y servicios y que causantes de los gases efecto invernadero. El cálculo de la huella de carbono es un mecanismo ideal para controlar estas emisiones y proponer estrategias para conseguir que las organizaciones sean más sustentables en su accionar productivo.

Rodríguez, Belfort y Udaquiola (2014) muestra una definición de la huella de carbono enmarcada en unos indicadores ambientales, que persiguen la cuantificación de los gases efecto invernadero en el ambiente; la medición es considerada como un mecanismo que permite identificar las oportunidades de disminuir los consumos energéticos, ya que es el sector que, mayormente, emite GHG a nivel mundial. Debe ser aplicada en todas las empresas del mundo, con la finalidad de identificar los límites de dichos gases en las mismas, desde los procesos productivos y hasta la distribución y comercialización de sus productos y servicios.

Ayala (2012) afirma que la calidad del aire en ese país, se ve afectada en los procesos de apertura de caminos y carreteras para la siembra y cosecha de la palma africana, además de la remoción de las coberturas vegetales que deben implementarse para preparar la tierra para el cultivo. Estos procedimientos agroindustriales necesitan de la utilización de herbicidas y los gases de combustión, así mismo, se deben utilizar máquinas y vehículos que generan emisiones de gases que van directamente al ambiente y dañan la calidad del aire.

En la República del Ecuador se deben implementar medidas tendientes a disminuir la utilización de herbicidas, la quema de la vegetación para evitar este tipo de problemas. Rufinelli (2015), menciona que países como Malasia e Indonesia generan la mayor combustión de las plantaciones en el mundo, generando deterioro en la atmósfera, así como, las emisiones de isopropeno, lo que incrementa los niveles de la temperatura y la radiación solar. En lo relacionado con la palma africana se utilizan insumos que disminuyen la calidad del agua, por la acción del nitrógeno amoniacal, residuos sólidos, cobre y zinc, entre otros.

Además, se encuentra que la mayoría de los países de Latinoamérica, se hace necesario un modelo de exportación más dinámico, de acuerdo con grandes expectativas y aspiraciones de desarrollo sostenible y el fortalecimiento de las exigencias climáticas. La industrialización y los sectores económicos deben trabajar por la disminución de las emisiones de los gases efectos invernadero al ambiente, que conlleva en cambios drásticos en la temperatura y las radiaciones solares; con mecanismos propios de medición y minimización de los mismos (Espíndola y Valderrama, 2012).

Respecto al cambio global se asevera/asegura que la temperatura es la consecuencia directa de manejo deficiente de los recursos naturales, en combinación con el incremento de las tecnologías en las empresas industriales actuales (Rotman, 2015); la explosión demográfica y el crecimiento productivo.

1.2 La Huella de Carbono en Colombia

En Colombia, son evidentes los problemas con el ambiente, a partir de las actividades productivas de las empresas y las acciones productivas del hombre, desde el ámbito individual; así como lo afirman Rojas y Chacón (2011) al mencionar que en los últimos 10 años, las inundaciones, huracanes y sequías acaecen en el país con un mayor nivel de repetición, lo que se convierte en consecuencias del cambio climático, en que los responsables directos de estos fenómenos son las empresas y seres humanos que no tienen en cuenta el ambiente al momento de iniciar sus proyectos productivos.

En este sentido, dichos autores promueven como las causas del cambio climático en Colombia se enmarcan en:

1. **Combustibles fósiles:** Entre los combustibles fósiles se encuentran los siguientes: El carbón, el petróleo y el gas natural; han sido los mayormente señalados como mayores afectadores del ambiente; estos elementos son utilizados en el transporte, la cocina, el computador y la respiración; son labores que generan mayor liberación de dióxido de carbono a la atmosfera; es un problema que tiene una mayor afectación por el trasegar diario de las empresas y sus procesos productivos.
2. **Deforestación:** Consigue un mayor efecto en el ambiente, en la emisión de gas efecto invernadero; la arboleda se compone de carbono y agua, por lo que su tala produce una disminución de estos elementos en la atmósfera, con ello, se crecen los índices de contaminación y sequedad en el clima, ya que el ecosistema pierde capacidad de retención del agua.
3. **Producción agrícola:** Es un contribuyente bastante grande de deterioro en el ambiente, ya que maneja altas concentraciones de metano, producido por el proceso productivo del

arroz; la quema de residuos que dejan las cosechas, la quema de las sabanas, los fertilizantes o la deforestación que es causa de la agricultura.

4. **Ganadería:** Los derivados de los vacunos son productores de emisiones de gases efecto invernadero, la tierra para los pastales, que genera deforestación y erosión en las tierras; la fermentación sintética que generan emisiones de metano y de óxido nítrico al ambiente.

En Colombia, la huella de carbono se tiende a realizar la medición de las emisiones de gases efecto invernadero producidos por las anteriores actividades o acciones productivas, requiriendo la utilización de la misma para identificar el daño causado por este tipo de emisiones de gases, con lo que se pueden diseñar e implementar estrategias tendientes a disminuir el impacto al ambiente, a razón del uso de los energéticos, la electricidad, la impresión de papel sin necesidad, los transportes masivos, entre otros, puedan producir en el ambiente colombiano (Rojas y Chacón, 2011).

La producción, distribución y consumo de los bienes y servicios que se elaboran en Colombia son productores de gases efecto invernadero, por lo que resultan urgentes las estrategias de mitigación o eliminación de los mismos; esta situación conlleva a que autores como Samaniego y Schneider (2010) propongan que la huella de carbono deben conocerse junto a cada una de sus subhuellas, que no solamente es importante su medición sino su conocimiento detallado en todas sus modalidades; además que estos gases no solamente es preocupación en Colombia sino internacionalmente; ya que las consecuencias adversas pueden ser cuantiosas.

En este sentido, es necesario tomar acciones tendientes a conocer a fondo la dinámica de estos gases, para poder conseguir los correctivos adecuados para su mitigación. Es decir:

Relevancia que implica conocer más sobre el concepto de huella de carbono, queda de manifiesto además en las conclusiones propuestas por el último informe del

Panel Intergubernamental de Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC) de 2007 que demuestra que las emisiones siguen creciendo aún en un escenario de compromisos de reducciones en el marco del Protocolo de Kyoto, con un evidente liderazgo de los países desarrollados miembros de la OECD (IPCC, 2007). El cálculo de la huella de carbono, es el primer paso para lograr construir un balance de carbono institucional, el cual determina una combinación deseada de emisiones, que varía en el tiempo y en el espacio, y en el potencial de remoción. (Ching, Kuei, Wen y Ming, 2017, p.1105)

Dada la anterior situación, en Colombia se han instituido algunas legislaciones, en que se dan los principales requisitos para la conservación del ambiente y la mitigación del cambio climático Samaniego y Schneider (2014) Entre las principales:

1. **Lineamientos de Política Nacional del Cambio Climático del Año 2002.** El principal objetivo es la promoción de una gestión de cambio climático, con la intención de lograr una contribución al avance en desarrollo sostenible para el clima y que este principio se obligue a cumplir en todas las actividades industriales en Colombia, disminuyendo los índices de dióxido de carbono en el país. Esto se logra con una influencia positiva en las decisiones públicas y privadas más relevantes en Colombia, con esta iniciativa se integran decisiones de adaptación y mitigación de las emisiones de los gases efecto invernadero.

En la actualidad, las emisiones de CO₂ Eq en el Sistema Interconectado Nacional – SIN, son altamente proporcionadas por la quema de combustibles fósiles (Barrera, 2017). A continuación se muestra una gráfica de relaciones entre la generación de energía por emisiones de CO₂ Eq, energía por termoeléctricas, y energía por fenómeno del niño comprendiendo los años de 1990 hasta el 2016:

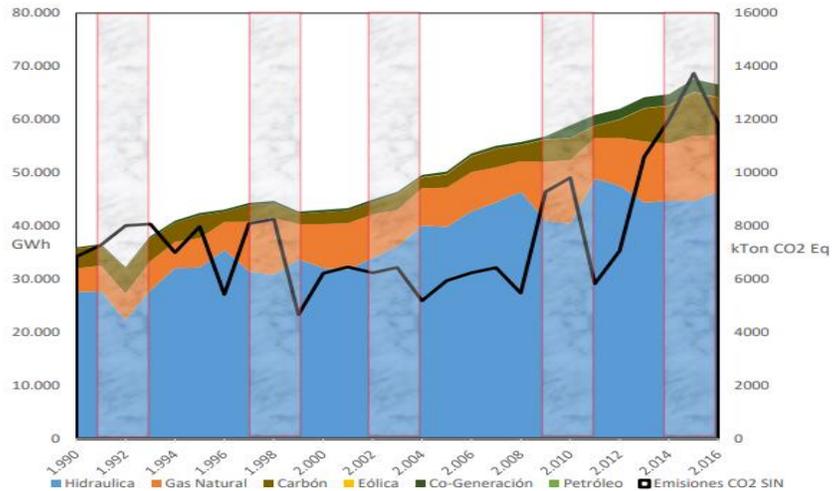


Figura 2. Generación de energía, emisiones de CO₂ Eq, cuando se presenta el fenómeno del niño del SIN comprendiendo los años de 1990 hasta el 2016.

Fuente: (Barrera, 2017).

En la gráfica, es evidente el incremento considerable de las emisiones de CO₂ SIN en el último año comprendido, por tal motivo; la UPME – Unidad de Planeación Minero Energética, en su instrumento de factores de emisión de combustibles FECOC 2016, ha denominado los siguientes factores de emisión locales de Colombia en los últimos 4 años para el consumo de electricidad (Pava, Villalba, Saavedra, Carrasco y Rodriguez, 2016).

Tabla 1

Factor de emisión para la energía eléctrica adquirida por año.

<i>Año</i>	<i>Factor de Emisión (kg CO₂ Eq/ kWh)</i>
2012	0,15
2013	0,2
2014	0,19
2015	0,199

Fuente: Elaboración propia (2019).

De acuerdo a la tabla anterior, se tomara el dato correspondiente al último año que es de 0,199 (kg CO₂ Eq/ kWh) para el cálculo de las emisiones por consumo eléctrico de cada producto. La fórmula comprendida para tal ejercicio será la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{HC} &= \text{Consumo Eléctrico (kwh / m}^3\text{)} \times \text{Factor de Emisión de Electricidad Sin} \\ \text{HC} &= \text{Kg CO}_2 \text{ eq/m}^3 \end{aligned} \quad \left(\begin{array}{c} \text{Formula 1} \end{array} \right)$$

2. **Ley 99 General Ambiental de 1993:** La implementación de esta ley, se da la creación del Ministerio del Medio Ambiente, la reordenación del sector público, con énfasis en la gestión y conservación del medio ambiente nacional, los recursos naturales renovables; la organización del Sistema Nacional Ambiental SINA. De igual manera, se adoptan en Colombia los principios universales y del desarrollo sostenible que están contenidos en la Declaración de Rio de Janeiro de 1992 sobre el medio ambiente y el desarrollo. Igualmente, se declara la diversidad del país como patrimonio nacional y de interés de la humanidad, por lo que debe ser protegida integralmente; la vida saludable y productiva en armonía total con la naturaleza será un derecho de la población. (Álcaldia de Bogotá D.C, 1993)

Teniendo claro lo que ha huella de carbono se refiere mediante los diversos aportes de autores del mundo, se procede a estudiar lo que es la industria extractiva a nivel mundial; término que nos permitirá entender de mejor forma el presente trabajo de grado.

1.3 La Industria Extractiva en el Mundo

En la industria extractiva se encuentran aquellas empresas que enmarcan su producción en la extracción y explotación de los recursos naturales del subsuelo; entre los más importantes se encuentran el petróleo, los minerales y el gas. La industria minera y la explotación de hidrocarburos son acciones económicas que, en la actualidad, están generando mayores dificultades en las comunidades del mundo, especialmente, aquellas que se encuentran cerca de

las fuentes de las mineras, compromete al estado y las empresas en los últimos años; ya que es el estado quien se considera como dueño del subsuelo, quien concesiona a las empresas para la ejecución de sus procesos productivos (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2009).

Banco Mundial (2018) muestra cifra en que 3.500 millones de personas viven en los países ricos en gas, petróleo o minerales, por lo que al delimitar su explotación se conforman problemas complejos de orden, conflicto de intereses, que permiten evidenciar que las industrias extractivas son una fuentes de conflictos y están muy lejos de ser un cúmulo de oportunidades como quieren hacerla ver; las industrias extractivas se han convertido en un problema de pobreza y corrupción, que se empeora por la mala gestión gubernamental. Adicionalmente, informa que, en el mundo, existen alrededor de 81 países que representan el 25% del PIB mundial y la mitad de la población del mundo participa en este tipo de industrias.

África aparece como el principal aportante de reservas minerales en el mundo con un porcentaje del 30%, entre ellas, el 10% en petróleo y el 8% en gas natural existente en el mundo; contrariamente a eso, el 43% de la población vive en condiciones de pobreza extrema. Por su parte, en Latinoamérica la minería, el petróleo y el gas son actividades que se dan en todos los países, logrando un papel importante en el desarrollo de la región, aunque su impacto es completamente negativo, por lo que las críticas y reconvenciones se evidencian en un número bastante voluminoso. Estas actividades son vinculadas con los principales problemas del desarrollo en los países de América Latina (Kowszyk, 2009).

El trabajo titulado “El estado de responsabilidad social empresarial en la industria extractiva en desde la perspectiva de ejecutivos de empresas. Un estudio de caso en América Latina”, su autor Kowszyk (2009) propone que el verdadero problema a abordar con las industrias extractivas es la perdida de la Responsabilidad Social Empresarial, por parte de estas empresas. Esta problemática se empeora el momento en que la carencia de información es una variable compleja, nadie sabe las acciones de estas empresas en materia de identificación de las fuentes,

sus operaciones y sus estrategias tendientes al cuidado o preservación del medio ambiente, la promoción de la sustentabilidad y el avance de las empresas en este tipo de actividad económica.

Los países del mundo tienen la tendencia de otorgar concesiones a empresas del sector de la industria extractiva, dejan de lado las prebendas y los derechos de los indígenas y las comunidades cercanas a los lugares de trabajo de estas entidades, desconociendo el derecho de los pueblos indígenas a la consulta y al consentimiento previo libre e informado, por lo que son estas poblaciones las más afectadas con la extracción de estos insumos o materias (Observatorio Latinoamericano de Conflictos Sociales, 2015).

Algunas legislaciones que no se tienen en cuenta, son las siguientes:

1. **Derecho al Territorio:** En el Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo, en la Declaración de las Naciones Unidas sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas y en fallo de la Comisión Interamericana de los Derechos Humanos a favor de la Comunidad Sawhoyamaya, con el Estado Paraguayo que establece que la posesión tradicional de los indígenas sobre las Tierras es equivalente al título de propiedad que otorgan los Estados (Territorio Indígena y Gobernanza, s.f).
2. **Derecho a la Consulta Y al Consentimiento Libre, Previo e Informado:** El Convenio 169 de la OIT y en la Declaración de Naciones Unidas sobre los derechos de los pueblos indígenas. Los efectos de la industria extractiva en los territorios indígenas se relacionan con la contaminación ambiental de sus tierras y ríos; la deforestación y las modificaciones de sus prácticas tradicionales en que tiene contacto directo con la naturaleza. Afectan las formas de vida de los indígenas, un pobre asalariamiento, aislamiento en campamentos, debilitamiento de sus organizaciones internas y conflictos internos (FAO, s.f).

En el mundo, según el autor Piza (1996) las industrias extractivas se relacionan con los impactos negativos en el ambiente, el desarrollo de sus actividades conllevan una alta desfavorable en la temperatura y en la radiación solar, además de la contaminación de los ríos y sus tierras; de igual manera, las propias empresas producen efectos en los pueblos aledaños a las mismas, por lo que se produce una violación flagrante de sus derechos económicos, sociales y culturales e impactos sociales negativos, como son:

1. **Salud de adultos, niños, personas en estado de incapacidad y de la tercera edad:** Los efectos sobre la salud se enmarcan en problemas con la piel, cefaleas excesivas y enfermedades respiratorias debido a la inhalación de plomo, arsénico, que terminan en intoxicación.
2. **Amenazas a la seguridad alimentaria:** La contaminación y la destrucción de recursos vegetales, animales que no tienen recursos para su subsistencia por la contaminación de sus entornos, la reducción del acceso al agua y el desplazamiento de sus tierras.

En la historia de la humanidad, las actividades mineras se han convertido en una fuente de vital importancia para la consecución de materias primas para la construcción, aunque después del siglo XX es que se da el planteamiento del debate, con la intención de identificar los efectos que esta industria causa en el ambiente y en las poblaciones que se encuentran en las proximidades de estas industrias extractivas. Estas situaciones han permitido visualizar la necesidad de implementar estrategias que permitan minimizar el impacto de estas empresas en el ambiente, así como, la implementación de acciones de sostenibilidad y desarrollo sostenible.

Para la escogencia de las estrategias para mitigación del impacto ambiental existen diversas metodologías de toma de decisiones cuando se tiene incertidumbre. En la presente investigación de usará el Criterio de Laplace, el cual se establece en el principio de razón insuficiente; ya que no

es posible suponer una mayor probabilidad de ocurrencia en un acontecimiento futuro por lo que se considera los sucesos como equiprobable. (Universitat Politècnica de València - UPV, 2013)

La fórmula del Criterio de Laplace es la siguiente:

$$\text{Elegir la alternativa } a_x \text{ tal que } \sum_{j=1}^n \frac{1}{n} x_{kj} = \max_{1 \leq i \leq m} \sum_{j=1}^n \frac{1}{n} x_{ij}$$

Formula 2

1.4 La Industria Extractiva en Colombia

Angulo (2010) afirma que Colombia es considerada como un estado que mantiene una gran riqueza económica relacionada con el sector primario de la producción, que es poco explorado en el país, por su condición de problemática con el ambiente, las industrias extractivas hacen una parte de la economía extractiva del país, con megareservas de biodiversidad y de diversidad cultural global. Por esta situación, las industrias extractivas han sido materia de estudios en todos sus ámbitos, relacionados con la temática ambiental y sus implicaciones con los problemas atmosféricos dentro del territorio colombiano; pero, en la actualidad sigue beneficiando a las grandes transnacionales petroleras y mineras de Norteamérica y Europa, que generan grandes afectaciones en el medio ambiente del país.

En Colombia, la industria extractiva debe superar dos obstáculos bastante complejos, la inseguridad jurídica y los problemas sociales; la primera tiene que ver con las suspensiones que las Cortes demandan para los proyectos mineros; que se complementan con los problemas sociales en las regiones donde se da la explotación de las minas, que no se encuentran en los ordenamientos territoriales, lo que desemboca en los conflictos por los distintos usos y modos de ocupación de

los territorios; además, el Código de Minas Colombiano ya es obsoleto y no cumple con las expectativas por la que fue institucionalizado (Ministerio de Minas y Energía, 2018).

Angulo (2010) afirma que en Colombia, la industria extractiva son consideradas como el conjunto de empresas que basa su accionar en la extracción de materiales, tipo petróleo o minería en todas sus modalidades y que tienen que ver con los recursos naturales renovables; se caracterizan porque no son productoras de flujos internos de riqueza o sea los recursos son redituables a las comunidades que circundan la empresa; son propias de entornos de frontera y son de contextos socioeconómicos no industrializados o industrializados de manera desigual.

El Ministerio de Minas y Energía (2018) muestra que la industria minera se ha convertido en los sectores de mayor importancia en Colombia, aunque su principal característica es la alza y la baja de sus ciclos de precios, tanto así, que tiene tendencia al alza en la actualidad, especialmente el carbón térmico, el carbón tradicional, la producción de oro, el ferroníquel. De igual manera el Ministerio habla del repunte de la inversión extranjera, que pasó de \$97 millones y hasta \$441 millones de dólares entre los años de 2015 y 2016.

Se ha podido evidenciar que la manufactura del cemento y el concreto necesita de la extracción de algunos agregados que emiten grandes proporciones de CO₂ que van directamente al ambiente de los municipios que tienen en sus territorios este tipo de industrias. Son empresas de gran desempeño, ya que la oferta del cemento es de bastante volumen y estas industrias tienen que producir a gran escala, por lo que el control de las emisiones de gases resulta fundamental para los entornos donde se desarrollan (Holcim Colombia S.A., 2016).

Los países de todo el mundo según la revista Semana (2017) se han visto afectados por el cambio climático, incluso Colombia, que, con la quema de combustibles fósiles, como el petróleo y el gas, utilizados en la producción de energía que libera gases de efecto invernadero (CO₂) a la atmosfera, lo cual incrementa la temperatura de la tierra provocando distorsiones en el sistema climático global. Es por ello que actualmente muchas empresas optan por aplicar diversas

metodologías que les permitan medir sus emisiones, a continuación, se muestra las de mayor relevancia.

1.5 Principales metodologías para la medición de la huella de carbono

Tabla 2

Métodos más relevantes para la determinación de la huella de carbono

<i>Metodologías</i>	<i>Enfoque</i>	<i>Escala</i>	<i>Unidades</i>	<i>Actividades</i>	<i>Referencia</i>
<i>Protocolo de Gases Efecto Invernadero</i>	Corporativo	Empresa	Kg CO ₂ eq/año	Todas las actividades de una organización	Protocolo GEI, 2005
<i>Balance de carbono</i>	Corporativo	Empresa, Territorio y Producto	Kg CO ₂ eq/año / unidad funcional	Todas las actividades de una organización	BC, 2011
<i>Método Compuesto de las Cuentas Contables</i>	Corporativo + Producto	Producto y Empresa	Ton CO ₂ eq/ton prod. Ha Globales (Gha)	Todas las actividades de una organización	Doménech, 2004a; 2004b
<i>Especificaciones Públicamente Disponibles PAS 2050</i>	Producto	Producto	Kg CO ₂ eq /unidad funcional	Todas las actividades productivas	BSI, 2008

Fuente: (Espíndola , Quezada, & Valderrama, Huella de Carbono, un Concepto que no puede estar Ausente en Cursos de Ingeniería y Ciencias, 2011, p.3-12).

En este trabajo de grado se utilizará la guía PAS 2050 ya que según Bravo y Contreras (2017) es una herramienta fácil para medir el impacto que se genera en la extracción de materiales

agregados para la construcción, por tal motivo esta investigación también seguirá la misma metodología.

Cabe resaltar que dicha metodología a usar en el presente trabajo de grado es la que se encuentra enmarcada dentro del proyecto denominado “Propuesta para la disminución del impacto en el cambio climático generado por la producción de agregados para la construcción provenientes de la caliza en el municipio de Tolúviejo, basada en el análisis de la huella de carbono”, este proyecto fue aprobado a través de una convocatoria interna para la conformación de un banco de elegibles de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico en el año 2016; en donde uno de sus objetivos establece la caracterización de este impacto en el sector. Por tal motivo esta propuesta de grado responde a la cuantificación del impacto en el cambio climático generados por esta actividad en una empresa de este sector.

La metodología PAS 2050 seguidamente se explicará de manera más detallada.

2. Metodología Pas 2050

La metodología PAS 2050 “es una estrategia desarrollada por la British Standards Institution, como un pedido del Conjunto de Departamento de Medio Ambiente Alimentación y Medio Rural del Reino Unido y de la ONG Carbón Trust” (Morales, 2015).

Dicha metodología trabaja de manera óptima, complementando otras normas como son: la BS en ISO 14.021 que basa su accionar en la etiqueta y declaraciones ambientales de productos y servicios; la BS en ISO/IEC 17.050 que trabaja en la evaluación y declaraciones de conformidad de los proveedores; la ISO/TS 14.048 que suministra requerimientos para la óptima gestión ambiental; la IPPC del 2006, que suministra las directrices para los inventarios nacionales de gases del efecto invernadero y la IPCC2007, que informa el estado del cambio climático en el año 2007 (Armijo, 2012).

La metodología PAS 2050 fue diseñada como la respuesta a una necesidad de las industrias y las comunidades, de un método consistente y consenso, capaz de medir las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por las empresas del mundo en su proceso productivo, así como, todo el proceso que se da en el ciclo de vida de los mismos. La guía PAS 2050 se considera como un protocolo, para que las empresas adquieran un compromiso ineludible con la disminución de la emisión de gases efectos invernadero en todas sus acciones productivas (Morales, 2015).

Armijo (2012) considera las fuentes de emisiones que son emitidas por el uso de la energía, los procedimientos combustibles, los procesos de combustión química, los refrigerantes, la prestación de los servicios de entrega de productos y bienes de las empresas, los cambios en el uso del suelo, los animales de fermentación entérica, además, de los procedimientos agroindustriales y las emisiones que se desprenden de los desperdicios. Para conseguir todos los objetivos enumerados anteriormente vienen detallados en una guía que explica todos los detalles de la evaluación de las mediciones del gas efecto invernadero.

En este sentido, Morales (2015) muestra las distintas variables que necesita el PAS 2050 para la definición y delimitación de la huella de Carbono en un bien o servicio; estas son las siguientes:

- La definición de los escenarios que componen el ciclo de vida de los productos que se van a someter a evaluación, ya sea, de la empresa al consumidor final (B2C) y de una empresa a otra que pertenecen al mismo ramo de la economía (B2B).
- La construcción de los mapas de procesos, que muestra, visualmente, el ciclo de vida del bien o servicio a comercializar o distribuir por la empresa.
- Definir la frontera y las prioridades del sistema, con la recolección de la información de las acciones productivas que tengan el mayor rango de emisiones en todo el ciclo de vida del bien o servicio.
- La determinación de la huella de carbono a través del cálculo de la misma, procesamiento de la información recolectada de las emisiones en los ciclos del producto o servicio.

Capítulo 2

3. Resultados

3.1 Metodología

La presente propuesta se llevó a cabo bajo los parámetros del enfoque cuantitativo - analítico soportada en la utilización de un estudio cualitativo, que tiene como objetivo el diseño de estrategias que permitan la disminución de los efectos que genera la Trituradora San José en la industria extractiva de agregados en el Municipio de Toluviejo. De la investigación analítica se tiene que “Al respecto, Bunge (como se citó en Kenedy Torcatt, 2015), la investigación analítica trata de entender las situaciones en términos de relaciones, descubriendo elementos que componen la totalidad del problema, así como las interconexiones que tiene con el entorno donde se identifica la situación problemática”(Hueno & Cascant, 2012).

Se diseñaron estrategias de mitigación del impacto ambiental generado por la empresa extractiva de materiales agregados para la construcción, utilizando la metodología de la PAS 2050; la cual ayudó a verificar el cálculo de la huella de carbono que se genera en la empresa. En esta propuesta de investigación, se llevaron a cabo en 4 fases, las cuales se describen a continuación:

Fase 1 Construcción de mapas de procesos: Se identificaron los materiales, actividades y procesos que se realizan en el ciclo de vida del producto que es de gran ayuda para el cálculo de la huella de carbono. Para la correcta construcción de los diversos mapas de procesos, se requirió la toma de apuntes y registros fotográficos en la Trituradora San José de forma organizada y detallada.

Fase 2 Comprobación de los límites y priorización: Los límites del sistema definieron el alcance de la huella de carbono, es decir las etapas del ciclo de vida del producto, las entradas y salidas, se precisaron los límites más relevantes para hacer el respectivo análisis. Para este trabajo se comprende el ciclo de vida de la cuna a la puerta.

Fase 3 Recolección de datos: Los datos son un paso importante para el cálculo de la huella de carbono existen dos clases de datos: datos de actividad y factores de emisión. Los datos de actividad se refieren a las cantidades de material y energía que intervienen en el ciclo de vida del producto (insumos y productos materiales, energía utilizada, transporte, etc.). Los factores de emisión proporcionaron el enlace que convierte estas cantidades en las emisiones de GEI resultantes: la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos por unidad de datos de actividad. En la ejecución de este trabajo, se realizaron visitas a la Trituradora San José para recolectar datos mediante entrevistas con algunos de sus colaboradores.

Fase 4 Cálculo de la Huella de Carbono: La ecuación para la huella de carbono del producto fue la suma de todos los materiales, energía y residuos en todas las actividades en el ciclo de vida de un producto multiplicado por sus factores de emisión como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} \text{Huella de Carbono} &= \text{Dato de Actividad} \times \text{Factor de Emisión} \\ \text{HC} &= \text{Consumo Combustible (Galones)} \times \text{Factor de Emisión de Gases} \\ \text{HC} &= \text{Kg CO}_2 \text{ eq/m}^3 \end{aligned} \quad \left(\textit{Formula 3} \right)$$

A continuación, se proporcionará información acerca del sector de extracción de los materiales agregados para la construcción en el departamento de Sucre.

3.2 Características del sector de extracción y trituración de la piedra caliza

3.2.1 Municipio de Toluvejo, Departamento de Sucre.



Figura 3. Mapa Municipio de Toluvejo, Sucre.

Fuente: (Alcaldía de Toluvejo , 2018)

Esta imagen representa uno de los municipios que posee recursos naturales que sirven de sustento al sector de la producción de concreto. Este municipio se localiza a 18 km al norte de Sincelejo, capital del departamento de Sucre y su economía se fundamenta en la agricultura, la ganadería y la minería. Esta última actividad radica esencialmente en la extracción de piedra caliza triturada, gravilla, granito y mármol (Palencia, 2018).

La formación geológica del municipio de Toluviejo-Sucre es una de las más explotadas en los últimos tiempos y también es fuente de materia prima para el sector cementero y la obtención de agregados gruesos para el concreto. La gran mayoría de los concretos que se producen en el departamento de Sucre utilizan agregados que se extraen en esta zona. Estos agregados pueden ser obtenidos de dos formas: en depósitos de fuente natural [playas, ríos, etc.] o como resultado de la molienda de la roca. Gran Parte de la economía de esta zona encuentra su sustento en las actividades derivadas de esta extracción (Bracamonte, Vertel, & Cepeda, 2013).

Para efectos del presente trabajo se hace un énfasis especial en la geología del municipio que se detalla a continuación: La geología en Toluviejo se enmarca en varios tipos de suelos (Cuello, 2019). Se analizan los más importantes:

Suelo de Planicie: Es una gran extensión de tierra, que no está confinada, además posee algunas pendientes no muy altas que van del 0 al 3%, este terreno muestra 4 clases de relieves: Un llano fluvio marino, un terraplén marino, un llano deltaico y algunos valles; que se han generado por la acción marina y fluvial, los insumos que se utilizan en la construcción están constituido por sedimentos aluviales y marinos, además de sedimentos orgánicos.

Suelos de lomeríos: Comprende la zona que va desde la montaña y hasta la planicie, mide aproximadamente 7388 hectáreas, presenta algunas ondulaciones y quebrados con subidas que van desde 3 y 50%, tiene un clima seco y altitud de 50 a 200 metros.

Suelos de montañas: Está conformado por una zona bastante irregular, con alzas y bajas que van de los 50 a 700 metros, que muestran materiales de arenisca calcárea y calizas, poseen un área de 3894 hectáreas, lo que la hace importante para la conservación y equilibrio del medio ambiente. Incluye los suelos de piedemontes que se encuentran alrededor del pie de la montaña.

La piedra caliza se extrae tanto de forma industrial como de forma semi-industrial, denominando la forma industrial como la gran minería, ya que se realiza la extracción a cielo abierto y se requiere maquinaria pesada, un ejemplo de este tipo de empresa es Cementos de Toluvié S.A.; Tolcemento. La extracción semi-industrial es la más característica en este departamento, ya que es la que acobija el mayor porcentaje de empresas que la practican, lo cual también se realiza a cielo abierto pero con procesos artesanales para cargar y transportar el material, requiriendo de pequeñas retroexcavadoras, pequeñas máquinas para triturar y clasificar la piedra caliza y el uso de dinamita (Aguilera, 2005).

La actividad extractiva de los materiales agregados para la construcción es realizada actualmente por 24 trituradoras, 10 asociaciones, las cuales se mencionan a continuación:

Tabla 3

Empresas y organizaciones del sector agregados para la construcción en el municipio de Toluviéjo.

Numero	Nombre
1	CORMINOL
2	COOUNOPIEDRA
3	Asociación de productores derivados de la caliza de Toluviéjo
4	Asociación de mineros y procesadores de la caliza San José
5	Asociación mineros de Toluviéjo
6	Asociación mineros del Suan
7	Asociación de mineros de la Piche
8	Asociación de mineros de Varsovia
9	Cooperativa de procesadores de piedra caliza de Varsovia y Gualon
10	Cooperativa de picadores de piedra de Toluviéjo (COODEPITOL)
11	Marmolería Duran
12	Agregados de Sucre (Agresucre)
13	Agregados de Toluviéjo
14	Agregados Calcicos
15	Agregados Alicante
16	Agroceras
17	Agregados del Norte (AGRENORTE)
18	Trituradora El Mamon
19	Trituradora La Oscurana
20	Trituradora Comulpropical
21	Trituradora y Agregados RG
22	Trituradora Calizas de Toluviéjo S.A
23	Trituradora Aprocal
24	Trituradora Jomeve 2
25	Trituradora Feliciano
26	Trituradora Romar
27	Trituradora La Ceiba
28	Trituradora Distribuciones de Toluviéjo
29	Trituradora Jomeve
30	Trituradora Tolupiedras
31	Trituradora San José
32	Trituradora El Pueblo
33	Trituradora El Molino
34	Trituradora El Progreso

Fuente: Bravo, Montero y otros (2017).

3.3 Proceso productivo de la extracción de la piedra Caliza

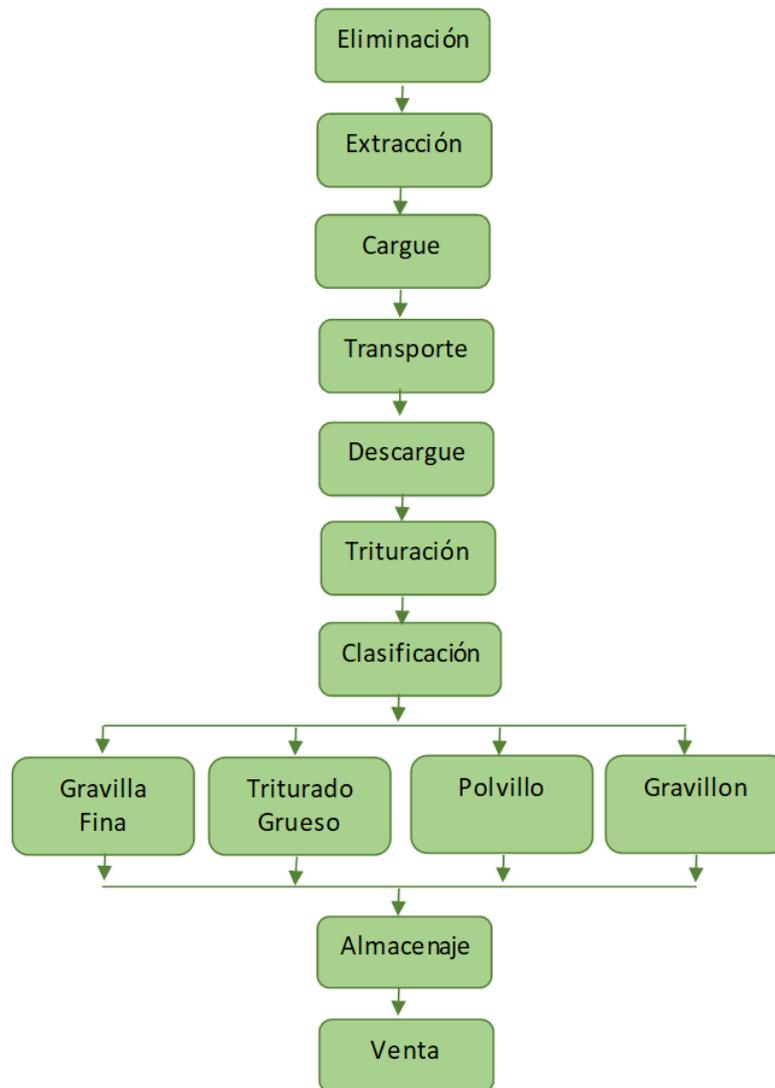


Figura 4. Proceso productivo de la extracción de la piedra Caliza.

Fuente: Elaboración propia (2018).

Del diagrama de flujo anterior, se procede a describir cada proceso por separado. Cabe resaltar que este proceso es el mismo en cualquier empresa característica de este sector, pero las

imágenes que se utilizaran pertenecen al registro fotográfico que se llevó a cabo durante la visita a la Trituradora San José.

3.3.1 Eliminación del material estéril.

Para la obtención de un agregado más pulcro y por ende un producto final con alta calidad, primeramente, se realiza la eliminación de material estéril, la cual consiste en retirar la capa superficial de la corteza terrestre, es decir, los árboles y sus raíces, plantas, entre otras, con la finalidad de apreciar con mayor proporción el material a extraer, la piedra caliza. Dicha acción se puede llevar a cabo de dos formas, una es mecánica y la otra es artesanal.

La figura 5 representa la máquina utilizada, la cual elimina con gran magnitud los árboles y raíces presentes o cercanas al área de extracción.



Figura 5: Máquina para la eliminación de material estéril.

Fuente: (El Meridiano, 2018).

3.3.2 Extracción del material agregado para la construcción.

El proceso posterior a la eliminación del material estéril es la extracción de la piedra caliza, la cual se lleva a cabo mediante la forma artesanal y la forma mecanizada. En la primera, el trabajador se involucra en el accionar de la extracción usando su propio esfuerzo para desprender la materia prima usando palas y picos como se evidencia en la (figura 6).



Figura 6. Forma artesanal en la que se extrae la piedra caliza.

Fuente: Elaboración propia (2018).

En la segunda, la extracción de la piedra caliza se realiza mediante la explosión de pólvora, la cual se hace perforando la piedra como se muestra en la (figura 7) y posteriormente se introduce la pólvora utilizando un compresor, siendo este un instrumento de apoyo para provocar la explosión de la misma, lo que facilita la recolección de la piedra caliza.



Figura 7. Perforaciones de la piedra caliza.

Fuente: Elaboración propia, (2018).

Mediante el uso de las dos formas mencionadas anteriormente se obtienen rocas con dimensiones entre 30 cm a 50 cm con un peso de 10 a 20 kg aproximadamente como se muestra en la (figura 8).



Figura 8. Piedra caliza en sus diferentes dimensiones.

Fuente: Elaboración propia (2018).

Para las condiciones que afrontan los trabajadores en su sitio de trabajo, en las que prima la exposición a las altas temperaturas durante las 8 horas laborales así como el movimiento constante de los mismos en zonas propiamente montañosas e irregulares con alzas y bajas aproximadas a los 50 metros (figura 9) que muestran materiales de arenisca calcárea y calizas, los cuales son extraídos a cielo abierto con procesos artesanales para el desprendimiento de la piedra caliza y el deslizamiento de la misma a la parte más baja de la zona de extracción.



Figura 9. Zona montañosa de la que se extrae la piedra caliza.

Fuente: Elaboración propia (2018).

En cuanto a la forma en la que se realiza gran parte del proceso, la cual es manual, esta se denomina como un aspecto que presenta un elevado nivel de peligrosidad, ya que las personas empleadas para llevar a cabo este proceso, carecen de implementos de protección personal que los aseguren en caso de que sufran lesiones u accidentes para que el riesgo sea de menor magnitud.

3.3.3 Cargue del material agregado para la construcción.

En esta etapa del proceso, la piedra que se recolecta se carga en una volqueta (figura 10), teniendo en cuenta que algunas rocas que son de mayor tamaño se rompen con un martillo para facilitar a los trabajadores el poder almacenarlas en la volqueta, ya que el grado de esfuerzo por

parte de los mismos disminuiría de forma significativa. Dicha forma en que se realiza el cargue es netamente artesanal. Se trabaja con 2 volquetas sencilla, cada una tiene 215 caballos de fuerza.



Figura 10. Cargue de la piedra caliza.

Fuente: Elaboración propia (2018).

3.3.4 Transporte del material agregado para la construcción.

La volqueta (figura 11) transporta el producto hacia la trituradora recorriendo una distancia de 1 km aproximadamente, ya que la piedra se extrae dentro de las instalaciones de la trituradora en la parte más retirada de las siguientes etapas del proceso productivo. Las volquetas cuentan con una capacidad de 4,32 metros cúbicos y son conducidas por empleados de la misma empresa.



Figura 11. Equipo de transporte de la piedra caliza.

Fuente: Elaboración propia (2018).

3.3.5. Descargue del material agregado para la construcción.

El descargue de la piedra caliza se lleva a cabo enfrente de la tolva de la trituradora para posteriormente ingresarlas en el canal alimentador vibratorio como se muestra en la (figura 12) de la misma de forma artesanal, ya que los empleados que hacen parte de esta etapa ejercen riesgosos y bruscos movimientos con sus pies para acelerar y facilitar la entrada de las rocas de mayor magnitud al canal alimentador; así mismo evita estancamientos del material dentro de la tolva.



Figura 12: Descargue y alimentador vibratorio del proceso productivo.

Fuente: Elaboración propia (2018).

3.3.6. Trituración del material agregado para la construcción.

La empresa cuenta con una planta de transformación de la piedra caliza a sus diversos tipos de materiales agregados para la construcción denominada “tolva”, la cual se encuentra fijamente ubicada (Figura 12) en un área en específico muy cercana al área de almacenamiento y muy retirada del área de extracción.

En esta planta, ingresa la piedra caliza extraída de menor tamaño, la cual es procesada internamente y clasificada para obtener 4 derivados de la misma (Figura 13), los cuales caen de forma separada al área de almacenamiento como se muestra en la (Figura 14), para ser debidamente recogidas de forma manual y de forma mecanizada. La recogida de forma manual es aquella en la que intervienen los empleados designados en esa área con baldes y palas y en la forma mecanizada intervienen los empleados con las volquetas.

El proceso interno consiste en que las piedras ingresan al canal alimentador de la tolva o boca, la cual se describe como con una gran mandíbula que cierra y abre rápidamente y así mismo golpea y tritura las piedras que seguidamente pasan a una zaranda giratorio con hoyuelos de diversos tamaños por medio de una canal transportadora. Los hoyuelos separan y clasifican los diversos trozos de piedra que se depositan en tres tipos de divisiones al fondo de la tolva. La planta transformadora con la que cuenta la empresa se abastece de energía eléctrica y a continuación se muestra uno de los diversos modelos que existen de la misma:



Figura 13: Planta de trituración de la piedra caliza en diferentes perspectivas.

Fuente: Elaboración propia (2018).

De la planta trituradora ilustrada anteriormente se obtiene como producto terminado los siguientes derivados de la piedra caliza:



Figura 14: Almacenamiento de la piedra caliza en sus diferentes derivados.

Fuente: Elaboración propia (2018).

3.3.7. Clasificación del material agregado para la construcción triturado.

La clasificación de los derivados de la piedra caliza se obtiene de manera independiente, ya que la tolva cuenta con 5 vías de escape del producto terminado totalmente diferentes para como se muestra en la siguiente figura:



Figura 15. Clasificación de la piedra caliza.

Fuente: Elaboración propia (2018).

Cabe resaltar que las empresas trituradoras de piedra caliza, producen en mayor proporción el triturado grueso, ya que es el que más requiere el consumidor final, por tal motivo cuenta con dos vías de escape en el fondo de las tres divisiones de la tolva (Figura 15 A). El polvillo tiene la característica particular de ser el residuo de la molienda de la roca. Sus dimensiones son muy

pequeñas y tiene como derivado lo que se denomina “calcio”, el cual es demandado para mezclarlo con la sal de ganado, comida para camarones, abono y se obtiene del proceso del tamizado del polvillo (Figura 15 C).

En el proceso de clasificación los derivados son debidamente recogidos de forma manual y de forma mecanizada. La recogida de forma manual es aquella en la que intervienen los empleados designados en esa área con baldes y palas y en la forma mecanizada intervienen los empleados con las volquetas.

Dichos derivados, cuentan con dimensiones en milímetros (mm), las cuales se describirán a continuación:

Tabla 4.

Clasificación de la piedra caliza según sus dimensiones.

<i>Clasificación del material</i>	<i>Dimensiones (mm)</i>	
	Limite Superior	Límite Inferior
<i>Gravilla Fina</i>	8	6
<i>Triturado Grueso</i>	35	12
<i>Polvillo</i>	0,074	0,59
<i>Gravillón</i>	12	8
<i>Calcio de la Piedra</i>	Tamizado	Polvillo

Fuente: Elaboración propia (2018).

3.3.8. Almacenamiento del material agregado para la construcción triturado.

El almacenamiento de los materiales agregados para la construcción se lleva a cabo en un lugar en específico perteneciente a las instalaciones de la planta al aire libre y de forma tanto artesanal como mecanizada, es decir, que materiales como la gravilla fina y el polvillo son apilados de forma manual con baldes y de forma mecanizada se describe como el apilamiento que realizan los empleados con las volquetas (Figura 16) de los materiales como el triturado grueso y el

gravillon. Dicha operación es coordinada por otro empleado, el cual se encarga de vigilar todas las etapas del proceso de extracción.

Cabe resaltar que la exposición de los materiales a las altas temperaturas del día y a las lluvias repentinas, no perjudican la calidad del producto, ya que el agua lo que hace es remover impurezas como el limus que trae consigo el material desde el momento de su extracción. Así mismo, el lugar de almacenamiento cuenta con una superficie libre de material estéril como plantas, raíces entre otras.



Figura 16: Clasificación y almacenamiento de la piedra caliza.

Fuente: Elaboración propia (2018).

3.3.9. Venta del material agregado para la construcción triturado.

El proceso de venta de los materiales se lleva a cabo vía telefónica, emails y directamente en las instalaciones de la trituradora. La trituradora carece de diversos puntos de venta, no obstante, los propietarios abastecen a los consumidores que lo requieran transportando el producto al lugar en el que este se encuentre, ya sea dentro o fuera del municipio de Toluviejo.

3.4. Características de la Trituradora San José

Se encuentra ubicada en el departamento de Sucre, municipio de Cieneguita- Toluvejo, CL 7 CR 2-80 P, vía Macajan La trituradora, troncal del caribe margen derecho como se muestra a continuación (figura 17).



Figura 17: Ubicación de la trituradora San José en el municipio de Toluvejo

Fuente: Google Maps (2018).

Inició sus actividades de explotación y trituración de materiales agregados para la construcción gracias a una convención llevada a cabo por Abraham Chadid en el año 2001 en el municipio de Toluvejo.

La trituradora SAN JOSÉ, es una empresa creada con el propósito de construir infraestructura, producir triturado, gravilla normal, gravilla fina, polvillo, alquiler de maquinaria pesada, otorgando soluciones reales y rentables en las obras de ingeniería en la que nos veamos insertos, aportando calidad en los procesos encomendados y proveer a nuestros clientes con todos los productos que se les están ofreciendo.

Utilizar responsablemente los recursos humanos, tecnológicos, técnicos y financieros para lograr resultados mayores a los esperados por nuestros clientes, para la protección de nuestros empleados. Esto conllevará a desarrollar relaciones duraderas con ellos, velando en todo momento por el medio ambiente y la comunidad.

La trituradora SAN JOSÉ busca ser en el año 2017, una empresa proveedora de servicios de arriendo de maquinarias, ventas de productos extraídos de la explotación minera líder en Colombia, otorgando un servicio de excelencia en cada uno de los procesos y proyectos en los que estemos insertos, la calidad del servicio y la confianza que les brinda a sus clientes. La organización se distinguirá por sus esfuerzos hacia el bienestar de sus empleados, la fidelidad a sus valores, su compromiso de contribuir al desarrollo social y económico del país.

Tabla 5

Tipos de productos derivados de la piedra caliza.

<i>Tipos de productos</i>	<i>Especificaciones (mm)</i>	
	Tamaño	Descripción
<i>Gravilla Fina</i>	6 ~ 8	Material agregado para la construcción fino proveniente de la trituración de la misma. Se usa para hacer relleno de adoquines y aceras.
<i>Triturado Grueso</i>	12 ~ 35	Material agregado para la construcción Grueso proveniente de la trituración de la misma. Se usa para hacer cimentaciones de todo Tipo de construcción.
<i>Polvillo</i>	0,59 ~ 0,074	Material agregado para la construcción Grueso proveniente de la trituración de la misma. Se usa para realizar pavimentaciones Viales.
<i>Gravillon</i>	8 ~ 12	Material agregado para la construcción medio proveniente de la trituración de la misma. Se usa para hacer relleno de drenajes y Suelos.
Calcio de la Piedra	Polvillo / Tamizado	Material agregado para la construcción medio proveniente de la trituración y posterior tamización de la misma. Se usa para ser mezclado con la sal de Ganado, comida para camarones y abono.

Fuente: Elaboración propia (2018).

3.5. Límites del cálculo de la huella de carbono

El trabajo se limita tanto a la recolección de información propiciada por la trituradora San José como al cálculo de la huella de carbono y la construcción de los mapas de procesos a través del enfoque Business to Business (B2B) basado en la metodología PAS 2050, la cual comprende el ciclo de vida del producto desde que se extrae hasta que se almacena por medio de volquetas.

Cabe resaltar que este trabajo no requiere muestras para realizar pruebas experimentales que arrojen el factor que mayor contaminación ambiental genera. La investigación tiene como propósito los siguientes alcances:

Alcance 1: Emisiones directas de CO₂ al ambiente por la combustión de calderas, hornos, vehículos o equipos en la producción de los agregados de la construcción.

Alcance 2: Emisiones indirectas asociadas a la electricidad adquirida y consumida por la empresa.

Capítulo 3

Caracterización del Proceso

3.6. Mapa de proceso productivo de la trituradora San José

Conforme a la información entregada por la empresa, se describe el proceso productivo de la TRITURADORA SAN JOSÉ mediante un método de extracción netamente iterativo, es decir, es llevado a cabalidad mediante un conjunto de pasos o fases en las que interviene tanto la parte artesanal como la parte de maquinarias para su libre, ordenado y secuencial desarrollo. Sin embargo, la metodología a tener en cuenta para describir con mayor amplitud dicho proceso productivo de extracción se clasifica de la siguiente manera:

La minería subterránea es aquella usada para rescatar minerales a partir de los yacimientos ubicados en la superficie terrestre y protegidos por rocas. Se lleva a cabo por medio de excavaciones ya que solo esas hacen posible que se llegue a las zonas mineralizadas para posteriormente aplicar alguno de los diversos métodos de explotación existentes, considerando que para ingresar al interior de la mina se requiere que el medio cumpla con las condiciones idóneas de seguridad y salud en el trabajo tales como: implementación de seguridad pertinente, sistema de ventilación, drenaje de aguas subterráneas, vías para el transporte del material y abastecimiento de energía (Reyes, 2005).

El método de la minería a cielo abierto según la organización internacional del trabajo es toda mina que no sea subterránea y comprenda los nombrados pozos, minas de superficie u otros, de los cuales subyacen los siguientes métodos de explotación: La explotación por medios hidráulicos, explotación por medio de tiro de arranque, entre otras. Además, se debe considerar que toda locación, maquinarias, represas o aparatos que se encuentran cercanos a esta, deben hacer parte de la conformación o estructura de la mina debidamente mencionada. El área, además, debe contar con el plan de emergencia pertinente, con señalizaciones, medidas preventivas, restricción de acceso a personas ajenas de sus colaboradores (Fundación UOCRA, 2009).

La TRITURADORA SAN JOSÉ, realiza su proceso productivo con el método de la minería a cielo abierto con explotación por medios de arranque, ya que, para llevar a cabo dicho proceso, se usa equipo mecanizado para la carga y explosivos. Las fases del proceso productivo de extracción se mostrarán a continuación de forma gráfica:



Figura 18. Mapa de procesos general de la Trituradora San José

Fuente: Elaboración propia (2019).

Cabe resaltar que la Trituradora San José sigue las fases de extracción del material que se describieron con anterioridad con el diagrama de flujo del proceso productivo de la extracción de la piedra caliza (Figura 4). Sin embargo, a continuación, se describirá con más detalle y de forma breve todo lo que concierne con el proceso productivo de trituración de la piedra caliza dentro de la tolva en la Trituradora San José:

El proceso de trituración en la tolva comienza por el alimentador vibratorio de 30 HP, el cual se abastece con una cantidad considerable de piedra caliza de diversos tamaños que posteriormente pasan a un molino impactor con características similares a las mandíbulas. Dicho molino impactor se encarga de minimizar las dimensiones de las rocas y es operado por una cinta

transportadora que realiza movimientos a través de una gran polea maniobrada por un motor de 100 HP.

Para que el proceso se lleve a cabo de manera eficaz, cabe resaltar que el empleado encargado de dicha área debe introducir la roca con movimientos netamente bruscos, lo cual evitaría el estancamiento de la roca al iniciar el proceso.

El traslado de las diversas dimensiones de piedra caliza se lleva a cabo por medio de una canal fijada e inmóvil hacia la Zaranda Giratoria en forma de cilindro y orificios redondos de varios tamaños. Esta funciona con una cinta transportadora que opera con una especie de polea de menor tamaño, la cual es accionada con un motor de 4 HP.

El traslado de la materia prima al sitio de trituración requiere de 5 a 7 viajes al día dependiendo la cantidad de piedra que se extraiga y las volquetas cuentan con una capacidad de 12,3 t/m³. El material se descarga directamente en la tolva o planta de trituración que tiene una capacidad de 15 m³ y se llena dos veces al día.

El resultado final de la piedra depende directamente del tamaño de los orificios que tenga la Zaranda Giratoria. La Zaranda Giratoria está conformada por un sistema de 3 tipos de orificios los cuales oscilan entre los 23, 80 mm y 31, 75 mm.

Las dimensiones de los orificios mencionadas anteriormente, comprenden 3 tipos de piedra las cuales son: Triturado grueso, gravillon y gravilla. Los 2 primeros tipos de piedra desembocan mediante una Noria con un motor de 1,5 HP y la Gravilla cuenta con una vía de escape totalmente independiente en forma de canal a base de Zinc por su reducido tamaño como producto final.

3.7. Descripción por producto del proceso productivo de la trituradora San José

El proceso productivo de todos y cada uno de los distintos de productos agregados para la construcción que se obtienen de la trituración inician con la eliminación de material estéril, esta para evitar la contaminación de la piedra caliza con lo que son las raíces de árboles u otros objetos o elementos, lo cual posteriormente garantizará un producto de mayor calidad. Luego continua la fase de explotación de la materia prima en la que se utilizan 4 elementos fundamentales como son: Picos, palas, compresor y pólvora para derribar y disminuir la dimensión del material y así hacer posible el cargue del mismo.

Seguidamente, la materia prima es transportada a la tolva o planta de trituración mediante las volquetas con las que cuenta la empresa, todo esto para hacer posible el logro de los derivados de la materia prima los cuales son:

3.7.1. Triturado Grueso (35 mm y 12 mm).



Figura 19. Mapa de procesos de Triturado Grueso en la Trituradora San José.

Elaboración propia, (2019).

La figura 19 muestra que el proceso de trituración del material en la tolva comienza con el accionar del alimentador vibratorio de 30 HP, al cual se le introducen grandes rocas que son

impactadas para reducir su tamaño por un molino con forma de mandíbulas accionado por un motor de 100 HP. Las fracciones de piedras ya impactadas, se deslizan por medio de una canal metálica hacia la zaranda giratoria que es la encargada de clasificar el material.

La zaranda giratoria funciona encendiendo un motor de 4 HP, el cual gira en sentido de las manecillas del reloj y al mismo tiempo dispersa la piedra de tal manera que abarque los tres tipos de hoyuelos que conforma la zaranda para clasificar los diversos trozos de piedra según su tamaño. Posterior a lo descrito, la piedra cae al fondo de la Noria que tiene tres vías de escape, dos de ellas retienen dicho producto final hasta el momento que se requiera su expulsión.

Toda piedra introducida en la tolva es procesada sin inconvenientes, ya que la roca con anterioridad ha pasado por un proceso de explotación y disminución de tamaño, de tal manera que pueda ser movido por los empleados de forma artesanal.

Cabe mencionar que tanto el triturado grueso de 35 mm como el de 12 mm cuentan con el mismo proceso de producción.

3.7.2. Triturado Medio o Gravillon (12mm y 8mm).



Figura 20. Mapa de procesos de Gravillon en la Trituradora San José.

Elaboración propia, (2019).

La figura 20 muestra que el proceso de trituración del material en la tolva comienza con el accionar del alimentador vibratorio de 30 HP, al cual se le introducen grandes rocas que son impactadas para reducir su tamaño por un molino con forma de mandíbulas accionado por un motor de 100 HP. Las fracciones de piedras ya impactadas, se deslizan por medio de una canal metálica hacia la zaranda giratoria accionada por un motor de 4 HP que es el encargado de clasificar el material.

Luego la zaranda giratoria gira en sentido de las manecillas del reloj y al mismo tiempo dispersa la piedra de tal manera que abarque los tres tipos de hoyuelos que conforma la zaranda para clasificar los diversos trozos de piedra según su tamaño y seguidamente hacerlos caer al fondo de la Noria que tiene tres vías de escape, 1 de ellas retiene dicho producto final hasta el momento que se requiera su expulsión.

Cabe mencionar que tanto el gravillon de 12 mm como el de 8 mm cuentan con el mismo proceso de producción.

3.7.3. Triturado Fino o Gravilla (8mm y 6mm).

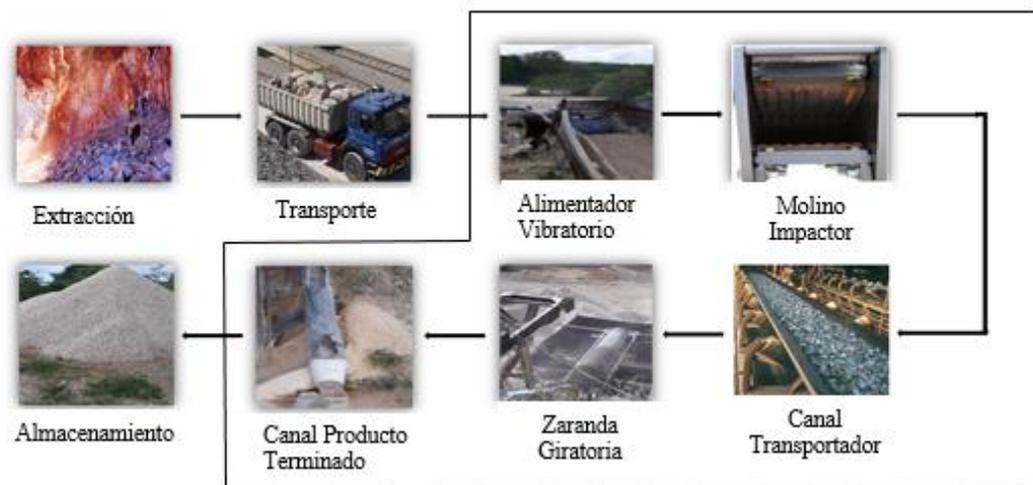


Figura 21. Mapa de procesos de Gravilla en la Trituradora San José.

Elaboración propia, (2019).

La figura 21 muestra que el proceso de trituración del material en la tolva comienza con el accionar del alimentador vibratorio de 30 HP, al cual se le introducen grandes rocas que son impactadas para reducir su tamaño por un molino con forma de mandíbulas accionado por un motor de 100 HP. Las fracciones de piedras ya impactadas, se deslizan por medio de una canal metálica hacia la zaranda giratoria accionada por un motor de 4 HP que es el encargado de clasificar el material.

Luego la zaranda giratoria gira en sentido de las manecillas del reloj y al mismo tiempo dispersa la piedra de tal manera que abarque los tres tipos de hoyuelos que conforma la zaranda para clasificar los diversos trozos de piedra según su tamaño.

La gravilla por ser de menor tamaño, se desliza por una canal de zinc que se encuentra ubicada al lado derecho de la planta trituradora como se muestra en la (figura 15 B) para desembocar en una especie de balde plástico que recoge el producto final en pequeñas cantidades, lo cual incide en que 2 empleados se encuentren al pendiente del proceso para posteriormente movilizar el balde hasta el lugar de acopio del mismo e inmediatamente reemplazar dicho balde para recoger el gravilla que va descendiendo.

Cabe mencionar que tanto la gravilla de 8 mm como el de 6 mm cuentan con el mismo proceso de producción.

3.7.4. Polvillo (0,59 mm y 0,074mm).



Figura 22. Mapa de procesos de Polvillo en la Trituradora San José.

Elaboración propia, (2019).

La figura 22 muestra que el proceso de trituración del material en la tolva comienza con el accionar del alimentador vibratorio de 30 HP, al cual se le introducen grandes rocas que son impactadas para reducir su tamaño por un molino con forma de mandíbulas accionado por un

motor de 100 HP. Las fracciones de piedras ya impactadas, se deslizan por medio de una canal metálica hacia la zaranda giratoria accionada por un motor de 4 HP que es el encargado de clasificar el material.

Luego la zaranda giratoria gira en sentido de las manecillas del reloj y al mismo tiempo dispersa la piedra de tal manera que abarque los tres tipos de hoyuelos que conforma la zaranda para clasificar los diversos trozos de piedra según su tamaño.

El polvillo por su diminuto tamaño, se desliza por una canal de zinc que se encuentra ubicada en la parte inferior de la planta trituradora como se muestra en la (figura 15 D) para desembocar en una especie de carretilla que recoge el producto final en pequeñas cantidades, lo cual incide en que 2 empleados se encuentren al pendiente del proceso para posteriormente movilizar lo recogido en un balde hasta el lugar de acopio del mismo.

Cabe mencionar que tanto el polvillo de 0,59 mm como el de 0,074 mm cuentan con el mismo proceso de producción.

3.8. Recolección de datos

La recolección de datos comprende desde el segundo semestre del año 2018, más específicamente en el mes de octubre, periodo mediante el cual se adquirió la información pertinente al proceso de extracción, transporte y trituración de la piedra caliza. Para cada uno de los procesos mencionados anteriormente, se realizó el inventario de máquinas y equipos que intervienen en la operación, así como el consumo de combustible pertinente por medio de un formato creado en Excel.

Además, se identificaron cada uno de los productos que se obtienen de la materia prima en el transcurrir del mes, adquiriendo también los volúmenes de producción y demás materiales asociados.

El cálculo de la huella de carbono se efectuó para cada producto por separado, ya que la planta de trituración trabaja con 4 tipos de producto, de los cuales algunos suelen ser más demandados u obtenidos a comparación de los otros.

En entrevistas con el personal de la empresa en cuestión, se ha podido establecer que las emisiones de carbono que se dan en la parte productiva de la misma tienen que ver con los siguientes aspectos:

Obtención de las materias primas: Los trabajadores de la empresa manifiestan que el 50 y el 60% de las emisiones son generadas en el proceso de descomposición de la piedra caliza para la producción de los diversos agregados para la construcción. Refieren que es de mucha complejidad tratar de disminuir estas emisiones, ya que están directamente asociadas con la producción de la piedra caliza, que resulta ser el elemento más importante y trascendental para la producción de los agregados.

Molienda de la materia prima: Los colaboradores refirieron que entre el 10 y 20% de las emisiones de carbono que salen al ambiente proviene de la utilización de combustibles, que utiliza en el transporte de la materia prima, ya que se necesitan más de una volqueta para satisfacer el transporte de los volúmenes de piedra explotada para alcanzar a cubrir las demandas diarias de los agregados distribuidos por la empresa. Estos consumen importantes volúmenes de combustible; además de que existen otros camiones transportadores del material al destino que el cliente solicite.

Por otra parte, las emisiones de carbono que surge de la trituración de la materia prima, es la electricidad necesaria para llevar a cabo este y otros procesos de la empresa, ya sea los ventiladores, alumbrado y demás, todos estos consumen alrededor del 20% del consumo eléctrico.

3.8.1. Inventario de materia prima (Mp) y producto terminado (Pt) de la Trituradora San José.

El cálculo de producto terminado fue proporcionado por la empresa en m³ y comprende el mes de octubre del año 2018, diciéndose que en el transcurrir del mes se explotaron 2,100 metros cúbicos de piedra para triturar, distribuidos en los siguientes volúmenes por producto (Tabla 6).

Tabla 6

Volumen de Mp y Pt de la Trituradora San José.

<i>Materia Prima (Mp)</i>	<i>Vol. (m³)</i>	<i>Producto Terminado (Pt)</i>	<i>Vol. (m³)</i>	<i>Rendimiento %</i>
		Polvillo 0	60 m ³	2,85%
<i>Piedra</i>	2,100	Gravilla 8	840 m ³	40,0 %
		Triturado Grueso 35	780 m ³	37,2%
		Gravillon 12	420 m ³	20,0 %
<i>Total</i>	2,100 m ³	Total	2,100 m ³	

Fuente: Elaboración propia (2019).

La tabla 6 muestra el cálculo del volumen de materia prima n total de piedra extraída, así como el volumen por cada tipo de piedra, el cual se determinó multiplicando por 30 días que equivalen a un mes el valor de m³ diario entregado por empresa. Además, se realizó el cálculo de materia prima requerida para obtener 1 m³ de Pt de cada uno de los productos que extrae la empresa

tal como se demostrará a continuación por medio de una regla de tres con el segundo producto que es la gravilla”.

$$\begin{array}{rcl}
 2100 \text{ m}^3 \text{ Mp} & \rightarrow & 840 \text{ m}^3 \text{ Pt} \\
 X & \leftarrow & 1 \text{ m}^3 \text{ Pt}
 \end{array}
 \quad \left(\begin{array}{c} \text{Ecuación 1} \end{array} \right)$$

$$X = (2100 \text{ m}^3 \text{ Mp} * 1 \text{ m}^3 \text{ Pt}) / (840 \text{ m}^3 \text{ Pt})$$

$$X = 2,5 \text{ m}^3 \text{ Pt}$$

Este procedimiento se realizó para los demás productos procesados en la trituradora consiguiendo al final los resultados que se mostraran a continuación (Tabla 7).

Tabla 7

Consumo de materia prima por producto de la Trituradora San José.

<i>Materia Prima (Mp)</i>	<i>Vol. (m³)</i>	<i>Producto Terminado (Pt)</i>	<i>Vol. (m³)</i>	<i>Vol. (m³) para 1 m³ de Pt</i>
		Polvillo 0	60 m ³	35 m ³ Pt
<i>Piedra</i>	2,100	Gravilla 8	840 m ³	2,5 m ³ Pt
		Triturado Grueso 35	780 m ³	2,69 m ³ Pt
		Gravillon 12	420 m ³	5 m ³ Pt
<i>Total</i>			2,100 m³	

Fuente: Elaboración propia (2019).

3.8.2. Inventario de maquinaria y equipos de la Trituradora San José.

La Trituradora San José cuenta con inventario tecnológico el cual interviene en diversas fases del proceso de realización de la materia prima y se mostrará a continuación (Tabla 8), la cual desglosa todas las maquinarias o equipos que propician emisiones de gases de efecto invernadero

a través del consumo de combustibles durante el proceso remoción, explotación, transporte, trituración y almacenamiento por separado de la materia prima y sus derivados.

Tabla 8

Inventario de máquinas y equipos de la Trituradora San José.

<i>Tipo</i>	<i>Código</i>	<i>Actividad</i>	<i>Fuente</i>
<i>Compresor</i>	YN27C	Explotación	Diésel
<i>Volqueta Diésel</i>	PVJ 371	Transporte	Diésel
<i>Volqueta Internacional</i>	UQE 070	Transporte	Diésel
<i>Retroexcavadora Caterpillar</i>	CLC -12	Remoción	Diésel
<i>Planta de Trituración</i>	PEW180*1300	Trituración	Electricidad

Fuente: Elaboración propia (2019).

En el libre desarrollo del proceso productivo involucra el consumo energético de las máquinas y equipos de los cuales se clasifican como eléctricos y de combustión. Para el proceso de remoción, explotación y transporte se requieren equipos de combustión y para el proceso de triturado de la materia prima se utiliza la electricidad. A continuación, se iniciará mencionando el consumo de combustible de los equipos de combustión por m³.

3.8.3. Inventario de equipos de combustión de la Trituradora San José -

Alcance 1.

Para los equipos de combustión, los consumos se denotan en tres fases del proceso productivo siendo estas la remoción, explotación y transporte. A continuación (Tabla 9) se ilustran los respectivos consumos.

Tabla 9

Inventario de equipos de combustión de la Trituradora San José.

<i>Código</i>	<i>Fuente</i>	<i>Aplicación</i>	<i>Consumo (Litros / Mes)</i>	<i>% Consumo</i>
<i>YN27C</i>	Diésel	Móvil	600 L	25%
<i>PVJ 371</i>	Diésel	Móvil	900 L	37,5%
<i>UQE 070</i>	Diésel	Móvil	600 L	25%
<i>CLC -12</i>	Diésel	Móvil	300 L	12,5%
<i>TOTAL</i>			2,400 L	100%

Fuente: Elaboración propia (2019).

En la tabla anterior, se calculó el volumen de ACPM usado mensualmente, el cual según la empresa se adquiere en pimpinas con una capacidad de 5 galones que equivalen a 20 litros cada una.

3.8.4. Consumo de combustibles por remoción, explotación y transporte de materia prima en la Trituradora San José.

El consumo de combustible se estableció por cada metro cubico de materia prima extraída y transportada hasta la planta de trituración, así como la eliminación de material estéril al iniciar el proceso, lo cual resulto de la división del consumo total de combustible entre el volumen total de piedra extraída, transportada y la eliminación de material estéril de la misma.

$$\text{Consumo (Litros / m}^3\text{)} = 2400 \text{ Litros} / 2100 \text{ m}^3$$

$$\text{Consumo} = 1,12 \text{ Litros / m}^3$$

(*Ecuación 2*)

En el sentido más amplio, se halló el consumo por metros cúbicos de cada proceso y el consumo por metro cubico de cada máquina (Tabla 10).

Tabla 10

Consumo de combustible remoción, explotación, transporte de la Trituradora San José.

Código	Litros / Mes	Consumo (Litros /Mes) Mp	% Consumo	Consumo proceso Litros /m³	% Consumo proceso
YN27C	600 L	0,28	25%	0,28	25%
PVJ 371	900 L	0,42	37,5%	0,7	62.5%
UQE 070	600 L	0,28	25%		
CLC -12	300 L	0,14	12,5%	0,14	12,5 %
TOTAL	2,400 L	1,12	100%	1,12	100%

Fuente: Elaboración propia (2019).

Se calculó que en el proceso de explotación de la piedra caliza se consume un 25% de combustible y el equivalente de explotación de un 1 m³ es de 0,28 litros/ m³. Para el transporte de la piedra caliza se consume un 62.5% que para 1 m³ es 0,7 litros/ m³ de combustible y para el proceso de remoción o eliminación de material estéril se consume un 12,5% que equivale a 0,14 litros/ m³ por cada metro cubico.

A continuación, se muestra como se determinó el consumo de litros/ m³ de materia prima para el primer vehículo:

$$\begin{array}{rcl} 600 \text{ L/ m}^3 \text{ Mp} & \rightarrow & 2,100 \text{ m}^3 \text{ Pt} \\ X & \leftarrow & 1 \text{ m}^3 \text{ Pt} \end{array}$$

(Ecuación 3)

$$\begin{aligned} X &= (600 \text{ L/ m}^3 \text{ Mp} * 1 \text{ m}^3 \text{ Pt}) / (2,100 \text{ m}^3 \text{ Pt}) \\ X &= 0,28 \text{ L/ m}^3 \text{ Pt} \end{aligned}$$

3.8.5. Inventario de equipos eléctricos en el proceso de trituración en la Trituradora San José – Alcance 2.

La tolva o planta de trituración es un equipo de molienda conformada por un alimentador vibratorio, tres canales transportadores y una zaranda o cilindro giratorio, los cuales operan simultáneamente y están intriguados por motores eléctricos en su totalidad. Dicha tolva se compone de los siguientes equipos (Tabla 11).

Tabla 11

Inventario de equipos de trituración de la Trituradora San José.

<i>Equipo</i>	<i>Código</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Potencia (HP)</i>	<i>Consumo (KWh)</i>
<i>Alimentador vibratorio</i>	AV	1	30	7,20
<i>Molino Impactor</i>	MI	1	100	24,0
<i>Cinta transportadora</i>	CT	1	4	0,96
<i>Zaranda giratoria</i>	ZG	1	4	0,96
<i>Noria</i>	N	1	1,5	0,36

Fuente: Elaboración propia (2019).

El consumo KWh se determinó de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} 30 \text{ Kwh} \times 8 \text{ horas} &= 240 \\ 240 \times 30 \text{ días (més)} &= 7,200 \\ 21,000 / 1000 &= 7,2 \text{ Kwh/mes} \end{aligned} \quad \left(\begin{array}{c} \text{Ecuación 4} \end{array} \right)$$

La tolva o planta de trituración, cuenta con un consumo eléctrico mensual, el cual se determinó que para el mes de octubre operó en un periodo de 240 horas. Sin embargo, para hacer el cálculo del consumo total de la tolva, se debe tener en cuenta que, para la obtención del producto final de cada tipo de piedra, las mismas no requieren del uso de todos los equipos que componen la planta, lo cual sugiere que el cálculo se realice de forma independiente para cada producto mediante el consumo que tenga cada equipo durante el proceso.

3.8.6. Consumo eléctrico en la producción de polvillo.

Para la producción de polvillo, se tiene que la misma difiere del consumo eléctrico del triturado grueso y el gravillon, ya que, al momento de caer en la zaranda giratoria, esta toma inmediatamente una ruta totalmente distinta por su diminuta dimensión, la cual es una canal a base de zinc ubicada debajo de la tolva como se muestra en la figura 15 D. A continuación, se enseñarán los equipos eléctricos que hacen parte de dicho proceso en la (tabla 12).

Tabla 12

Inventario de consumo eléctrico en la producción de polvillo en la Trituradora San José.

<i>Equipo</i>	<i>Consumo (KWh)</i>	<i>Horas trabajadas Mes</i>
<i>Alimentador vibratorio</i>	7,20	240
<i>Molino Impactor</i>	24,0	240
<i>Cinta transportadora</i>	0,96	240
<i>Zaranda giratoria</i>	0,96	240
	33,12	

Fuente: Elaboración propia (2019).

Teniendo la tabla anterior, se procede a realizar el cálculo para conocer el consumo eléctrico de la tolva para originar 1 m³ de polvillo.

$$\text{Horas necesarias para producir 1 m}^3 \text{ de Polvillo} = 240$$

$$\text{horas} / 60 \text{ m}^3 \text{ Pt}$$

$$\text{Horas necesarias para producir 1 m}^3 \text{ de Polvillo} = 4$$

$$\text{horas} / \text{m}^3 \text{ Pt}$$

Ecuación 5

El tiempo para producir 1 m³ de polvillo es de 4 horas. Por medio de este dato se procede a hallar el consumo eléctrico de la tolva para generar 1 m³ Pt de polvillo (tabla 13) con la multiplicación del consumo KWh de cada equipo por las 4 horas que tarda en generar 1 m³.

Tabla 13

Consumo eléctrico de la producción de polvillo de la Trituradora San José.

<i>Código</i>	<i>Consumo (KWh)</i>	<i>KWh / m3 Pt</i>	<i>% Consumo (KWh) / m3</i>
<i>AV</i>	7,20	28,8	21,73%
<i>MI</i>	24,0	96,0	72,46 %
<i>CT</i>	0,96	3,84	2,89%
<i>ZG</i>	0,96	3,84	2,89 %
	33,12	132,48	100 %

Fuente: Elaboración propia (2019).

En la producción de 1 m³ de polvillo se consume 132,48 KWh, en un tiempo de 4 horas.

3.8.7. Consumo eléctrico en la producción de Gravilla.

Para la producción de Gravilla, se tiene que la misma difiere del consumo eléctrico del triturado grueso y el gravillon, ya que, al momento de caer en la zaranda giratoria, esta toma inmediatamente una segunda ruta totalmente distinta por su pequeña dimensión, la cual es una canal a base de zinc ubicada al lado derecho de la tolva como se muestra en la figura 15 B. Sus consumos por un mes son los siguientes:

Tabla 14

Inventario de consumo eléctrico en la producción de Gravilla en la Trituradora San José.

<i>Equipo</i>	<i>Consumo (KWh)</i>	<i>Horas trabajadas Mes</i>
<i>Alimentador vibratorio</i>	7,20	240
<i>Molino Impactor</i>	24,0	240
<i>Cinta transportadora</i>	0,96	240
<i>Zaranda giratoria</i>	0,96	240
	33,12	

Fuente: Elaboración propia (2019).

Teniendo la tabla anterior, se procede a realizar el cálculo para conocer el consumo eléctrico de la tolva para originar 1 m³ de Gravilla.

$$\frac{\text{Horas necesarias para producir 1 m}^3 \text{ de Gravilla} = 240}{\text{horas} / 840 \text{ m}^3 \text{ Pt}}$$

$$\frac{\text{Horas necesarias para producir 1 m}^3 \text{ de Gravilla} = 0,}{28 \text{ horas} / \text{m}^3 \text{ Pt}}$$

(*Ecuación 6*)

El tiempo para producir 1 m³ de Gravilla es de 0,28 horas que equivalen a 17.14 min. Por medio de este dato se procede a hallar el consumo eléctrico de la tolva para generar 1 m³ Pt de Gravilla (tabla 15) con la multiplicación del consumo KWh de cada equipo por las 0,28 horas que tarda en generar 1 m³.

Tabla 15

Consumo eléctrico de la producción de Gravilla de la Trituradora San José.

<i>Código</i>	<i>Consumo (KWh)</i>	<i>KWh / m3 Pt</i>	<i>% Consumo (KWh) / m3</i>
<i>AV</i>	7,20	2,05	21,73%
<i>MI</i>	24,0	6,85	72,46 %
<i>CT</i>	0,96	0,27	2,89%
<i>ZG</i>	0,96	0,27	2,89 %
	33,12	9,44	100 %

Fuente: Elaboración propia (2019).

En la producción de 1 m³ de Gravilla se consume 9,44 KWh, en un tiempo de 0,28 horas.

3.8.8. Consumo eléctrico en la producción de Triturado Grueso.

Para la producción de Triturado Grueso, se tiene que la misma difiere del consumo eléctrico del Polvillo y la Gravilla, ya que, al momento de caer en la zaranda giratoria, esta pasa directamente a la Noria, la cual cuenta con 3 bocas o vías de escape en forma de embudo de las que se requiere solo 2 para obtener dicho producto final como se muestra en la (figura 15 A). Sus consumos por un mes son los siguientes:

Tabla 16

Inventario de consumo eléctrico en la producción de Triturado Grueso en la Trituradora San José.

<i>Equipo</i>	<i>Consumo (KWh)</i>	<i>Horas trabajadas Mes</i>
<i>Alimentador vibratorio</i>	7,20	240
<i>Molino Impactor</i>	24,0	240
<i>Cinta transportadora</i>	0,96	240
<i>Zaranda giratoria</i>	0,96	240
<i>Noria</i>	0,36	240
	33,48	

Fuente: Elaboración propia (2019).

Teniendo la tabla anterior, se procede a realizar el cálculo para conocer el consumo eléctrico de la tolva para originar 1 m³ de Triturado Grueso.

$$\begin{aligned}
 & \text{Horas necesarias para producir 1 m}^3 \\
 & \text{de Triturado Grueso}^* = 240 \text{ horas} / 780 \text{ m}^3 \text{ Pt} \\
 & \text{Horas necesarias para producir 1 m}^3 \\
 & \text{de Triturado Grueso} = 0,30 \text{ horas} / \text{m}^3 \text{ Pt}
 \end{aligned}
 \quad \left(\text{Ecuación 7} \right)$$

El tiempo para producir 1 m³ de Triturado Grueso es de 0,30 horas que equivalen a 18.46 min. Por medio de este dato se procede a hallar el consumo eléctrico de la tolva para generar 1 m³ Pt de Triturado Grueso (tabla 17) con la multiplicación del consumo KWh de cada equipo por las 0,30 horas que tarda en generar 1 m³.

Tabla 17

Consumo eléctrico de la producción de Triturado Grueso de la Trituradora San José.

<i>Código</i>	<i>Consumo (KWh)</i>	<i>KWh / m3 Pt</i>	<i>% Consumo (KWh) / m3</i>
<i>AV</i>	7,20	2,21	21,50%
<i>MI</i>	24,0	7,38	71,68%
<i>CT</i>	0,96	0,29	2,86%
<i>ZG</i>	0,96	0,29	2,86 %
<i>N</i>	0,36	0,11	1,07 %
	33,48	10,28	100 %

Fuente: Elaboración propia (2019).

En la producción de 1 m³ de Triturado Grueso se consume 10,28 KWh, en un tiempo de 0,30 horas.

3.8.9. Consumo eléctrico en la producción de Gravillon.

Para la producción de Gravillon, se tiene que la misma difiere del consumo eléctrico del Polvillo y la Gravilla, ya que, al momento de caer en la zaranda giratoria, esta pasa directamente a la Noria, la cual cuenta con 3 bocas o vías de escape en forma de embudo de las que se requiere solo 1 para obtener dicho producto final como se muestra en la (figura 15 A). Sus consumos por un mes son los siguientes:

Tabla 18

Inventario de consumo eléctrico en la producción de Gravillon en la Trituradora San José.

<i>Equipo</i>	<i>Consumo (KWh)</i>	<i>Horas trabajadas Mes</i>
<i>Alimentador vibratorio</i>	7,20	240
<i>Molino Impactor</i>	24,0	240
<i>Cinta transportadora</i>	0,96	240
<i>Zaranda giratoria</i>	0,96	240
<i>Noria</i>	0,36	240
	33,48	

Fuente: Elaboración propia (2019).

Teniendo la tabla anterior, se procede a realizar el cálculo para conocer el consumo eléctrico de la tolva para originar 1 m³ de Gravillon.

$$\begin{aligned}
 & \text{Horas necesarias para producir 1 m}^3 \\
 & \text{de Gravillon} = 240 \text{ horas} / 420 \text{ m}^3 \text{ Pt} \\
 & \text{Horas necesarias para producir 1 m}^3 \\
 & \text{de Gravillon} = 0,57 \text{ horas} / \text{m}^3 \text{ Pt}
 \end{aligned}
 \quad \left(\begin{array}{c} \text{Ecuación 8} \end{array} \right)$$

El tiempo para producir 1 m³ de Gravillon es de 0,57 horas que equivalen a 34.28 min. Por medio de este dato se procede a hallar el consumo eléctrico de la tolva para generar 1 m³ Pt de Gravillon (tabla 19) con la multiplicación del consumo KWh de cada equipo por las 0,57 horas que tarda en generar 1 m³.

Tabla 19

Consumo eléctrico de la producción de Gravillon de la Trituradora San José.

<i>Código</i>	<i>Consumo (KWh)</i>	<i>KWh / m3 Pt</i>	<i>% Consumo (KWh) / m3</i>
<i>AV</i>	7,20	4,11	21,50%
<i>MI</i>	24,0	13,71	71,68%
<i>CT</i>	0,96	0,54	2,86%
<i>ZG</i>	0,96	0,54	2,86 %
<i>N</i>	0,36	0,20	1,07 %
	33,48	19,1	100 %

Fuente: Elaboración propia (2019).

En la producción de 1 m³ de polvillo se consume 19,1 KWh, en un tiempo de 0,57 horas.

Capítulo 4

Resultados del cálculo de la Huella de Carbono

4. Calculo de emisiones de gases de efecto invernadero propiciadas del consumo de combustibles

La UPME – Unidad de Planeación Minero Energética, ha denominado las categorías de sólidos, líquidos y gaseosos como factores de emisión para combustibles en Colombia con el respaldo de (BID) – Banco Interamericano de Desarrollo, (MADS) – Ministro de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, (FECOC) - Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos y (GEF sigla en inglés) – Fondo Mundial para el Medio Ambiente (Pava ameeet al., 2016).

En la TRITURADORA SAN JOSÉ, acorde a los datos recopilados acerca de la empresa, requiere equipos de combustión líquido Diésel, el cual es un destilado medio obtenido de la destilación atmosférica del petróleo crudo, mismo que cuenta con la mayor tasa de consumo en comparación con los demás energéticos secundarios. Este derivado del petróleo favorece al sector de transporte, generación de energía eléctrica y mecánica, entre otras (Incombustion-Natura, 2016).

En la realización del estudio, se tomó como referencia el factor de emisión en CO₂ (kg CO₂ /gal) del combustible correspondiente a Diesel B10 (Mezcla comercial) que es de 10,2765 kg CO₂ /Gal. En cuento a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero generadas por cada una de los equipos de combustión, se calcula la huella de carbono por medio de la fórmula 1 estructurada en la metodología.

Teniendo en cuenta la (formula 3), se procede a realizar el cálculo de las emisiones de GEI. Cabe resaltar que, para dato de actividad, es decir, el Consumo (Litros/ Mes) Mp se requirió hacer la conversión a cada una de las unidades obtenidas anteriormente a Consumo (Galones/ Mes) Mp,

ya que el factor de emisión del tipo de combustible Diesel B10 (Mezcla comercial) es de 10,2765 kg CO₂/Gal. A continuación, se muestran los resultados:

Tabla 20

Emisiones de GEI de combustibles por producto de la Trituradora San José.

<i>Código</i>	<i>Actividad</i>	<i>Consumo (Galones /Mes) Mp</i>	<i>Emisiones Maquina kg CO₂ Eq/m³</i>	<i>% Emisión Maquina</i>	<i>% Emisión Actividad</i>
<i>YN27C</i>	Explotación	0,075	0,770 kg CO ₂ Eq/m ³	25,00%	25,00%
<i>PVJ 371</i>	Transporte	0,113	1,161 kg CO ₂ Eq/m ³	37,66%	62,66%
<i>UQE 070</i>	Transporte	0,075	0,770 kg CO ₂ Eq/m ³	25,00%	
<i>CLC -12</i>	Remoción	0,037	0,380 kg CO ₂ Eq/m ³	12,33 %	12,33%
<i>TOTAL</i>		0,3	3,081 kg CO₂ Eq/m³	100%	100%

Fuente: Elaboración propia (2019).

De la tabla anterior se deduce que para remover material estéril o vegetal, explotar y transportar 1m³ de piedra caliza se emiten a la atmosfera 3,081 kg CO₂ Eq/m³, de los cuales el 12,33% (0,380 kg CO₂ Eq/m³), se deriva de la remoción, el 25,00% (0,770 kg CO₂ Eq/m³) de la explotación y el 62,66% (1,931 kg CO₂ Eq/m³). La máquina PVJ 371, lidera la tabla con un porcentaje de emisión de 37,66%.

4.1. Calculo de emisiones de gases de efecto invernadero propiciadas del consumo eléctrico

Para el cálculo de las emisiones por consumo eléctrico de cada derivado de la piedra caliza, se utilizó la fórmula 1, los resultados de dichos cálculos se mostrarán por medio de tablas.

4.1.1. Emisiones por consumo eléctrico en la producción de Gravillon de la Trituradora San José.

Tabla 21

Emisiones por consumo eléctrico en la producción de Gravillon en la Trituradora San José.

<i>Código</i>	<i>KWh / m3 Pt</i>	<i>Emisiones Equipo kg CO₂ Eq/m³</i>	<i>% Emisiones Equipo</i>
<i>AV</i>	4,11	0,817	21,50%
<i>MI</i>	13,71	2,728	71,68%
<i>CT</i>	0,54	0,107	2,86%
<i>ZG</i>	0,54	0,107	2,86 %
<i>N</i>	0,20	0,039	1,07 %
	19,1	3,691	100 %

Fuente: Elaboración propia (2019).

De la tabla anterior se deduce que para adquirir 1m³ de Gravillon se emiten 3,691 kg CO₂ Eq/m³. El equipo MI (Molino Impactor) lidera la tabla con un porcentaje de emisión de 71,68%.

4.1.2. Emisiones por consumo eléctrico en la producción de Triturado Grueso en la Trituradora San José.

Tabla 22

Emisiones por consumo eléctrico en la producción de Triturado Grueso en la Trituradora San José.

<i>Código</i>	<i>KWh / m3 Pt</i>	<i>Emisiones Equipo kg CO₂ Eq/m³</i>	<i>% Emisiones Equipo</i>
AV	2,21	0,439	21,50%
MI	7,38	1,468	71,68%
CT	0,29	0,057	2,86%
ZG	0,29	0,057	2,86 %
N	0,11	0,021	1,07 %
	10,28	2,042	100 %

Fuente: Elaboración propia (2019).

De la tabla anterior se deduce que para adquirir 1m³ de Triturado Grueso se emiten 2,042 kg CO₂ Eq/m³. El equipo MI (Molino Impactor) lidera la tabla con un porcentaje de emisión de 71,68%.

4.1.3. Emisiones por consumo eléctrico en la producción de Gravilla en la Trituradora San José.

Tabla 23

Emisiones por consumo eléctrico en la producción de Gravilla en la Trituradora San José.

<i>Código</i>	<i>KWh / m3 Pt</i>	<i>Emisiones Equipo kg CO₂ Eq/m³</i>	<i>% Emisión Equipo</i>
<i>AV</i>	2,05	0,407	21,73%
<i>MI</i>	6,85	1,363	72,46 %
<i>CT</i>	0,27	0,053	2,89%
<i>ZG</i>	0,27	0,053	2,89 %
	9,44	1,876	100 %

Fuente: Elaboración propia (2019).

De la tabla anterior se deduce que para adquirir 1m³ de Gravilla se emiten 1,876 kg CO₂ Eq/m³. El equipo MI (Molino Impactor) lidera la tabla con un porcentaje de emisión de 72,46%.

4.1.4. Emisiones por consumo eléctrico en la producción de Polvillo en la Trituradora San José.

Tabla 24

Emisiones por consumo eléctrico en la producción de Polvillo en la Trituradora San José.

<i>Código</i>	<i>KWh / m3 Pt</i>	<i>Emisiones Equipo kg CO₂ Eq/m³</i>	<i>% Emisión Equipo</i>
<i>AV</i>	28,8	5,731	21,73%
<i>MI</i>	96,0	19,104	72,46 %
<i>CT</i>	3,84	0,764	2,89%
<i>ZG</i>	3,84	0,764	2,89 %
	132,48	26,363	100 %

Fuente: Elaboración propia (2019).

De la tabla anterior se deduce que para adquirir 1m³ de Polvillo se emiten 26,363 kg CO₂ Eq/m³. El equipo MI (Molino Impactor) lidera la tabla con un porcentaje de emisión de 72,46%.

4.2. Resumen de emisiones de Gases de Efecto Invernadero por producto.

A Continuación se resume la información obtenida del ejercicio por cada producto en cuanto al Consumo Eléctrico y las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, notándose que la producción de polvillo representa el mayor porcentaje de emisión para adquirir de 1m³, lo cual es comprensible, ya que el tiempo de producción del mismo es el más alto: Un total de 4 horas aproximadamente de las cuales, las actividades de transporte (Volqueta Diésel) y trituración (Molino Impactor) lideran la mayor emisión de emisiones directas e indirectas.

4.2.1. Consumo Eléctrico

Tabla 25

Emisiones de GEI de electricidad por producto.

<i>Producto</i>	<i>Consumo KWh / m³Pt</i>	<i>Kg CO₂ Eq / m³</i>
<i>Gravillon</i>	19,1	3,691
<i>Triturado Grueso</i>	10,28	2,042
<i>Gravilla</i>	9,44	1,876
<i>Polvillo</i>	132,48	26,363

Fuente: Elaboración propia (2019).

4.2.2. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

Tabla 26

Emisiones de GEI de combustible y electricidad por producto.

<i>Producto</i>	<i>Emisión Combustible</i> Kg CO ₂ Eq / m ³	<i>Emisión Electricidad</i> Kg CO ₂ Eq / m ³	<i>Emisión Producto</i> Kg CO ₂ Eq / m ³ Pt
Gravillon	3,081	3,691	6,771
Triturado Grueso	3,081	2,042	5,122
Gravilla	3,081	1,876	4,956
Polvillo	3,081	26,363	29,443

Fuente: *Elaboración propia (2019).*

Para el mes de octubre, se alcanzaron a generar 2,100 m³ de materiales, de los cuales el 20,0% corresponde al Gravillon, el 37,2% corresponde al Triturado Grueso, el 40,0 % corresponde a la Gravilla y el 2,85% corresponde al Polvillo. En concordancia con la información de la tabla anterior, se tiene que para generar 1 m³ de Gravillon se emiten 6,771 Kg CO₂ Eq de GEI a la atmosfera, En cuanto a la producción de 1 m³ de Triturado Grueso se emitirían 5,122 Kg CO₂ Eq de GEI a la atmosfera, para la producción de 1 m³ de Gravilla se emitirían 4,956 Kg CO₂ Eq de GEI a la atmosfera y para la producción de 1 m³ de Polvillo se emitirían 29,443 Kg CO₂ Eq de GEI a la atmosfera.

Cabe destacar que la producción de gravilla que es de 840 m³ y la del Triturado Grueso es de 780 m³, representan el mayor volumen de obtención, pero son las que menor impacto ocasionan a la atmosfera. Esto traduce a un elevado aprovechamiento que se tiene de la materia prima al respecto, tardándose menor tiempo de producción y generando mayor volumen de producto final.

4.3. Discusión

A continuación, se cuestiona algunos aportes realizados por diversos autores con relación a la temática estudiada:

Doménech (2011) define la huella de carbono como una medición de las emisiones directa del CO₂ y de los gases de efecto invernadero; mientras que los autores Galvez, y Velasquez (2016), definen la huella de carbono como una suma de emisión directa e indirecta de gases de efecto invernadero, afirmación que tanto para el presente trabajo de grado como el trabajo realizado por Bravo y Contreras (2017) tiene mayor validez, ya que en los alcances que se determinaron para el cálculo de la huella se evidencia resultados de emisiones por combustión o directas y emisiones eléctricas o indirectas, siendo estos últimos quienes presentan altas variaciones como por ejemplo el polvillo, el cual es el derivado de la piedra caliza que mayor consumo energético tiene, ya que requiere de 4 horas para obtener 1 m³ de Pt del mismo.

Rojas y Chacón (2011) aportan que en Colombia se tiene como una posibilidad de medir las emisiones de gases efecto invernadero producidos para identificar el daño causado por emisiones de gases como el dióxido de carbono para luego diseñar e implementar estrategias tendientes a disminuir el impacto al ambiente, mientras que para Samaniego y Schneider (2010) resaltan la urgente implementación de estrategias para la mitigación o eliminación de los gases de efecto invernadero. De tal afirmación se deduce que la eliminación de los GEI emanados a la capa de ozono es una tarea imposible, ya que el daño está hecho y se puede observar en las alteraciones que hoy en día se perciben a nivel global como las sequías y las olas de calor (Elías, Jiménez, Montón, Muñoz, Prieto y Serrano, 2008).

Por lo que en el presente estudio y en el realizado por Bravo y Contreras (2017), se sugirieron estrategias pertinentes a los resultados del cálculo de la huella de carbono solo para la

disminución del impacto ambiental que la producción de la piedra caliza en sus diversos derivados genera.

4.4. Aportes Significativos

Cabe resaltar que, así como diversos autores realizaron aportes contradictorios entre sí, hubo otros que hicieron aportes de suma importancia en la actualidad con lo que al impacto al medio ambiente se refiere. Es por ello que se generaron las siguientes iniciativas:

Tabla 27

Matriz de impactos al medio ambiental más relevantes.

<i>Aportes</i>	<i>Iniciativas</i>	<i>Beneficiados</i>
<p>Ayala (2012) afirma que la calidad del aire en ese país, se ve afectada en los procesos de apertura de caminos y carreteras para la remoción de las coberturas vegetales que deben implementarse para preparar la tierra para el cultivo. Estos procedimientos agroindustriales necesitan de la utilización de herbicidas y los gases de combustión, así mismo, se deben utilizar máquinas y vehículos que generan emisiones de gases que van directamente al ambiente y dañan la calidad del aire.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Manejo adecuado del paisaje, con el que se puede cercar las instalaciones de la empresa con pantallas vegetales y la siembra de una mayor cantidad de árboles alrededor del camino que recorren las volquetas desde el área de extracción hasta el área de trituración. - El reemplazo de los combustibles convencionales por combustibles que no aporten CO₂, como por ejemplo la biomasa, que produce bajo consumo energético. 	<ul style="list-style-type: none"> - Personas aledañas a la empresa. - Medio ambiente
<p>Herrán (2012) el efecto posterior de la extracción de la piedra caliza genera efectos</p>	<p>Lograr un programa de eficiencia energética en la empresa, haciendo uso de la herramienta PAS 2050 para</p>	

<p>adversos en el ambiente e incluso a los habitantes de los lugares donde se emiten este tipo de gases de efecto invernadero (GEI).</p>	<p>calcular las emsiones y conocer cuáles son los consumos más representativos para generar medidas o estrategias al respecto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Trituradora San José. - Medio ambiente
<p>Rotman (2015) asegura que la temperatura es la consecuencia directa de manejo deficiente de los recursos naturales, en combinación con el incremento de las tecnologías en las empresas industriales actuales.</p>	<p>Sustituir el compresor por otra máquina que pueda explotar la piedra y no requiera ACPM u otro tipo de gas contaminante para su funcionamiento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Personas aledañas a la empresa. - Medio ambiente
<p>Espíndola y Valderrama (2012) sugieren la necesidad de un modelo de exportación más dinámico, de acuerdo con grandes expectativas y aspiraciones de desarrollo sostenible y el fortalecimiento de las exigencias climáticas.</p>	<p>La renovación de los equipos que muestren más de 15 años de utilización, sustituyéndolos por equipos amables con el ambiente y menor consumo de energía.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Personas aledañas a la empresa. - Medio ambiente.

Fuente: *Elaboración propia (2019).*

La tabla anterior muestra los impactos más significativos en cuanto a la extracción de materiales agregados para la construcción proveniente de la piedra caliza junto con las diversas actividades productivas del hombre mencionadas anteriormente como son: El uso de combustibles fósiles, la ganadería, producción agrícola y la deforestación, las cuales no se presentan solo en el municipio de Toluviejo sino en todo el país. Colombia aunque no ha sido el principal responsable de haber originado el problema del cambio climático su contribución llega a 0,3% del total de gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera donde se han observado impactos alarmantes por causa del calentamiento global, uno de ellos es la infraestructura turística de la Isla de San Andrés, la cual sufriría consecuencias negativas al

desaparecer 17% de su territorio, casi la totalidad de los nevados y glaciares desaparecerían completamente, así como el 75% de los páramos. (Greenpeace, 2009)

4.5. Estrategias para la Mitigación de la Huella De Carbono

El diseño de Estrategias para la Mitigación de la Huella de Carbono Generada por la Trituradora San José se realizó con base a la actividad de transportar la piedra caliza en la volqueta Diésel, la cual representa la mayor emisión directa durante el proceso productivo comprendiendo el uso de 900 L de combustible mensual.

Acorde a la metodología de Criterio de Laplace explicada brevemente en el capítulo 2 pág. 27, se procede a tomar la decisión para escoger la estrategia que mayor beneficio aporte a la Trituradora San José. A continuación, se describen tres situaciones distintas:

Primera Situación

Como empresario se tiene la incertidumbre de elegir entre dos tipos de volquetas diferentes al momento de la compra de una de ellas. La selección se hará dependiendo del aprovechamiento de la misma en los siguientes dos criterios: Costo, Capacidad.

Como información inicial se fijan las siguientes alternativas:

Alternativa 1: Volqueta Faw CA3250

Capacidad de carga: 30 ton

Costo: \$136.898.750

Alternativa 2: Volqueta Swan F3000

Capacidad de carga: 50 ton

Costo: \$79,776,422

De las diversas alternativas para el transporte del material en volquetas, se procede a utilizar la tercera formula y el calificativo 1 (No Favorable), y 2 (Favorable) para obtener la siguiente tabla:

Tabla 28

Alternativas acordes a la emisión directa por el transporte del material.

P(j)	<i>1/2</i>	<i>1/2</i>	VM
	<i>Criterio 1</i>	<i>Criterio 2</i>	
Alternativa 1	1	1	1
Alternativa 2	2	2	2

Fuente: *Elaboración propia (2019).*

Para determinar la alternativa de mayor viabilidad, se determinó probabilidad de ocurrencia sea igual para cada situación en la compra de una volqueta teniendo en cuenta cada criterio establecido, es decir de 1/2, el cual se estipulo por el número de situaciones a tener en cuenta, multiplicando el mismo por el dato calificativo correspondiente a cada alternativa para luego sumar los valores obtenidos en cada fila y adquirir los resultados de los cuales es notoria la viabilidad de implementar en la empresa la Alternativa 2 en la Trituradora San José con la compra de la Volqueta Swan F3000. Cabe mencionar que este tipo de maquinaria representa emisiones directas.

Segunda Situación

Como empresario se toma la decisión de instalar una banda transportadora desde el sitio de extracción hasta el sitio de trituración, de lo cual se tiene la incertidumbre de escoger entre 2 modelos de bandas transportadoras diferentes, cuya selección se hará acorde a los criterios usados en la situación planteada anteriormente.

Como primera medida se establecen las siguientes alternativas:

Alternativa 1: Cinta Transportadora TD75-500

Costo: \$175,928000,00

Capacidad: 174Ton

Alternativa 2: Cinta Transportadora B1000

Costo: \$191,289000,00

Capacidad: 198 ton

De las diversas alternativas para el transporte del material en la banda transportadora, se procede a utilizar la tercera formula y el calificativo 1 (No Favorable), y 2 (Favorable) para obtener la siguiente tabla:

Tabla 29

Alternativas acordes a la emisión indirecta por el transporte del material.

P(j)	<i>1/2</i>	<i>1/2</i>	VM
	<i>Criterio 1</i>	<i>Criterio 2</i>	
Alternativa 1	2	1	1,5
Alternativa 2	1	2	1,5

Fuente: *Elaboración propia (2019).*

Los resultados arrojan que las alternativas no presentan viabilidad en ambos criterios establecidos, ya que la primera alternativa obedece solo al criterio de bajo costo y la segunda alternativa al criterio de capacidad, por lo que existe incertidumbre al momento de tomar la decisión de instalar una banda transportadora en la Trituradora San José, la cual generaría dado el caso que no existiera incertidumbre emisiones indirectas al medio ambiente.

Es por ello que la decisión a tomar en cuanto a la escogencia de la estrategia a implementar para aminorar el uso de combustible de la volqueta PVJ 371 en el proceso productivo de la piedra caliza es la siguiente:

La compra de la volqueta SWAN F3000 cumple con ambos criterios para la toma de decisiones, que son capacidad y precio. La capacidad de la volqueta SWAN F3000 que es de 50 ton ò 17.54 m³, difiere a la capacidad de la volqueta PVJ 371 que es la de mayor uso en la Trituradora San José con una cifra de 13,22 m³, ya que la capacidad de la volqueta PVJ 371 es de tan solo 4,32 m³. Además, el precio de la volqueta SWAN F3000 comparado con las alternativas que se evaluaron en ambas situaciones es menor con un total de \$79,776,422 a invertir en la implementación de la presente estrategia, la cual es la sustitución de la volqueta que actualmente posee la Trituradora San José.

Conclusiones

En el desarrollo de la presente tesis se ha podido constatar que el cambio climático es una de las amenazas más complejas que muestra el mundo de hoy, problema que se ha iniciado y se ha dificultado con la llegada de la Revolución Industrial. Se ha disparado con la quema de combustible, de los procesos productivos de empresas de todo tipo de procedimiento industrial y productivo. Entre estas empresas se encuentran las de extracción de materias primas para la producción de agregados para la construcción, que generan grandes cantidades de CO₂ al medioambiente y que necesitan de mejoras en sus planes de producción para disminuir y minimizar los efectos o impactos que estas industrias generan en el ambiente.

A través de la metodología PAS 2050 se pudo realizar un análisis de la situación actual de la empresa, detallando todas las fases que conforman el proceso productivo de la Trituradora San José, obteniendo como resultado lo siguiente:

Para generar 1 m³ de Gravillon se emiten 6,771 Kg CO₂ Eq, de los cuales 3,691 Kg CO₂ Eq pertenecen al consumo eléctrico y la cifra de 3,081 Kg CO₂ Eq al consumo de combustible. En la producción de 1 m³ de Triturado Grueso se emiten 5,122 Kg CO₂ Eq, de los cuales 2,042 Kg CO₂ Eq pertenecen al consumo eléctrico y la cifra de 3,081 Kg CO₂ Eq al consumo de combustible. En cuanto a la Gravilla, se tiene que para genera 1 m³ de la misma, se emiten 4,956 Kg CO₂ Eq, de los cuales 1,876 Kg CO₂ Eq pertenecen al consumo eléctrico y la cifra de 3,081 Kg CO₂ Eq al consumo de combustible y para producir 1 m³ de Polvillo, se emiten 29,443 Kg CO₂ Eq, de los cuales 26,363 Kg CO₂ Eq pertenecen al consumo eléctrico y la cifra de 3,081 Kg CO₂ Eq al consumo de combustible.

Cabe mencionar que las actividades como la remoción, explotación y transporte de 1 m³ de piedra caliza emiten 3,081 Kg CO₂ Eq, de los cuales el 12,33% (0,380 kg CO₂ Eq/m³), respectan

al proceso de remoción, 25,00% (0,770 kg CO₂ Eq/m³), respectan al proceso de explotación y el 62,66% (1,931 kg CO₂ Eq/m³), al proceso de transporte.

Mediante el cálculo de la huella de carbono se deduce que las actividades que presentan mayores emisiones de GEI durante el proceso productivo la lideran la volqueta diésel y el molino impactor.

Por medio de la aplicación de la metodología para la toma de decisiones criterio Laplace, se determinó como estrategia sustituir la volqueta PVJ 371 por la volqueta SWAN F3000.

Es de suma Importancia resaltar que el resultado final de las emisiones del Gravillon (6,771 Kg CO₂ Eq / m³) y la gravilla (4,956Kg CO₂ Eq / m³) en la Trituradora San José en comparación con las emisiones del Gravillon (17,0066 Kg CO₂ Eq / m³) y la gravilla (9,6850Kg CO₂ Eq / m³) de la empresa AgreSucre, son considerablemente inferiores. La empresa AgreSucre se constituyó primeramente como propuesta de grado que se encuentra enmarcada dentro del proyecto denominado “Propuesta para la disminución del impacto en el cambio climático generado por la producción de agregados para la construcción provenientes de la caliza en el municipio de Toluvejo, basada en el análisis de la huella de carbono”, aprobado a través de una convocatoria interna para la conformación de un banco de elegibles de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico en el año 2016. Dicho proyecto de grado se encuentra actualmente culminado y publicado.

Referencias Bibliográficas

- Aguilera, M. (2005). *La economía del departamento de sucre: ganadería y sector público*. Recuperado de [http //www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/DTSER-63-VE.pdf](http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/DTSER-63-VE.pdf)
- Alcaldía de Toluviejo (2018). *Nuestro territorio*. [Figura]. Recuperado de http://www.toluviejo-sucre.gov.co/informacion_general.shtml
- Angulo, R. (2010). *Economías extractivas y desarrollo sostenible: Análisis y reflexiones de sus relaciones, a partir de la explotación petrolera del Putumayo* (Tesis de grado). Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/2486/1/696485.2010.pdf>
- Armijo, A. (2012). *Marco general para la medición de la huella de carbono del arándano en la Región de los Ríos, Chile* (Tesis de grado). Universidad Austral de Chile, Santiago. Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2012/fac198m/doc/fac198m.pdf>
- Arrivillaga, C. (2017). *La huella de carbono y los productos pesqueros* (Tesis de grado). Universidad de la República de Uruguay. Recuperado de <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/123456789/10416>
- Ayala, M. (2012). *Análisis de la huella de carbono y del crecimiento del cultivo de la palma africana en el Ecuador* (Tesis de grado). Universidad San Francisco De Quito. Recuperado de <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/2039/1/104355.pdf>
- Banco Mundial. (17 de octubre, 2018). Casi la mitad de la población mundial vive con menos de USD 5,50 al día [Comunicado de prensa]. Recuperado de <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/10/17/nearly-half-the-world-lives-on-less-than-550-a-day>
- Barrera, E. (2017). *Revisión de emisiones de co2 en Colombia por la generación energía eléctrica para el sistema interconectado nacional en época de fenómeno de el niño entre los años 1990- 2016*. (Tesis de grado). Universidad Militar Nueva Granada. Bogota, Colombia. Recuperado de

- <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16478/BarreraCabalErikaJulieth2017.pdf;jsessionid=5128866DF33B16575414EE7D5F871392?sequence=3>
- Bracamonte, A., Vertel, M., y C, J. (2013). Caracterización físico-mecánica de agregados pétreos de la formación geológica Toluviejo (Sucre) para producción de concreto. *Scientia et Technica*, 18 (2), 429-436. Recuperado de <https://www.redalyc.org/html/849/84929153020/>
- Bravo, J., y Contreras, M. (2017). *Diseño de Estrategias para la Disminución o Reducción del Impacto Ambiental Generado por la Extracción de Materiales Agregados para la Construcción en el Municipio de Toluviejo - Sucre*. Sincelejo (Tesis de grado), Corporacion Univeristaria del Caribe Cecar. Recuperado de <https://repositorio.cecar.edu.co/jspui/bitstream/123456789/110/1/ESTRATEGIAS%20DE%20DISMINUCI%C3%93N%20DEL%20IMPACTO%20AMBIENTAL.pdf>
- Chacón, I., Pinzón, A., Ortegón, L., y Rojas, S. (2016). Alcance y gestión de la huella de carbono como elemento dinamizador del branding por parte de empresas que implementan estas prácticas ambientales en Colombia. *Estudios gerenciales*, 32(1), 278-289. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0123-chi59232016000300010
- Ching, C., Kuei, C., Wen, L., y Ming, W. (2017). Carbon footprint analysis in the aquaculture industry: Assessment of an ecological shrimp farm. *Journal of Cleaner Production*. *Diario de produccion mas limpia*, 168, 1101-1107. Recuperado de <https://researchoutput.ncku.edu.tw/en/publications/carbon-footprint-analysis-in-the-aquaculture-industry-assessment->
- Cordero, O. (2011). Cálculo de la huella de carbono según la metodología francesa bilan carbone: aplicacion a la sociedad de los transportes publicos de la ciudad limoges S.T.C.L en el año 2009. Universidad de Zaragoza, España. Recuperado de <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/326>
- Cuello, L. (2019). Toluviejo Sucre: territorio de paz. Recuperado de http://visiontoluviejo.ucoz.com/index/nuestro_municipio/0-52#.W_1ZW4dKh1s

- Doménech, J. (2011). La huella de carbono concepto, utilidad y aplicación. Recuperado de http://www.carbonfeel.org/Carbonfeel_2/Bitacora/Entradas/2011/3/21_La_Huella_de_Carbono,_concepto,_utilidad_y_aplicacion_por_Juan_Luis_Domenech_GAS_NATURAL_FENOSA_ZARAGOZA_files/ZARAGOZA.%201._JUAN_LUIS_DOMENECH.pdf
- Elías, C., Jiménez, J., Montón, J., Muñoz, P., Prieto, J., y Serrano, F. (2008). *Impacto ambiental. el planeta herido*. España: McGraw-Hill interamericana de España. SL. Recuperado de https://www.mhe.es/ceo_tabla.php?tipo=1_03_TC&isbn=8448167155&sub_materia=304&materia=89&nivel=B&comunidad=&ciclo=&portal=&letrero=&cabecera=
- El Meridiano. (10 de Noviembre de 2018). Santa Lucia- Moñitos, Colombia.
- Espíndola , C., Quezada, R., y Valderrama, J. (2011). Huella de Carbono, un Concepto que no puede estar Ausente en Cursos de Ingeniería y Ciencias. *Scielo*, 4(3), 3-12. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/formuniv/v4n3/art02.pdf>
- Espíndola, C., y Valderrama, J. (2012). Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. *Informacion tecnologica*, 23(1), 163-176. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642012000100018
- FAO. (s.f). Consentimiento libre, previo e informado: un derecho de los pueblos indígenas y una buena práctica para las comunidades locales. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i6190s.pdf>
- Fort, J., y Cerný, R. (2018). Carbon footprint analysis of calcined gypsum production in the Czech. *Elsevier*, 795-802. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618300027>
- Fundación UOCRA. (2009). Salud y seguridad en trabajos de minería. Recuperado de https://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/salud_seg_mineria.pdf
- Galvez, M., y Velasquez, J. (2016). Cálculo de la huella de carbono en una empresa de fabricación e instalación de pisos de madera. Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2859>

- Garcia, C. (2011). El cambio climático: los aspectos científicos y economicos mas relevantes . *Nómadas. Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas* , 32(4). Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=18120706003>
- Geographic, N. (5 de septiembre de 2010). ¿Qué es el calentamiento global? National Geographic. Recuperado de <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-es-el-calentamiento-global>
- Gonzales, J. (2016). Huella de carbono para una gestión ambiental empresarial. Semana. Recuperado de <https://sostenibilidad.semana.com/opinion/articulo/huella-de-carbono-para-una-gestion-ambiental/34909>
- Google Maps. (2018). ubicación de la trituradora San José en el municipio de Toluviéjo. [figura].
- Greenpeace. (2009). Cambio Climatico: Futuro negro para páramos. Bogotá, Colombia. Recuperado de https://www.academia.edu/32126814/CAMBIO_CLIM%C3%81TICO_FUTURO_NEGRO_PARA_LOS_P%C3%81RAMOS._2009
- Herrán, C. (2012). El cambio climático y sus consecuencias para América Latina. *Revista de la Bolsa de Comercio de Rosario*, 6-10. Recuperado de <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/la-energiayclima/09164.pdf>
- Holcim Colombia S.A. (2016). Proceso de fabricacion del cemento. Recuperado de <https://www.holcim.com.co/productos-y-servicios/cemento/proceso-de-fabricacion-del-cemento>
- Hueno, A., y Cascant, M. (2012). metodología y técnicas cuantitativas de la investigación. Recuperado de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/17004/Metodolog%C3%ADa%20y%20t%C3%A9cnicas%20cuantitativas%20de%20investigaci%C3%B3n_6060.pdf?sequence
- Incombustion-Natura. (2016). Consultoría técnica para el fortalecimiento y mejora de la base de datos de factores de emisión de los combustibles colombianos- FECOC. Recuperado de http://www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/informe_final_FECOC_Correcciones_UPME_FunNatura.pdf

- Jovinao, D. (2012). Impactos ambientales de la minería en Colombia. Recuperado de <https://es.slideshare.net/elturcolopez/impactos-ambientales-de-la-mineria-en-colombia>
- Kowszyk, I. (2009). África: El continente más rico y la población más pobre. El Comercio. Recuperado de <https://elcomercio.pe/mundo/africa/africa-continente-rico-poblacion-pobre-184940>.
- Ley N° 99. Dario oficial 41146 del regimen legal de Bogota D.C, Bogota, Colombia, 22 de Diciembre de 1993. Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>
- Minambiente. (2017). Política nacional de cambio climático. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Politica_Nacional_de_Cambio_Climatico_-_PNCC_/PNCC_PoliticasyPublicas_LIBRO_Final_Web_01.pdf
- Ministerio de Minas y Energía. (2018). Minería. Recuperado de <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/614096/3-Minas.pdf/bfd5ce86-3590-4ea9-9c25-2e567d22f2de>
- Morales, O. (2015). *Diseño de la investigación de estimación de la huella de carbono y consumo de energía eléctrica, por el uso de bandejas de poliestireno expandido en el empaque de piezas de pollo en supermercados de la ciudad de Guatemala* (Tesis de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0224_ME.pdf
- Moreno, Y. (18 de mayo de 2016). Trituradora san José de tolúviejo [Archivo de video]. Recuperado de Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=mQ6sbMoasPM>
- Observatorio Latinoamericano de Conflictos Sociales. (2015). Derecho a la consulta y al consentimiento previo, libre e informado en América Latina: avances y desafíos para su implementación en Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Guatemala y Perú. Recuperado de http://www.dplf.org/sites/default/files/resumen_consulta_previa_2015_m7web-2.pdf
- Olmos, X., y Frohman, A. (2013). Huella de carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al cambio climático. Chile: CEPAL. Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4101/6/S2013998rev1.pdf>

- ONU. (2009). Clasificación marco de las naciones unidas para la energía fósil y los recursos y reservas minerales 2009. Recuperado de https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/unfc2009/UNFC2009_ES39_s.pdf
- Palencia, L. C. (2018). Generalidades del municipio de Toluviejo. Recuperado de http://visiontoluviejo.ucoz.com/index/nuestro_municipio/0-52#.Wp2Gax1ubIU
- Pava Medina, M., Villalba R., D., Saavedra Q., F., Carrasco, J., & Rodriguez D., W. (2016). MvcColombia. Obtenido de https://www.mvccolombia.co/images/Factores_de_Emisi%C3%B3n_Huella_de_Carbono_Corporativa_V6.pdf
- Piza, F. (1996). Manual sobre vigilancia ambiental. Ministerio de Salud y Protección Social. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/INTOR/guia-metodologica-manual-de-vigilancia-ambiental.pdf>
- Reyes, B. (2005). Metodos de explotación. Recuperado de http://www.academia.edu/9372111/Libro_Metodos_de_explotacion
- Rodriguez, R., Belfort, A., y Udaquiola, S. (2014). Gestión Ambiental empresarial: cálculo de la huella de carbono en la industria vitivinícola. *Gestión y Ambiente*, 17 (1), 159-172. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/36970>
- Rojas, M., y Chacón, Y. (2011). Cuantificación general de emisiones de dióxido de carbono generadas por la actividad en la universidad industrial de Santander y propuestas de mitigación (tesis de grado). Universidad industrial de Santander. Recuperado de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/139024.pdf>
- Rotman, D. (2015). Guerras: El efecto oculto del cambio climatico. MIT Technology Review. Recuperado de <https://www.technologyreview.es/s/5424/guerras-el-efecto-oculto-del-cambio-climatico>

- Rufinelli, J. (2015). Relatorio de impacto ambiental: plan de uso de tierras, uso agropecuario. Recuperado de http://www.mades.gov.py/wp-content/uploads/2018/07/R439.16_PLAN-DE-USO-DE-LA-TIERRA_191445.15_JONAS-RUFINELLI-MAIDANA.pdf
- Samaniego, J., y Schneider, H. (2010). La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3753/S2009834_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Samaniego, J., y Schneider, H. (2014). Financiamiento para el cambio climático en América Latina y el Caribe en 2014. Naciones Unidas Cepal. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39367/1/S1501263_es.pdf
- Semana S.A. (2017). Cinco efectos visibles del cambio climático en Colombia. Semana. Recuperado de <https://www.semana.com/nacion/articulo/efectos-del-cambio-climatico-en-colombia/512637>
- Territorio indígena y gobernanza. (2014). *Industrias extractivas*. Recuperado de <https://bit.ly/2qG3QDt>
- Valderrama, J. O. y Espíndola, C. (2012). Huella del Carbono. Parte 2: La Visión de las Empresas, los Cuestionamientos y el Futuro. *información tecnológica*, 23 (1),177-192. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642012000100018

