

DETERMINACION DE HUELLA DE CARBONO A PARTIR DEL ANALISIS DE  
CICLO DE VIDA EN LAS PLANTAS AGROINDUSTRIALES DE LA  
AGROPECUARIA ALIAR S.A.

PROYECTO PARA OPTAR POR EL  
TITULO DE INGENIERIA AMBIENTAL

CRISTIAN JAVIER HENAO BARRERA  
1.121.955.420

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA  
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
PAMPLONA  
2020

DETERMINACION DE HUELLA DE CARBONO A PARTIR DEL ANALISIS DE  
CICLO DE VIDA EN LAS PLANTAS AGROINDUSTRIALES DE LA  
AGROPECUARIA ALIAR S.A.

PROYECTO PARA OPTAR POR EL  
TITULO DE INGENIERIA AMBIENTAL

CRISTIAN JAVIER HENAO BARRERA  
1.121.955.420

Ing. HECTOR URIEL RIVERA  
MSc. en Ingeniería ambiental  
Director

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA  
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
PAMPLONA  
2020

## Dedicatoria

*A Dios por guiarme y darme las fuerzas necesarias para afrontar esta etapa tan importante de mi vida.*

*A mi madre por estar siempre a mi lado, apoyándome y brindándome todo su amor y los mejores deseos siempre. A mi padre porque, a pesar de todo, siempre estuvo y estará en los momentos más importantes de mi vida. A mi querido hermano por todos los momentos que hemos vivido juntos. A mi abuela por todo el cuidado y afecto que me ha dado en el transcurso de mi vida. A mi hija por ser el motor de mi vida y quien me hace querer entregar lo mejor de mí.*

*Y a todas esas personas que me han acompañado a lo largo de mi vida, y que con su ayuda me han permitido llegar hasta aquí.*

## **Agradecimientos**

A la Universidad de Pamplona por todos los conocimientos, experiencias que he adquirido a lo largo de mi formación profesional.

A la Agropecuaria Aliar S.A. por darme la oportunidad de hacer parte de esta gran empresa, al equipo ambiental y a los compañeros que conocí en esta etapa.

Agradezco a mi director de grado Héctor Uriel Rivera por brindarme su apoyo en esta fase final dentro de la universidad, y a todos los docentes con los que he compartido clases.

Y a todos los compañeros que he conocido a lo largo de esta etapa, que con su ayuda finalmente me han permitido culminar mis estudios.

## Tabla de contenido

Capítulo 1 Generalidades.....	1
Introducción .....	1
Planteamiento del problema.....	2
Justificación .....	3
Objetivos .....	4
Capítulo 2 Marco Referencial.....	5
Marco contextual .....	5
Descripción física de Puerto López – Meta .....	5
Límites de Puerto López .....	5
Área de estudio.....	6
Marco Teórico.....	7
Contaminación Atmosférica.....	7
Cambio Climático .....	7
Gases de Efecto Invernadero.....	8
Potencial de Calentamiento Global (PCG).....	8
Análisis de ciclo de vida (ACV) .....	9
Huella de Carbono.....	11
Capítulo 3 Metodología.....	14
Análisis de Ciclo de Vida (ACV) .....	14
Fase I. Definición de objetivos y alcance.....	14
Fase II. Desarrollo del Inventario de Ciclo de Vida (ICV). .....	15
Fase III. Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida (EICV).....	16
Fase IV. Interpretación del Análisis de Ciclo de Vida.....	18
Huella de Carbono .....	20
Fase I. Definición de los límites.....	20
Fase II. Selección del año base.....	23
Fase III y IV. Identificación y Cuantificación de las emisiones .....	24
Fase V. Estrategias de mitigación y/o compensación .....	24
Capítulo 4 Resultados y Análisis.....	26

Descripción de las plantas agroindustriales .....	26
Planta de Secamiento .....	26
Planta de extracción de aceite de soya .....	28
Planta de Concentrado.....	31
Entradas y salidas.....	34
Materia prima .....	34
Consumo de combustible (GLP).....	35
Consumo de hexano .....	35
Generación de torta de soya .....	36
Generación de cascarilla de soya .....	36
Generación de aceite crudo de soya .....	37
Consumo de agua .....	37
Consumos energéticos.....	38
Producción de concentrado .....	38
Análisis de Ciclo de Vida (ACV) .....	39
Fase I. Definición de objetivos y alcance.....	39
Fase II. Desarrollo del Inventario de Ciclo de Vida (ICV). .....	42
Fase III. Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida (EICV).....	43
Fase IV. Interpretación del Análisis de Ciclo de Vida.....	44
Huella de Carbono .....	52
Fase I. Definición de los límites.....	52
Fase II. Selección de año base.....	53
Fase III y IV. Identificación y Cuantificación de las emisiones .....	53
Fase V. Estrategias de mitigación y/o compensación .....	55
Conclusiones.....	58
Recomendaciones .....	59
Bibliografía.....	60

## Lista de tablas

Tabla 1 Potencial de calentamiento global (PCG) de GEI más importantes.....	9
Tabla 2 Entrada de maíz en la planta de secamiento expresado en toneladas.....	34
Tabla 3 Entrada de soya en la planta de secamiento expresado en toneladas. ....	34
Tabla 4 Consumo anual de GLP en las plantas de secamiento expresado en toneladas .....	35
Tabla 5 Consumo de hexano en el proceso de extracción de aceite expresado en toneladas.....	35
Tabla 6 Generación de torta de soya en planta extractora expresada en toneladas .....	36
Tabla 7 Generación de cascarilla de soya en planta extractora expresada en toneladas .....	36
Tabla 8 producción de aceite crudo de soya en planta extractora expresada en toneladas .....	37
Tabla 9 Consumos de agua en las plantas agroindustriales expresado en metros cúbicos.....	37
Tabla 10 Consumos energéticos en las plantas agroindustriales expresado en MW/h .....	38
Tabla 11 Producción de concentrado expresado en toneladas .....	38
Tabla 12 Inventario de fuentes primarias y secundarias de las plantas agroindustriales .....	43
Tabla 13 Resultados del impacto ambiental en las plantas agroindustriales, año 2018. ....	44
Tabla 14 Otro resultado del impacto ambiental en las plantas agroindustriales, año 2018.....	47
Tabla 15 Resultados del impacto ambiental en las plantas agroindustriales, año 2019. ....	48
Tabla 16 otro resultado del impacto ambiental en las plantas agroindustriales, año 2019.....	50
Tabla 17 Comparación de los periodos de estudio del análisis. ....	51
Tabla 18 Emisiones directas, 2018.....	53
Tabla 19 Emisiones directas, 2019.....	53
Tabla 20 Emisiones indirectas, 2018.....	54
Tabla 21 Emisiones indirectas, 2019.....	54
Tabla 22 Consolidado de alcances en los años de estudio. ....	54

## Lista de figuras

Figura 1 Concepto de un análisis de Ciclo de Vida y Fases que se tienen en cuenta.....	10
Figura 2 Terminología relacionada con el alcance de un ACV.....	11
Figura 3 Terminología relacionada con el alcance de un ACV.....	14
Figura 4 Metodología general para la determinación de Huella de Carbono.....	20
Figura 5 Alcances para propósitos de reporte y contabilidad de GEI.....	23
Figura 6 Ejemplos de acciones dirigidas.....	25
Figura 7 Proceso Planta de Secamiento.....	26
Figura 8 Proceso completo en la planta de extracción de aceite de soya.....	30
Figura 9 Proceso en el edificio de extracción por solvente (Hexano).....	31
Figura 10 Proceso planta de Concentrado.....	33
Figura 11 Diagrama de flujo en las plantas agroindustriales.....	41
Figura 12 Resultados del EICV del maíz y soya, año 2018.....	45
Figura 13 Resultados del EICV del combustible, año 2018.....	46
Figura 14 Resultados del EICV consumo energético, año 2018.....	46
Figura 15 Resultados de oxidación fotoquímica, año 2018.....	47
Figura 16 Resultados del EICV del maíz y soya, año 2019.....	49
Figura 17 Resultados del EICV del combustible, año 2019.....	49
Figura 18 Resultados del EICV consumo energético, año 2019.....	50
Figura 19 Resultados de oxidación fotoquímica, año 2019.....	51
Figura 20 Comparación de los años de estudio.....	52
Figura 21 Consolidado de los alcances.....	55

# Capítulo 1 Generalidades

## Introducción

Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) son componentes gaseosos de la atmósfera, estos hacen parte de manera natural en el equilibrio de la temperatura del planeta, pero debido al aumento en las concentraciones de estos gases en la atmósfera, producto de las actividades antropogénicas y el desarrollo comercial e industrial, estos se han convertido en un problema que abarca completamente el contexto ambiental. A lo largo de los últimos años, la preocupación por estos gases y su efecto en el planeta, ha incentivado buscar alternativas de control y mitigación que ayuden a resolver las consecuencias que han surgido a raíz de las emisiones. Para ello, se ideó el método denominado “Medición de Huella de Carbono”, que permite caracterizar las fuentes de emisión que se generan, ya sea en un hogar, comunidad o empresa, donde posteriormente se cuantifican la cantidad de GEI en unidades de CO<sub>2</sub> equivalente (Gelves, 2018).

La medición de Huella de Carbono en empresas y comunidades es más compleja, debido a la cantidad de procesos y variables a considerar en comparación a la de un hogar. Una manera que facilita el modo de abordar esto, es haciendo uso del “Análisis de Ciclo de Vida” (ACV), a fin de identificar los procesos involucrados en cada una de las etapas necesarias en la elaboración de un producto. Existen diversas metodologías usadas en la actualidad, de acuerdo a la finalidad del problema en cuestión, la más acorde a los propósitos de la Huella de Carbono, es la IPCC (Intergovernmental Panel Climate Change), centrándose en la categoría de impactos de Cambio climático.

En esta investigación se utilizó la metodología propuesta por la ISO 14040 y la 14064, para la medición de Huella de Carbono a partir del Análisis de Ciclo de Vida de los procesos que realizan las plantas agroindustriales de la empresa Agropecuaria Aliar S.A.

## **Planteamiento del problema**

En las condiciones actuales del desarrollo del país, no es un hecho desconocido que la producción agropecuaria en Colombia, contribuye de manera significativa en el deterioro ambiental. Los procesos que realiza el sector agropecuario pueden tener un gran nivel de industrialización, en la mayoría de los casos contaminando el ambiente con el uso de combustibles fósiles en las diferentes maquinarias usadas, la adquisición de insumos que necesitan para realizar sus procesos y el consumo de energía eléctrica en sus respectivas actividades, entre otras acciones que pueden incurrir en las emisiones de gases de efecto invernadero.

Los constantes cambios producidos por el aumento de las concentraciones de los Gases de Efecto Invernadero han generado alteraciones debido a que estos gases retienen una parte de la energía emitida por la radiación solar y el suelo, originando lo que se denomina cambio climático. Los principales gases implicados son el vapor de agua, dióxido de carbono, Metano, óxido nitroso, clorofluorocarbonos y ozono troposférico, estos son producidos de manera natural por todos los seres vivos. Existen otros como los halocarbonos, el hexafluoruro de azufre, hidrofluorocarbonos y perfluorocarbonos producidos por el hombre en actividades industriales.

La empresa en estudio, al ser el proyecto agroindustrial más grande del país genera gran cantidad de gases de Efecto Invernadero en las actividades que realiza de manera habitual, esto ocasionando posibles daños en la calidad de aire a nivel local y regional. Para encontrar soluciones que disminuyan la problemática ambiental de la empresa es necesario priorizar la realización de estudios que identifiquen las fuentes de emisión dentro de la empresa, siendo necesario la determinación de la Huella de Carbono con el objetivo de obtener cuantitativamente la producción de gases de efecto invernadero en los procesos, y así, intervenir de manera efectiva en los puntos que generen mayor impacto.

Es por ello que es necesario realizar la presente investigación dando respuesta a la siguiente pregunta:

**¿QUÉ CANTIDAD DE CARBONO “C” ES EMITIDO EN LAS PLANTAS AGROINDUSTRIALES DE LA AGROPECUARIA ALIAR S.A.?**

## **Justificación**

Aliar S.A es una empresa que tiene como objetivo impulsar y promover el desarrollo, el cambio social, ambiental y productivo, dentro de un marco de ética, eco-eficiencia y de responsabilidad social, que contribuya a mejorar la calidad de vida de las personas.

Esta empresa en su búsqueda de mejora continua, busca definir y cuantificar la cantidad de emisiones de Gases de Efecto Invernadero que son generados en los procesos de las plantas agroindustriales, y de esta manera entrar en detalle del estado actual de la empresa en cuanto a emisiones atmosféricas, todo esto con la finalidad de implementar las alternativas más eficientes que permitan de una manera real, disminuir la cantidad de emisiones de estos gases, además de los posibles ahorros en costos que puede con llevar la reducción de emisiones en el sistema productivo. Asimismo, la medición de la huella de carbono ayuda a fomentar una imagen corporativa comprometida con el ambiente.

## Objetivos

### Objetivo general

Determinar la huella de carbono a partir del análisis de ciclo de vida en las plantas agroindustriales de la Agropecuaria Aliar S.A.

### Objetivos específicos

- Caracterizar las actividades y procesos que son llevados a cabo en las plantas agroindustriales del núcleo Fazenda.
- Realizar el análisis de ciclo de vida para los procesos agroindustriales.
- Determinar la huella de carbono y actividades de mitigación y/o compensación en las plantas agroindustriales.

## Capítulo 2 Marco Referencial

### Marco contextual

#### Descripción física de Puerto López – Meta

El municipio de Puerto López está ubicado en las coordenadas latitud norte 4°05'23" y longitud oeste 72°57'43". Se encuentra a una altitud media de 365 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m), el municipio tiene una extensión total de 6.898 km<sup>2</sup>. (Ilustración 1).



*Ilustración 1 Ubicación de Puerto López – Meta  
Fuente: Alcaldía de puerto López- 2020*

#### Límites de Puerto López

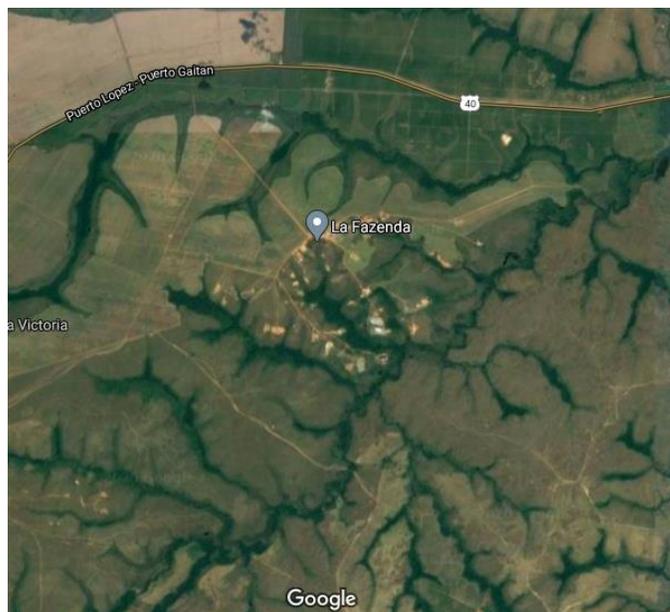
- Límites al Norte: Los municipios de Cumaral, Cabuyaro y el departamento de Casanare.
- Límites al Occidente: Los municipios de San Carlos de Guaroa y Villavicencio.
- Límites al Sur: El municipio de San Martín.
- Límites al Oriente: El municipio de Puerto Gaitán.

## Área de estudio

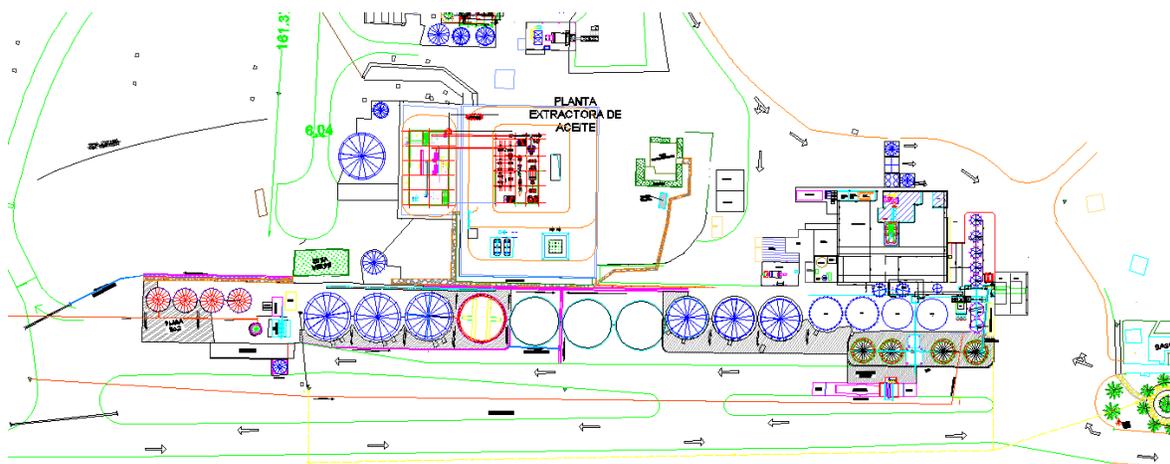
Plantas agroindustriales del núcleo Fazenda de la Agropecuaria Aliar S.A.

## Localización

Las plantas agroindustriales se encuentran ubicadas en el núcleo Fazenda localizado en el km 88 de la vía Puerto López – Puerto Gaitán más 5 km a la derecha. exactamente en las coordenadas latitud N 4° 19' 20" y longitud O 72° 14' 51" (ilustración 2).



*Ilustración 2 Ubicación del núcleo Fazenda, Agropecuaria Aliar S.A.  
Fuente: Google Earth, 2020.*



*Ilustración 3 Plano de las plantas agroindustriales, 2020.  
Fuente: Aliar S.A.*

## Marco Teórico

### Contaminación Atmosférica

la Contaminación Atmosférica es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes, entendidos estos como fenómenos físicos o sustancias o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que solos, o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de estas. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020)

Los contaminantes atmosféricos son aquellas materias o formas de energía que no están de manera natural en la atmósfera o que sí están presentes, pero en unas concentraciones diferentes. Se pueden clasificar los contaminantes en tres tipos:

- Gases: Son el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ), el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), los clorofluorocarbonos (CFC), entre otros.
- Partículas: Proviene de humos o cenizas de las combustiones, de los aerosoles, polvo de minas o ciertas industrias, etc.
- Energía: Se encuentran dentro de esta clasificación lo que conocemos como contaminación acústica, contaminación lumínica o contaminación electromagnética.

Dentro de los contaminantes, se puede diferenciar:

- Contaminantes primarios: son aquellos contaminantes procedentes directamente de las fuentes de emisión.
- Contaminantes secundarios: Son el resultado de reacciones en la atmósfera a partir de contaminantes primarios y otras especies químicas presentes en el aire.

### Cambio Climático

De acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), éste se entiende como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables. Por otro lado, el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) lo define como cualquier cambio en el clima con el tiempo debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas.

Desde el punto de vista meteorológico, se llama cambio climático a la alteración de las condiciones predominantes. Los procesos externos tales como la variación de la radiación solar, variaciones de los parámetros orbitales de la tierra (la excentricidad, la inclinación del eje de la tierra con respecto a la eclíptica), los movimientos de la corteza terrestre y la

actividad volcánica son factores que tienen gran importancia en el cambio climático. (IDEAM, 2014).

### **Gases de Efecto Invernadero**

Los gases de efecto invernadero (GEI) o gases de invernadero son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. Esta propiedad produce el efecto invernadero.

En la atmósfera de la Tierra los principales GEI son el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), el metano (CH<sub>4</sub>) y el ozono (O<sub>3</sub>). Hay además en la atmósfera una serie de GEI creados íntegramente por el ser humano como los halocarbonos y otras sustancias con contenido de cloro y bromo regulados por el Protocolo de Montreal, como el hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC). (IDEAM, 2014).

Los GEI están clasificados en directos e indirectos:

- GEI directos: Son gases que contribuyen al efecto invernadero tal como son emitidos a la atmósfera. En este grupo se encuentran: el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso y los compuestos halogenados.
- GEI indirectos: Son precursores de ozono troposférico, además de contaminantes del aire ambiente de carácter local y en la atmósfera se transforman en gases de efecto invernadero directo. En este grupo se encuentran: los óxidos de nitrógeno, los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano y el monóxido de carbono.

### **Potencial de Calentamiento Global (PCG)**

Según lo estipulado en el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol) el PCG es un factor que describe el impacto de la fuerza de radiación (grado de daño a la atmósfera) de una unidad de un determinado GEI en relación a una unidad de CO<sub>2</sub>. (WRI; ICLEI, 2014)

Cada uno de los gases de efecto invernadero afecta a la atmósfera en distinto grado y permanece allí durante un periodo de tiempo diferente. La medida en la que un gas de efecto invernadero determinado contribuye al calentamiento global se define como su Potencial de Calentamiento Global.

La unidad de medida utilizada para indicar el potencial de calentamiento global de los gases de efecto invernadero se denomina CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>-eq). En la Tabla 1, se evidencian los Gases de Efecto Invernadero más comunes con su Potencial de Calentamiento Global a 100 años según el Quinto Informe de Evaluación del IPCC.

*Tabla 1 Potencial de calentamiento global (PCG) de GEI más importantes*

<b>Nombre</b>	<b>Formula</b>	<b>Valores de PGI según IPCC</b>
<b>Dióxido de carbono</b>	CO <sub>2</sub>	1
<b>Metano</b>	CH <sub>4</sub>	28
<b>Óxido nitroso</b>	N <sub>2</sub> O	265
<b>Hexafluoruro de azufre</b>	SF <sub>6</sub>	23.500
<b>Hidrofluorocarbonos</b>	HFC	116-12.400

*Fuente: Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, 2014.*

### **Análisis de ciclo de vida (ACV)**

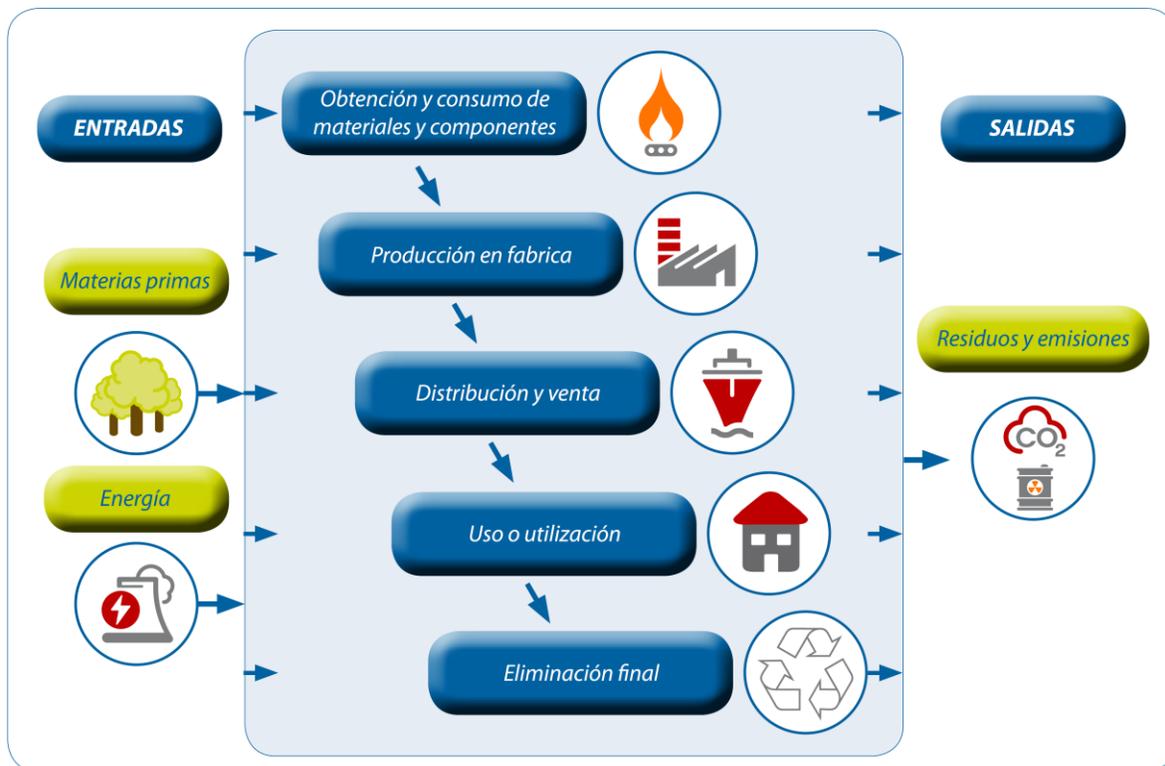
El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta metodológica que sirve para medir el impacto ambiental de un producto, proceso o sistema a lo largo de todo su ciclo de vida (desde que se obtienen las materias primas hasta su fin de vida) (figura 1). Se basa en la recopilación y análisis de las entradas y salidas del sistema para obtener unos resultados que muestren sus impactos ambientales potenciales, con el objetivo de poder determinar estrategias para la reducción de los mismos. (Ihobe S.A, 2009)

Según la norma UNE-EN ISO 14040 (Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia) el Análisis de Ciclo de vida es definido como un procedimiento donde se examinan aspectos medioambientales y los impactos ambientales potenciales que pueden ocurrir a largo plazo a causa de un producto, esto se realiza mediante:

- La recopilación de un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema del producto (producto/proceso en estudio).
- La evaluación de los potenciales impactos medioambientales asociados con las entradas y salidas identificadas en el inventario.
- La interpretación de los resultados de las fases de análisis de inventario y evaluación de impacto de acuerdo con los objetivos del estudio.

Los ACV tienen diferentes variaciones de acuerdo al nivel de detalle que se decida llevar, ya que esto depende del objetivo a cubrir. Esto da lugar a tres tipos de ACV:

- ACV conceptual. Es el ACV más sencillo. Se trata de un estudio básicamente cualitativo, cuya finalidad principal es la identificación de los potenciales impactos que son más significativos. Los datos que se utilizan son cualitativos y muy generales.
- ACV simplificado. Es el segundo en escala de complejidad. Consiste en aplicar la metodología del ACV para llevar a cabo un análisis selectivo (tomando sólo en consideración datos genéricos y abarcando el Ciclo de Vida de forma superficial), seguido de una simplificación (centrándose en las etapas más importantes) y un análisis de la fiabilidad de los resultados.
- ACV completo. Es el nivel más complejo. Consiste en realizar un análisis en detalle, tanto del inventario como de los impactos, de forma cualitativa y cuantitativa.

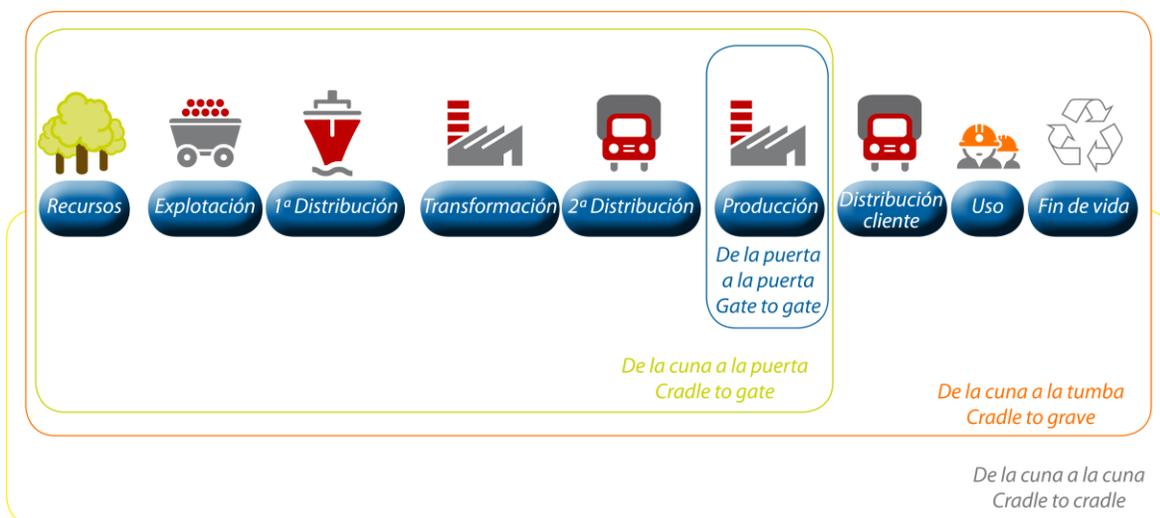


*Figura 1 Concepto de un análisis de Ciclo de Vida y Fases que se tienen en cuenta.  
Fuente: Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono, 2009.*

De acuerdo a las etapas que conforman el ciclo de vida que se evidencian en la figura 2, se pueden dar diferentes alcances en el desarrollo de un ACV, siendo las más conocidas:

- De la puerta a la puerta: considera únicamente las actividades (proceso productivo) de la empresa a la que se aplica.

- De la cuna a la puerta: toma en consideración desde la extracción y acondicionamiento de materias primas hasta el proceso productivo de la empresa.
- De la puerta a la tumba: considera el proceso productivo de la empresa y abarca hasta la fase de gestión de los residuos a que da lugar el producto.
- De la cuna a la tumba: estudia desde el acondicionamiento de las materias primas hasta la gestión última de los residuos (reciclaje u otros).
- De la cuna a la cuna: considera el ciclo de vida completo del producto, ya que abarca desde el acondicionamiento de las materias primas hasta que el producto, tras quedar fuera de uso, es reintroducido en el mismo proceso productivo o en otro.



*Figura 2 Terminología relacionada con el alcance de un ACV  
Fuente: Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono, 2009.*

## Huella de Carbono

Es una herramienta que permite medir la producción de gases efecto invernadero por persona, sobre la porción de tierra capaz de absorberlo y retenerlo. Estos se derivan de la producción de energía a partir de la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural (Universidad Tecnológica de Pereira, 2011). La huella de carbono se obtiene al realizar la medición de GEI que se producen desde la obtención de materias primas hasta el tratamiento de residuos de una empresa, organización o ciudad, ya que a partir de dicha

medición las organizaciones pueden establecer medidas para reducir los niveles de contaminación.

Debido al interés por el cálculo de la huella de carbono y por las emisiones de GEI ha hecho que diferentes organizaciones en forma voluntaria presenten metodologías que se adaptan a proyectos específicos y responden a criterios y procesos de aprobación propios de estas estructuras internacionales vinculadas con el Protocolo de Kioto para contabilizar e informar los impactos de los gases de efecto invernadero en productos y servicios. Una vez establecidas las iniciativas para la medición de huella de carbono y por las emisiones de GEI, en los últimos años se han desarrollado varias metodologías estándar internacionales:

## **ISO**

La International Standard Organization (ISO) ha desarrollado y está desarrollando estándares relacionados con la medición de emisiones de GEI. Estos se inspiran en general, en estándares y metodologías desarrollados previamente, y tienen como objetivo ser un marco reconocido de confianza a los operadores de proyectos de medición de emisiones de GEI. (CEPAL, 2011).

## **GHG Protocol**

El GreenHouse Gas Protocol fue implementado en el 2001 mediante la publicación del “Corporate Standard”. Es una iniciativa del World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) y del World Resources Institutes (WRI). Se plantea como una colaboración multilateral entre empresas, ONGs y gobiernos (el GHG Protocol está apoyado por el USAJD y el USEPA) que tiene como meta el establecimiento de bases para la contabilización de emisiones de Gel.

El GHG Protocol es un marco metodológico general que da pautas de trabajo para la determinación de herramientas (softwares) de cálculo de emisiones de GEI. En particular, los métodos Bilan Carbone y PAS 2050, descritos a continuación, y que son los más importantes desarrollados y comúnmente utilizados, siguen las líneas de recomendación del GHG Protocol. Así también la norma ISO 14.064, desarrollada por el International Standard Organization, que apunta de nuevo a la definición de líneas generales de cuantificación de emisiones de GEI, retoma los resultados del GHG Protocol.

Gracias al fuerte apoyo de sus miembros y un gran trabajo de difusión, el GHG Protocol ha logrado un alto nivel de reconocimiento a escala mundial y aparece como la principal referencia, junto con los estándares ISO (CEPAL, 2011).

## **Bilan Carbone:**

Bilan Carbone es el método de cálculo de emisiones de GEI desarrollado por la ADEME, organismo público francés. Sus primeras versiones fueron implementadas en el 2004 y responde a los requisitos de los marcos metodológicos ISO 14.064 y GHG Protocol. Con el apoyo de subvenciones estatales otorgadas a las entidades que utilizan este método para medir las emisiones de GEI (en Francia) y gracias a su seriedad y transparencia, el Bitan

Carbone se transformó en la referencia metodológica en este país para las empresas, los particulares (existe una aplicación específica) y las colectividades territoriales.

Esta metodología está basada en un programa en formato Excel, acompañado de guías de utilización. Se caracteriza por disponibilidad de los factores de emisión (en muchos casos determinados por numerosos países en el mundo) y de las fórmulas utilizadas, garantizando transparencia (CEPAL, 2011).

### **PAS 2050**

El método llamado PAS 2050 fue elaborado en el 2007 por el British Standard Institute (BSI) con el apoyo del Carbon Trust y DEFRA, ambos organismos del gobierno inglés. Está dedicado al cálculo de las emisiones de productos y servicios y responde a las normativas de la ISO y del GHG Protocol.

El PAS 2050 no consiste en un programa que incluye una base de datos de factores de emisión, como es el caso del Bilan Carbone, sino que se presenta como una guía metodológica que describe paso a paso los criterios a determinar y tomar en cuenta. (CEPAL, 2011).

### **PAS 2060**

Fue elaborado en 2009-2010 por los mismos organismos que el PAS 2050. Está dedicado al cálculo de las emisiones de organismos (administración, empresas, sitio de producción), colectividades territoriales y particulares. Responde a las normativas de la ISO y del GHG Protocol.

Al igual que su “hermano” 2050, el PAS 2060 se presenta como una guía metodológica que describe paso a paso los criterios a determinar y tomar en cuenta. Constituye una herramienta potente en lo que conciernen las buenas prácticas de compensación de emisiones no reductibles de GEI, y está orientada a operadores que buscan ser neutros en carbono con un alto grado de reconocimiento.

### **IPCC**

“Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC) es el responsable por analizar la ciencia relacionada con el cambio climático a nivel global”. Las guías de IPCC proporcionan metodologías para estimar los inventarios nacionales de emisiones antropogénicas por fuente y por remociones de GEI. (Jurado & Lizcano, 2015).

## Capítulo 3 Metodología

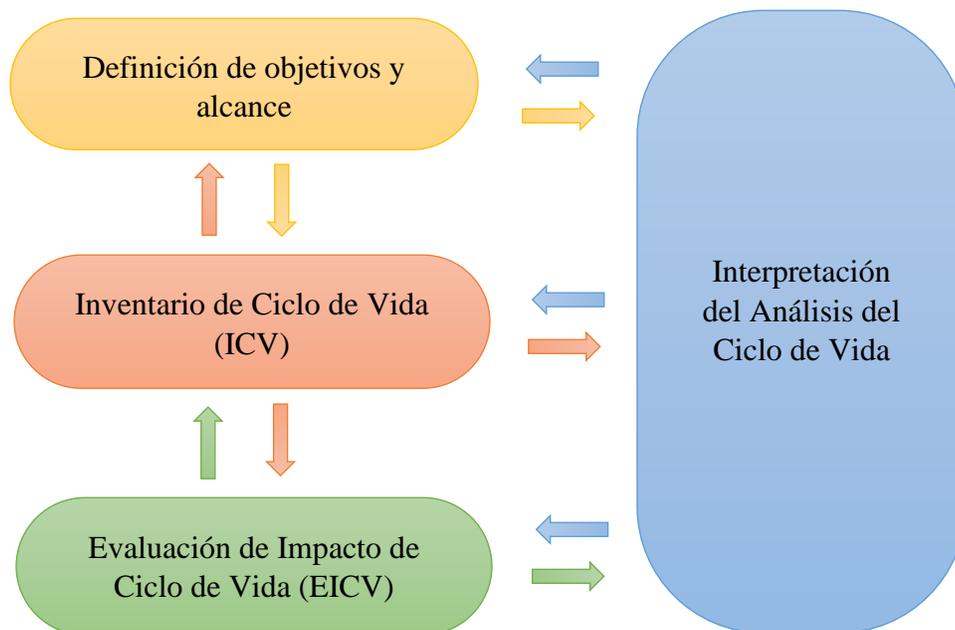
### Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

Se ha establecido por parte de ISO, International Organization for Standardization, un marco para la estandarización de la metodología de ACV, según la familia de normas ISO 14.040:

- UNE – ISO 14.040:2006: Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia.
- UNE – ISO 14.044:2006: Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices.

De acuerdo a la estandarización realizada, se distinguen cuatro fases en un estudio de ACV (figura 3):

Figura 3 Terminología relacionada con el alcance de un ACV



Fuente: ISO 14.040, 2006.  
Editado por: Autor, 2020.

#### Fase I. Definición de objetivos y alcance.

Define el objetivo y el uso previsto del estudio, así como el alcance de acuerdo con los límites del sistema, la unidad funcional y los flujos dentro del ciclo de vida, la calidad exigida a los datos, y los parámetros tecnológicos y de evaluación. (NTC-ISO 14040, 2007).

El establecimiento del alcance queda definido por:

- Producto al que se aplicara el estudio, explicando sus características.
- Los límites del sistema que demarcan las operaciones a incluir para la toma de datos.
- Definición de las entradas y salidas del sistema que sean objeto de evaluación.

Los límites del sistema son determinados por factores como recursos económicos con los que se cuenta, disponibilidad y veracidad en la información y la aplicación que se dé al estudio, entre otras. Además, también se pueden establecer geográficamente, temporalmente o con una exclusión de etapas del proceso.

### **Unidad funcional**

El siguiente paso es identificar lo que se quiere analizar y cómo se puede expresar, de manera que sea posible asociar las entradas y salidas del sistema a una unidad de referencia. En otras palabras, se debe definir la unidad funcional del sistema. En sentido matemático, la unidad funcional sirve de referencia para las entradas y salidas del sistema, de manera que asegure que éstas puedan ser comparadas con las entradas y salidas de otro sistema a la hora de realizar estudios comparativos.

La definición de la unidad funcional es uno de los puntos clave en la primera fase de un estudio de ACV, especialmente importante cuando se trata de estudios comparativos. El punto de partida de un estudio de ACV puede ser un producto específico, un objetivo o la necesidad de realizar una determinada función. Dado que la metodología de ACV se desarrolló históricamente desde una perspectiva de análisis de productos, es muy común encontrar la unidad funcional definida desde esta perspectiva. El primer paso es seleccionar la función (o funciones) más relevante. Obviamente, esta selección sólo tendrá sentido si se conocen las funciones del producto (o servicio) y cuál es su importancia relativa. El proceso de selección, es decir, la decisión de qué función se considera relevante, dependerá del objetivo y el alcance del estudio. Es posible considerar propiedades cualitativas en la función del producto de forma que se identifican los parámetros necesarios para la descripción del sistema (NTC-ISO 14040, 2007).

### **Fase II. Desarrollo del Inventario de Ciclo de Vida (ICV).**

Es la fase del ACV en la que se recogen los datos correspondientes a las entradas y salidas para todos los procesos del sistema de producto. (NTC-ISO 14040, 2007).

En el análisis se utilizaron las siguientes dos etapas para el Inventario de Ciclo de Vida:

1. Desarrollo de un diagrama de flujo para identificar los datos de entrada y salida del proceso de la producción de concentrado.

## 2. Selección de fuentes de información:

- a) Fuentes primarias: La información se adquirió en colaboración del equipo ambiental y administrativo de las plantas agroindustriales de la Agropecuaria Aliar S.A.
- b) Fuentes secundarias: Son las bases de datos, las cuales, proporcionan información necesaria para culminar la elaboración y análisis del inventario a través de programas informáticos o internet. Este proceso conlleva una inversión de tiempo considerable en base a la búsqueda de información necesaria para los procesos que se llevan a cabo. Los insumos recopilados en el inventario de fuentes primarias se referenciarán con la base de datos digital.

Entre todas estas fuentes de información, las bases de datos han sido y siguen siendo una de las vías fundamentales para encontrar los datos de inventario necesarios para realizar un ACV. Uno de los principales problemas que afectan a la aplicación de los instrumentos de gestión ambiental basados en la ACV radica en la fiabilidad de los datos sobre materias primas y emisiones en el inventario del ciclo de vida. Una situación óptima sería aquella en la que hubiera un amplio conocimiento del sistema a estudiar y en la que todos los datos de inventario necesarios fueran accesibles y se caracterizaran por ser representativos y fiables (Gelves, 2018).

En esta fase finalmente se identifican los procesos internos dentro de las plantas agroindustriales, las entradas de materia prima, insumos y consumo de recursos, y así mismo las salidas que genera el proceso agroindustrial, en este caso el producto final que es alimento concentrado y las emisiones atmosféricas que se producen a partir de la elaboración de este. Con esto se elabora un diagrama de flujo que representa el proceso identificado y permite la elaboración del inventario del Análisis de Ciclo de Vida, obteniendo así los datos para realizar la evaluación de impactos ambientales generados por las emisiones de CO<sub>2</sub>.

### **Fase III. Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida (EICV).**

Es la fase del ACV en la que el inventario de entradas y salidas es traspasado a indicadores de potenciales impactos ambientales al medio ambiente, a la salud humana y a la disponibilidad de recursos naturales.

Es la fase del ACV dirigida a conocer y evaluar la magnitud y la significancia de los impactos ambientales potenciales de un sistema. En esta fase se emplea un método de evaluación para transformar los datos recogidos en el ICV, en resultados de carácter ambiental.

Es en definitiva la Fase del ACV que caracteriza el resultado final del mismo y una de las que mayor controversia causa, ya que no existe acuerdo común en la comunidad internacional para el establecimiento de un modelo único de evaluación de impactos ambientales.

La UNE-EN-ISO 14.040:2006 establece una serie de pasos o etapas:

### **Clasificación**

El primer paso o etapa dentro del marco de un ACV es la selección de categorías de impacto ambiental a tener en cuenta en el estudio. Estas categorías representan los impactos ambientales de interés a los cuales se quieren asignar los resultados del EICV. Es decir, los impactos ambientales de los cuales se desean obtener resultados. Existen multitud de categorías de impacto ambiental, y la selección de unas u otras en el ACV que se esté llevando a cabo dependerá del objetivo del estudio, público objetivo y nivel de exactitud de los resultados requeridos (Ihobe S.A, 2009).

Durante la etapa de clasificación, los datos del ICV son asignados a categorías de impacto. Si una sustancia contribuye a varias categorías de impacto, tiene que ser tomada en cuenta en todas estas categorías.

### **Caracterización**

Una vez que cada sustancia del ICV se ha asignada a una o más categorías de impacto ambiental a través de la clasificación, se compara su valor con respecto a la sustancia de referencia de dicha categoría.

Esto se lleva a cabo a través de los factores de caracterización de cada sustancia, y representan la contribución de una sustancia a una determinada categoría de impacto en relación a la sustancia de referencia en dicha categoría. Cada sustancia es multiplicada por su correspondiente factor de caracterización. De este modo se pueden obtener valores con unidades equivalentes, los cuales pueden ser sumados para medir la contribución de las sustancias a esa categoría de impacto (Ihobe S.A, 2009).

### **Normalización, agrupación y ponderación.**

Además de los pasos obligatorios a realizar en la EICV, existen pasos opcionales que pueden darse dependiendo del objetivo y alcance previsto. Estos son los siguientes:

- **Normalización:** Conversión de los resultados de la caracterización a unidades globales neutras, dividiendo cada uno por un factor de normalización. A través de estos factores se representa el grado de contribución de cada categoría de impacto sobre el problema medioambiental local.
- **Agrupación:** Clasificación de las categorías de impacto en otros grupos que engloben categorías de impacto con efectos similares.
- **Ponderación:** Conversión de los resultados de los valores caracterizados a una unidad común y sumable (en el caso de que la metodología incluya una normalización, a partir de los valores normalizados), multiplicándolos por su factor de ponderación. Posteriormente se suman todos ellos para obtener una puntuación única total del impacto ambiental del sistema.

A continuación, se presentan los pasos con los cuales se elaboró la evaluación del impacto de ciclo de vida:

- Selección y definición de categorías de impacto.
- Clasificación (asignación de los resultados del análisis de inventario a las categorías elegidas).
- Caracterización (modelado de los impactos del análisis del inventario en las categorías de impacto usando factores de conversión).
- Normalización (expresando los impactos potenciales en impactos que puedan ser comparados).
- Agrupación (organización y alineación de indicadores).
- Valoración (ponderando los más importantes impactos potenciales).

Se usaron las metodologías CML 2001, IPCC 2007, IPCC 2013 y ReCiPe Midpoint (H) con el indicador de cambio Climático el cual es expresado en kg CO<sub>2</sub> equivalente y el indicador de generación de reacciones fotoquímicas expresado en kg de ozono formado. Este análisis se realizó para los dos años de estudio, en este caso 2018 y 2019.

#### **Fase IV. Interpretación del Análisis de Ciclo de Vida**

La interpretación en un análisis de ciclo de vida es una técnica sistemática para identificar, cuantificar, verificar y evaluar información de los resultados del inventario de ciclo de vida (ICV) y de la evaluación del impacto (EICV), y comunicarlos eficazmente. (García, Herrera, & Rodríguez, 2011). La Organización Internacional para la Estandarización ha definido los dos siguientes objetivos de interpretación de ciclo de vida:

1. Analizar los resultados, concluir acerca del alcance, explicar las limitaciones y proporcionar recomendaciones basadas en los resultados de las fases precedentes de un ACV.
2. Proporcionar una presentación fácilmente entendible, completa y consistente de los resultados de un estudio de LCA, de acuerdo con los objetivos y alcances definidos para el estudio.

A partir de la interpretación del Análisis de Ciclo de Vida, se desarrollara la determinación de la Huella de Carbono generado por las plantas agroindustriales de la Agropecuaria Aliar S.A.

## Software para el desarrollo del ACV

La cuantificación de los datos es bastante compleja y tomando en cuenta los avances en herramientas tecnológicas que permiten realizar de manera más eficiente la fase de EICV, una de las mejores formas de abordar un ACV es por medio de estos programas. Dichas herramientas tienen incorporadas bases de datos con las metodologías de EICV usadas en la obtención de los datos finales del ACV.

Para el caso de las metodologías de EICV, es recomendable que la herramienta sea capaz de trabajar con varias de ellas. Con esto se pretende: (Ihobe S.A, 2009)

- Obtener resultados concretos a través de una metodología específica, como el cálculo de la huella de carbono a través de la metodología IPCC.
- Comparar los resultados que proporcionan diferentes metodologías para el cálculo del mismo impacto ambiental. Por medio de esta comparativa se puede enriquecer la interpretación de los resultados y permite evaluar la idoneidad o no de una metodología u otra.
- Manejar resultados tanto específicos como generales, como por ejemplo obtener resultados sobre el “consumo de energía” y las “emisiones de Kg eq. CO<sub>2</sub>” por un lado, y por otro la carga ambiental del sistema analizado en “puntos”.

Debido a la facilidad que puede ofrecer una herramienta como estas en el momento de realizar el EICV, se usara el software OpenLCA versión 1.10.3, empleando la base de datos Agribalyse versión 3.0.

OpenLCA es un software de código abierto y gratuito para la evaluación del ciclo de vida y la sostenibilidad, desarrollado por GreenDelta, una empresa de software y consultoría de sostenibilidad independiente con sede en Berlín, Alemania.

La base de datos de Agribalyse contiene inventarios de ciclo de vida (ICV) en el sector agrícola y de alimentos, desarrollada por la Agencia de Gestión de Medio Ambiente y Energía (ADEME) y el Instituto Nacional para la Investigación Agronómica (INRAE) de Francia.

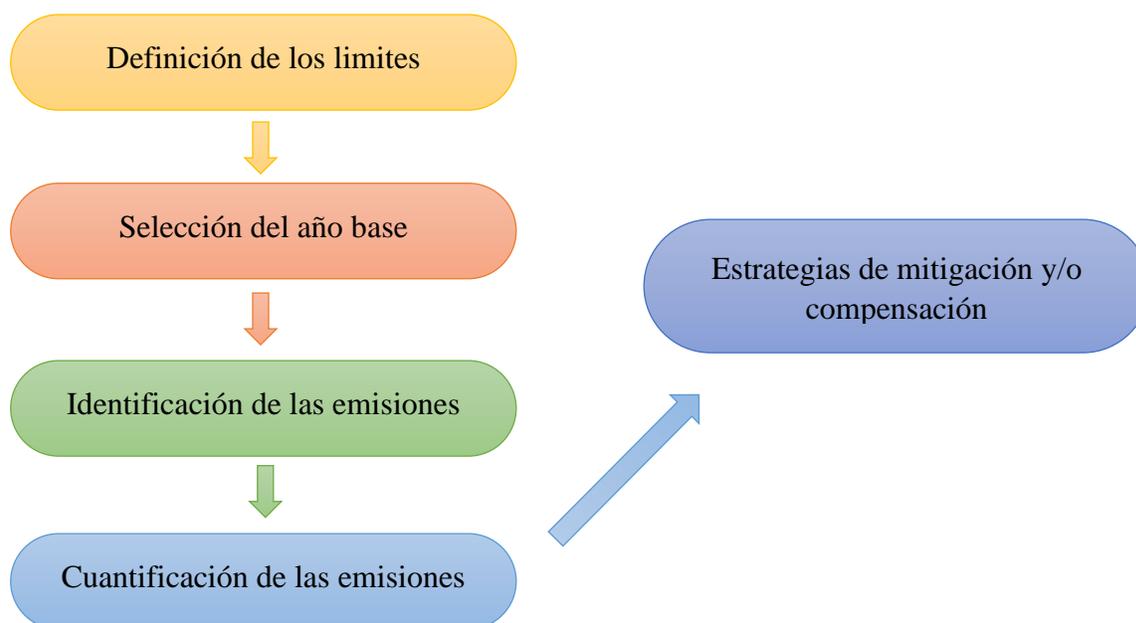
## Huella de Carbono

La Huella de Carbono se puede determinar usando diferentes metodologías, sin embargo, para el caso de estudio, su cálculo se orientará mediante la aplicación de la Guía para el Cálculo y Reporte de Huella de Carbono Corporativa desarrollada por la Secretaría Distrital de Ambiente, Bogotá D.C, elaborada con base en el GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol), y la norma NTC ISO 14064-1:2006.

La ISO 14064-1:2006, brinda orientación a nivel organizacional para la cuantificación, reporte, seguimiento, validación y verificación de la huella de carbono para certificación. Para esta guía, según los enfoques metodológicos mencionados, se establece una línea base para la evaluación y análisis de las emisiones de GEI. Igualmente, se definen las pautas para reportar dichas emisiones, las reducciones y capturas de gases, y se establecen las emisiones directas e indirectas de una organización. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2015).

De acuerdo a la metodología que presenta la ISO 14064-1:2006, se distinguen cinco fases para la determinación de huella de carbono (figura 4):

*Figura 4 Metodología general para la determinación de Huella de Carbono*



*Fuente: ISO 14064-1, 2006.*

*Editado por: Autor, 2020.*

### Fase I. Definición de los límites

Es necesario definir los límites del inventario de emisiones del proceso en las plantas agroindustriales en dos sentidos:

1. Límites organizacionales.
2. Límites operativos.

### **Límites organizacionales**

La organización puede estar compuesta por una o más instalaciones. En la selección de los límites organizacionales se define claramente, y siempre de acuerdo a los cinco principios, las instalaciones cuyas emisiones se contabilizarán dentro del inventario.

Pueden quedar dentro del alcance todas las instalaciones, organizaciones y sociedades que en el organigrama societario se encuentren en un nivel inferior a la organización objetivo. Por hacer una analogía con un árbol genealógico, podrían estar dentro del alcance todos los hijos, nietos, bisnietos, etc., pero no las generaciones superiores (padres, abuelos, etc.) o los hermanos. (Ihobe S.A., 2012).

En esta primera parte es posible utilizar 2 enfoques diferentes con el fin de consolidar las emisiones de GEI los cuales son:

1. **Enfoque de participación accionaria:** Las emisiones son registradas según la proporción que tenga la empresa sobre las diferentes estructuras accionarias.
2. **Enfoques de Control:** Se contabiliza el total de las emisiones de GEI de las operaciones en la cual la empresa ejerce control, no se incluyen emisiones de GEI de operaciones en la cual la empresa es propietaria o tiene alguna participación, pero no ejerce ningún tipo de control sobre la misma. Este control puede darse:
  - a) Control financiero: Cuando la empresa tiene facultad de dirigir sus políticas financieras y operáticas con el fin de obtener beneficios económicos de sus actividades.
  - b) Control operacional: Cuando la empresa tiene autoridad total para incluir e incorporar sus políticas operativas en la operación.

De acuerdo al caso de estudio los límites organizacionales serán de tipo control operacional que tiene la empresa Agropecuaria Aliar S.A. sobre las plantas agroindustriales del núcleo Fazenda.

### **Límites operativos**

Al establecer los límites operativos, se definen las fuentes de emisión/ sumideros de GEI que se incluyen en el inventario. Los GEIs a considerar, son los establecidos en el Protocolo de Kioto: CO<sub>2</sub>, SF<sub>6</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs y PFCs, que se describen a continuación:

- **CO<sub>2</sub>:** Generado principalmente en los procesos de combustión de combustibles con base de carbono (combustibles fósiles y biomasa) y en los procesos de decarbonatación en la producción de clínker. También utilizado en inertizaciones,

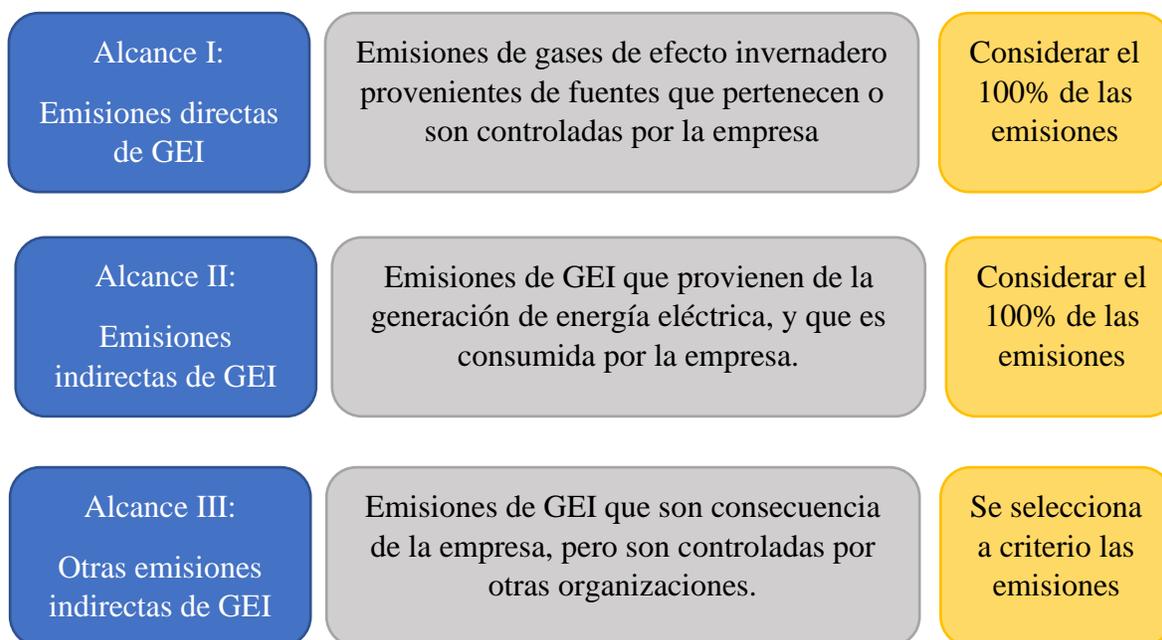
gases de laboratorio y hospital y en la industria alimentaria. Por otra parte, el CO<sub>2</sub> es eliminado de la atmósfera por los vegetales mediante la fotosíntesis dentro del ciclo natural del carbono.

- **CH<sub>4</sub>:** Generado en los procesos de descomposición anaeróbica de materia orgánica (descomposición de residuos, tratamiento de aguas residuales, estómago de animales, plantaciones de arroz y pantanos). También emitido en la extracción de combustibles fósiles y en trazas de procesos de combustión.
- **N<sub>2</sub>O:** Generado por el uso de fertilizantes y en procesos de combustión. Utilizado en medicina como anestésico. También se libera de forma natural desde suelos y océanos.
- **SF<sub>6</sub>:** Utilizado como aislante en subestaciones eléctricas, desde donde puede ser emitido en forma de emisiones fugitivas.
- **HFC y PFCs:** Grupo de gases que contienen flúor, cloro o bromo, utilizados en procesos de refrigeración, desde donde pueden ser emitidos como emisiones fugitivas. (Ihobe S.A., 2012)

Cada tipo de GEI tiene una capacidad diferente de potenciar el efecto invernadero. Esta capacidad se contempla a través de un factor llamado “potencial de calentamiento global”, que compara el efecto de un GEI cualquiera con el efecto del CO<sub>2</sub>.

Según el GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting “después de haber determinado sus límites organizacionales en términos de las operaciones de las que es propietaria o tiene el control, una empresa establece sus límites operacionales. Esto involucra identificar emisiones asociadas a sus operaciones clasificándolas como emisiones directas o indirectas, y seleccionar el alcance de contabilidad y reporte para las emisiones indirectas.” Para esto se establecen 3 alcances para propósitos de reporte y contabilidad de GEI.

De acuerdo con la norma, las emisiones/ remociones se pueden clasificar según tres categorías (Alcance 1, 2 y 3 según GHG Protocol) (figura 5):



*Figura 5 Alcances para propósitos de reporte y contabilidad de GEI.*

*Fuente: ISO 14064-1, 2006.*

Así, es requisito contabilizar todas las “emisiones y remociones directas” (alcance 1) y las “emisiones indirectas por energía” (alcance 2). Sin embargo, la inclusión de fuentes de emisión dentro de la categoría de “otras emisiones indirectas de GEIs” (alcance 3) es opcional y en ello se centra principalmente la definición de los límites operativos.

Para determinar si una fuente de emisión es directa o indirecta es necesario analizar si las emisiones se producen dentro de los límites de la organización tal y como se han definido anteriormente. (Ihobe S.A., 2012)

## **Fase II. Selección del año base**

Una comparación significativa y consistente de las emisiones a través del tiempo requiere fijar una base de desempeño para comparar las emisiones actuales; esto se denomina emisiones del año base.

Para la elección del año base se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La información requerida para la medición de GEI de ese año debe estar completa.
- Debe ser confiable y sin ningún tipo de alteración que pueda ocasionar discrepancias con la realidad.

Además, se debe especificar las razones que condujeron a la elección de ese año en particular. (Gelves, 2018).

Para el trabajo en estudio a partir del periodo de datos 2018 y 2019 se determinará el año base a partir de los resultados obtenidos en el Análisis de Ciclo de vida de los procesos en las plantas agroindustriales.

### **Fase III y IV. Identificación y Cuantificación de las emisiones**

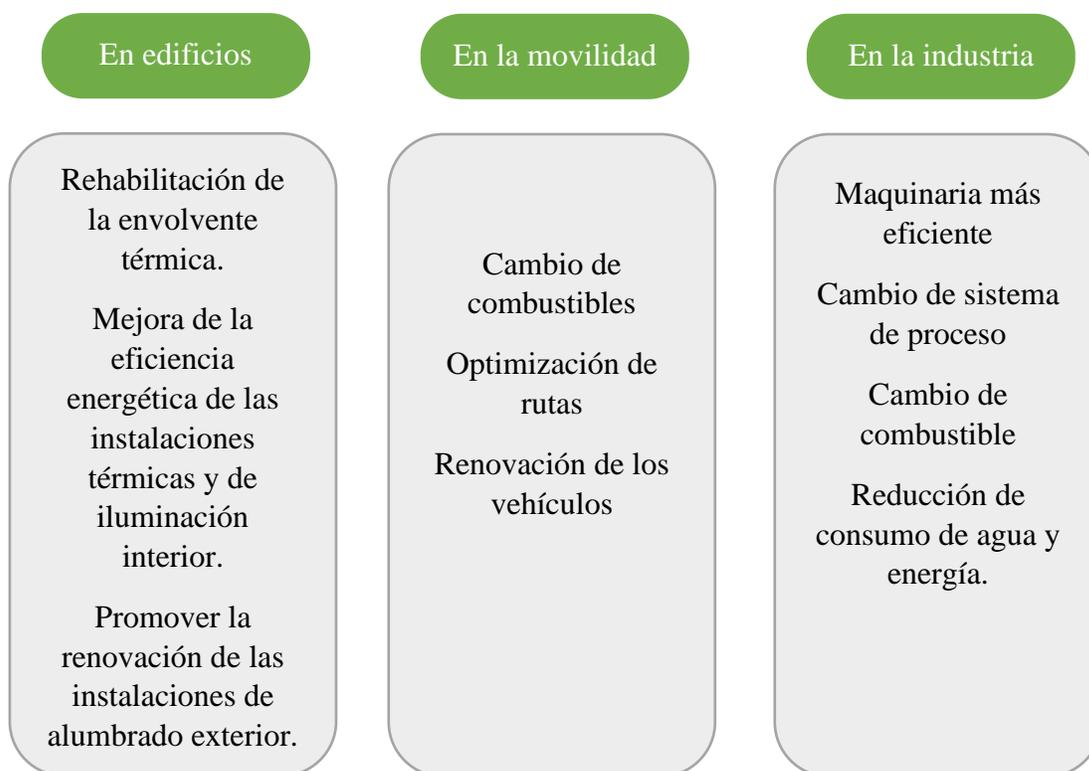
Estas dos fases se elaboraron previamente en el análisis de ciclo de vida, por lo tanto, una vez se clasificaron todas las fuentes de emisión en cada uno de los alcances, se sumaron las emisiones de la misma categoría para saber cuál es el alcance con el mayor foco de contaminación. En este caso se tomarán los alcances I y II, debido a que los datos recolectados y entregados por la empresa solo permiten la evaluación de impactos ambientales de las emisiones atmosféricas de dichos alcances.

### **Fase V. Estrategias de mitigación y/o compensación**

Una vez cuantificada la Huella de Carbono, se establecen las estrategias que permitan reducir o compensar las emisiones generadas por la entidad.

**Acciones dirigidas:** Actividad o iniciativa específica no organizada como un proyecto de GEI, implementada por una organización para reducir o prevenir las emisiones directas o indirectas de GEI, o aumentar las remociones. En la figura 6 se observan algunos ejemplos de acciones dirigidas a la mitigación y/o compensación de los impactos ambientales generados a partir de las emisiones atmosféricas.

En el caso de las acciones ha implementar dentro de la Agropecuaria Aliar S.A., estas se determinarán a partir de los proyectos que realiza la empresa y que ayuden a minimizar las emisiones atmosféricas y/o a compensar dichas emisiones. Estos proyectos son ejecutados por otras áreas de la empresa, pero de igual manera pueden beneficiar al proceso agroindustrial que se desarrolla en este trabajo.



*Figura 6 Ejemplos de acciones dirigidas*  
*Fuente: ISO 14064-1, 2006.*

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de los pasos mencionados en la metodología para el Análisis de Ciclo de Vida y la determinación de la Huella de Carbono que se menciona en este trabajo, todos los datos para el desarrollo del estudio fueron obtenidos a partir de la información suministrada por el área ambiental y el área de agroindustria de la agropecuaria Aliar S.A.

La información encontrada en este trabajo y que pertenece a la agropecuaria Aliar S.A. fue suministrada únicamente para la elaboración y presentación del trabajo de grado realizado en la práctica empresarial.

## Capítulo 4 Resultados y Análisis

A continuación, se presentan los resultados y análisis obtenidos después de realizar los procedimientos que se describen en la metodología del trabajo, se realizó el análisis del Ciclo de Vida de las plantas agroindustriales ubicadas en el núcleo Fazenda de la Agropecuaria Aliar S.A. y a partir de esto se determinó la huella de carbono, este último tiene como finalidad determinar la cantidad de CO<sub>2</sub> equivalente que se genera en los procesos agroindustriales de la empresa.

### Descripción de las plantas agroindustriales

#### Planta de Secamiento

La Planta de secamiento es la encargada de recibir granos de maíz y soya directamente de las máquinas cosechadoras, transportarlos hacia báscula y laboratorios, para analizar y segregar el grano por calidad y humedad. Luego, los granos son llevados a la planta de secamiento para iniciar la disminución de humedad, según los parámetros de entrega para clientes internos y externos (figura 7). El objetivo es brindar un producto de óptimas cualidades reflejado en el volumen de la carne de cerdo y el precio dentro del mercado. (Aliar S.A., 2020).

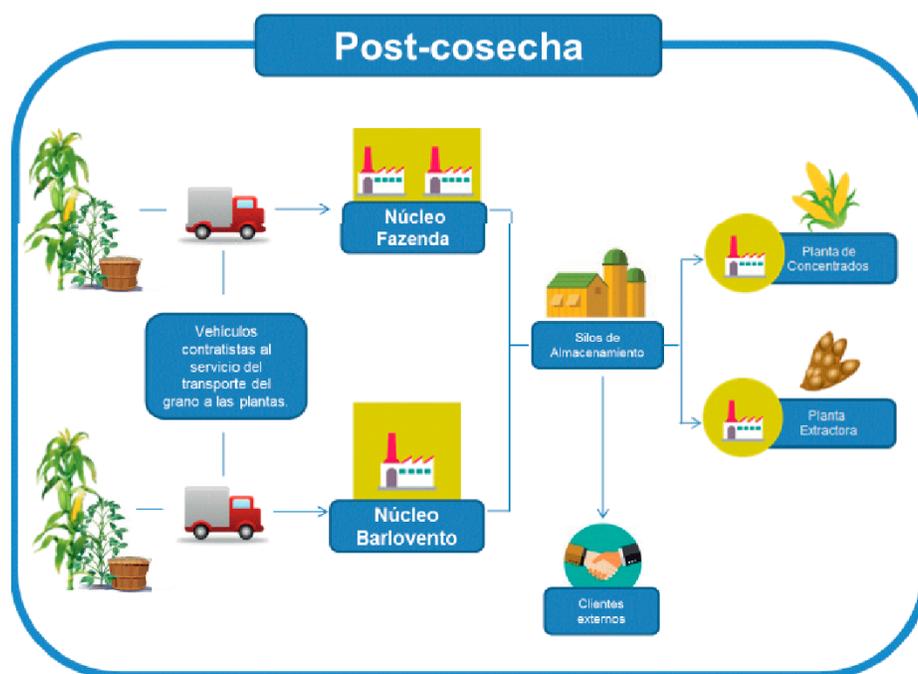


Figura 7 Proceso Planta de Secamiento.  
Fuente: Aliar S.A., 2020.

Una vez los granos llegan a las plantas, el equipo de trabajo empieza a desarrollar sus funciones principales, las cuales consisten en segregar los granos, limpiarlos, secarlos y almacenarlos en silos como reserva para las épocas del año en que no hay cosecha. En la clasificación, gran parte de la producción es trasladada a la Planta de Concentrados para la elaboración del alimento de los cerdos.

**Maíz:** El maíz que se produce en Aliar tiene la condición de ser un producto de excelente calidad, ideal para el consumo humano y animal, es por eso que un 85% del grano es destinado al consumo interno y el 15% restante es comercializado al público externo (Ilustración 4). Nuestro maíz es apetecido por clientes como Kellogg's para la elaboración de hojuelas, Alimentos Polar, Itacol, Contegral, entre otros. Su tamaño y rendimiento en la trilla alcanzan productividades por encima del maíz importado.

En el momento en que el grano es tomado de la cosechadora, inmediatamente se extrae una muestra representativa carro por carro y con el equipo de aseguramiento de Calidad se categorizan, clasificándolo en tres tipos dependiendo de sus Atributos: los granos Tipo A, B y C. Los granos Tipo A (los de mayor calidad), se utilizan principalmente para elaborar el concentrado que va a los Sitios I (madres gestantes y lactantes) y al Board Stud (centro de machos).



*Ilustración 4 Planta uno de secamiento - empleada para grano de maíz.  
Fuente: Aliar S.A., 2020.*

**Soya:** Al igual que el maíz, la soya se separa y se clasifica en los Tipos A, B y C por su calidad y humedad. La humedad, tanto en plantas oleaginosas (soya) como en cereales (maíz), es determinante para la segregación al igual que su calidad. Las plantas del Núcleo Fazenda se encargan de atender los granos con más alto contenido de humedad para mayor eficiencia de acuerdo a la velocidad de la cosecha (Ilustración 5).



*Ilustración 5 Planta dos de secamiento - empleada para grano de soya.  
Fuente: Aliar S.A., 2020.*

Una parte del grano cosechado es almacenado bajo las mejores condiciones, para las épocas en los que no hay producción de maíz o soya; es por eso que nuestras plantas tienen a disposición silos metálicos con una capacidad de almacenamiento de 35.000 toneladas.

### **Planta de extracción de aceite de soya**

El proceso de extracción de aceites por solvente está compuesto por dos unidades o edificios, la unidad de preparación brinda un acondicionamiento físico a la semilla antes de entrar al proceso de extracción; elimina las impurezas, homogeniza y controla la humedad de las semillas (Ilustración 6). La unidad de extracción está compuesta por un equipo triturador, un laminador, equipos de evaporación, entre otros; Los cuales preparan las semillas para extraerle el aceite con los solventes (Ilustración 7). (Aliar S.A., 2020).



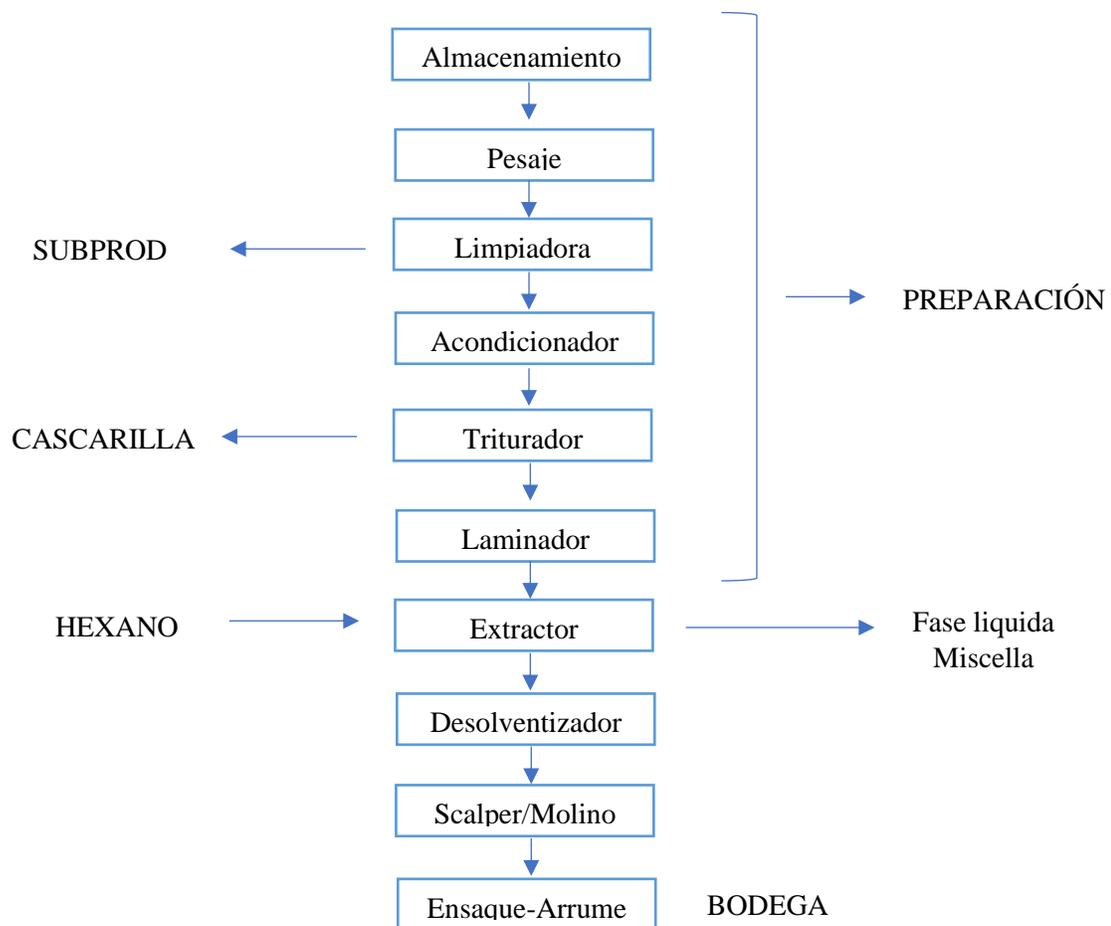
*Ilustración 6 Edificio de adecuación del grano de soya.  
Fuente: Aliar S.A., 2020.*



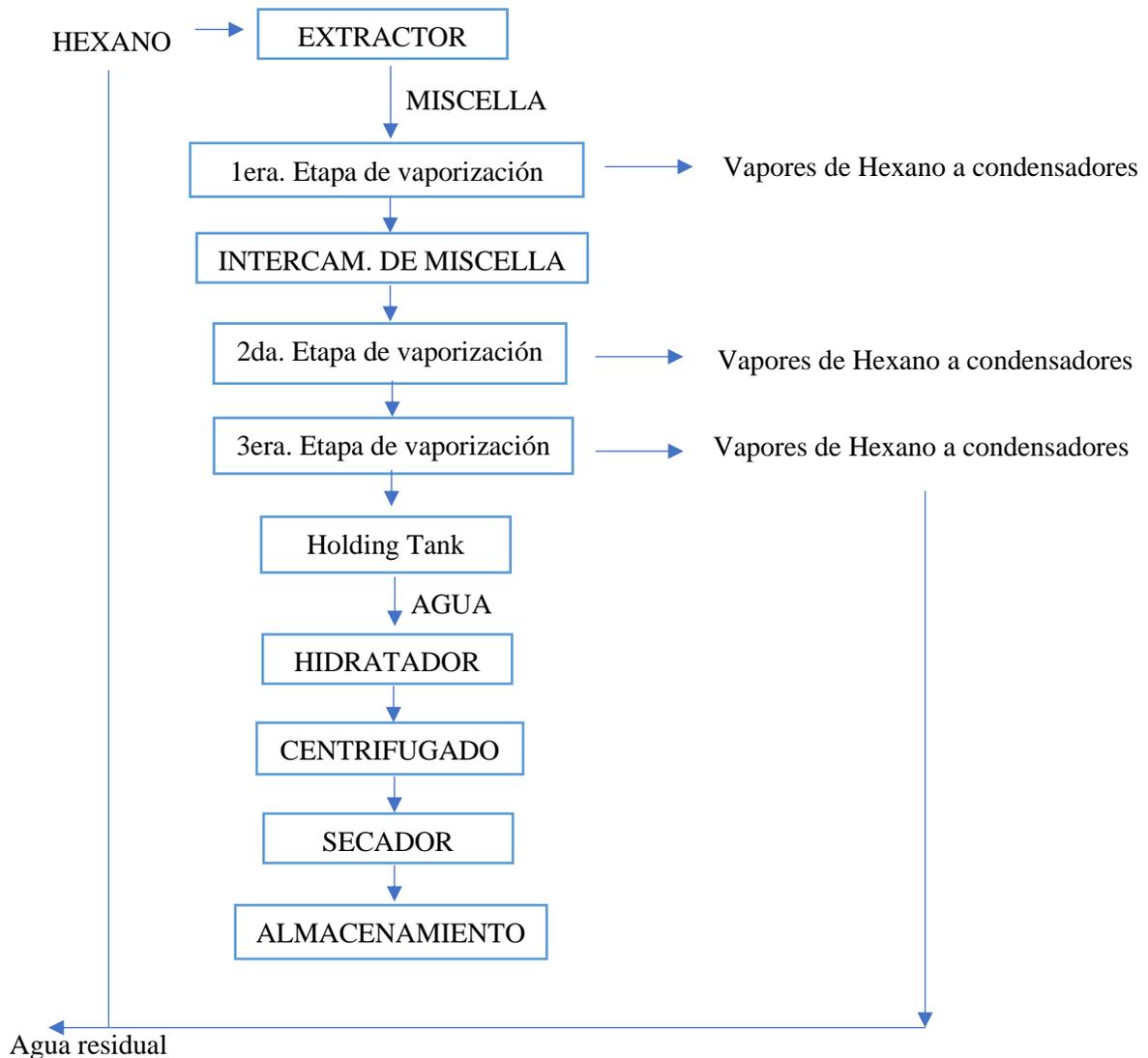
*Ilustración 7 Edificio de extracción de aceite de soya.  
Fuente: Aliar S.A., 2020.*

El proceso de extracción consta de dos etapas: la preparación del grano que inicia con el retiro del frijol de los silos de almacenamiento a través de un sistema de transporte y elevación mecánica. Posteriormente es pesado y triturado a partículas inferiores a 4 mm, y por medio de succión de aire se arrastra la parte más liviana del triturado (la cascarilla desprendida producto de la operación de triturado) y los finos generados en dicha operación (figura 8).

El frijol ya fragmentado ingresa al extractor donde entra en contacto directo con el solvente, el cual se encarga de hacer la disolución (separación del aceite). El aceite crudo sufre después una hidratación y centrifugación (separación de ácidos grasos) para posteriormente ser secado y almacenado en tanques como aceite vegetal crudo desgomado (figura 9).



*Figura 8 Proceso completo en la planta de extracción de aceite de soja.  
Fuente: Aliar S.A., 2020.*



*Figura 9 Proceso en el edificio de extracción por solvente (Hexano).  
Fuente: Aliar S.A., 2020.*

### Planta de Concentrado

La planta de concentrados cuenta con un sistema de almacenamiento de materias primas en tolvas que reúnen un total de 54 toneladas aproximadamente, 2 silos de almacenamiento de torta soya con capacidad de 120 toneladas cada uno, 2 molinos de martillos con volumen de hasta 23 toneladas por hora, 2 máquinas peletizadoras de 15 toneladas por hora y un sistema de cargue de alimento a granel, que se ocupa de administrar el despacho directamente a los carros. Este sistema contiene 4 baterías de silos; 2 silos grandes con capacidad de 130 toneladas cada uno, que se complementan con silos pequeños de 20 y 30; también comprende toda el área de bodega con una capacidad aproximada de 1.200 toneladas por mes.

Actualmente, la planta tiene una autonomía de despacho 420 toneladas y se están produciendo 450 diariamente; mensualmente se elaboran 12.000 toneladas (Ilustración 8). (Aliar S.A., 2020).

### **Elaboración del Pellet**

La planta de concentrados del predio Fazenda se ocupa de elaborar alimento peletizado que consumen los animales tanto en las granjas de porcicultura como en ganadería. Para los cerdos es su alimento principal para el caso de la ganadería es un suplemento de alimentación de las vacas lecheras.

Una vez la materia prima llega desde la planta de secamiento (maíz seco y la planta de extracción (torta de soya), se inicia un proceso lineal que consiste en 3 pasos, cuyo resultado final es el Pellet o Pelet, una pequeña porción compuesta de todos los ingredientes que conforman el alimento formulado, para facilitar su consumo y la conversión alimentaria (Figura 10).

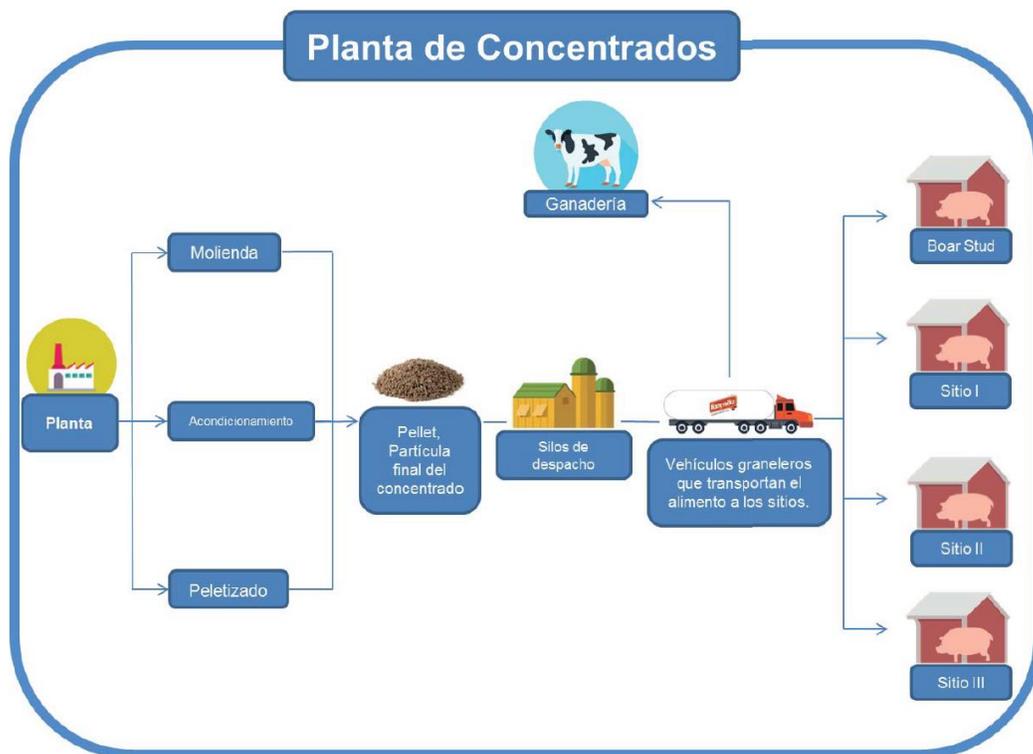


*Ilustración 8 Planta de Concentrado.  
Fuente: Aliar S.A., 2020.*

## Procesamiento de materias primas

Para obtener el alimento final, la planta de concentrados realiza los siguientes pasos:

- **Molienda:** mediante este proceso se busca disminuir los tamaños de las materias primas. La molienda reúne todos los componentes a través de una estandarización convirtiéndolos en harina molida. Los alimentos que se realizan en la planta se basan en 70 a 80% de maíz, 15% en torta derivada de la soya, y un 5% en complementos minerales y aminoácidos esenciales.
- **Acondicionamiento:** La anterior mezcla pasa por un proceso de acondicionado, en el cual se inyecta vapor seco que permite al gluten gelatinizarse y ayudar a la formación del Pellet en el proceso siguiente.
- **Peletizado:** Es el paso final en el proceso de transformación del alimento. Después de ser acondicionada, la harina ya lista debe pasar por una matriz o dado, que funciona como molde y hace que ésta circule a través de unos orificios para formar tiras compactas que serán cortadas en pequeñas porciones, obteniendo así el alimento peletizado.



*Figura 10 Proceso planta de Concentrado.  
Fuente: Aliar S.A., 2020.*

Cabe resaltar que la oferta de alimentos que se tienen en la Planta de Concentrados está enmarcada en 3 grupos que se dividen de acuerdo a la edad de los animales: El alimento con más alta concentración de proteínas, carbohidratos y energías metabolizantes se distribuye para el Boar Stud y para las hembras gestantes y lactantes de los Sitios I. Otro tipo de alimento se lleva a la Pre-ceba, con el fin de suplir las necesidades del lechón; y el último se entrega en el Sitio III, para el levante y sostenimiento de los cerdos en la Ceba (Aliar S.A., 2020).

### Entradas y salidas

A continuación, se presentan la información recolectada de los registros de las plantas agroindustriales del núcleo Fazenda de la Agropecuaria Aliar S.A., se tienen datos sobre materia prima, consumos energéticos, consumos de agua, combustible y la cantidad de concentrado generado en el proceso agroindustrial en los años 2018 y 2019.

#### Materia prima

*Tabla 2 Entrada de maíz en la planta de secamiento expresado en toneladas.*

<b>Mes</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
Enero	5944,64	6102,99
Febrero	402,43	462,27
Marzo	-	-
Abril	-	-
Mayo	-	-
Junio	-	-
Julio	-	-
Agosto	7698,45	7977,99
Septiembre	11012,34	11189,72
Octubre	6132,78	6378,01
Noviembre	6467,42	6570,57
Diciembre	11646,76	11763,94
<b>Total</b>	<b>49304,82</b>	<b>50445,49</b>

*Fuente: Aliar S.A., 2020.*

*Tabla 3 Entrada de soya en la planta de secamiento expresado en toneladas.*

<b>Mes</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
Enero	351,23	354,93
Febrero	-	-
Marzo	-	-

Abril	-	-
Mayo	-	-
Junio	-	-
Julio	63,4	50,3
Agosto	7598,45	7408,84
Septiembre	8602,28	8534,22
Octubre	-	-
Noviembre	57,32	64,72
Diciembre	1206,53	1197,3
<b>Total</b>	<b>17879,21</b>	<b>17610,31</b>

*Fuente: Aliar S.A., 2020.*

Los datos faltantes en la entrada de grano de maíz y soya en las plantas de secamiento se deben a la temporada de verano que se presenta en el mes de diciembre hasta mediados de mayo, para estas fechas no hay siembras.

### Consumo de combustible (GLP)

*Tabla 4 Consumo anual de GLP en las plantas de secamiento expresado en toneladas*

<b>Total</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
	156,2455	164,1743

*Fuente: Aliar S.A., 2020.*

En el caso del combustible GLP solo se cuentan con registros anuales de la cantidad que ingresa a las plantas de secamiento, los valores que se observan corresponden al total consumido por ambas plantas de secamiento (planta uno y planta dos).

### Consumo de hexano

*Tabla 5 Consumo de hexano en el proceso de extracción de aceite expresado en toneladas*

<b>Mes</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
Enero	9,34	8,56
Febrero	17,23	15,504
Marzo	40,123	43,502
Abril	10,343	7,261
Mayo	5,454	4,869
Junio	5,213	5,547
Julio	5,689	4,045
Agosto	9,454	8,4
Septiembre	14,667	11,195
Octubre	12,356	9,588

Noviembre	12,676	12,43
Diciembre	40,466	40,32
<b>Total</b>	<b>183,011</b>	<b>171,221</b>

*Fuente: Aliar S.A., 2020.*

### Generación de torta de soya

*Tabla 6 Generación de torta de soya en planta extractora expresada en toneladas*

<b>Mes</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
Enero	1005,43	1003,28
Febrero	2178,86	2072,82
Marzo	504,21	491,36
Abril	235,78	74,118
Mayo	756,87	744,195
Junio	2312,84	2387,86
Julio	2556,12	2523,28
Agosto	683,65	613,112
Septiembre	464,78	446,01
Octubre	1856,56	1866,795
Noviembre	765,78	748,49
Diciembre	312,44	398,59
<b>Total</b>	<b>13633,32</b>	<b>13369,91</b>

*Fuente: Aliar S.A., 2020.*

### Generación de cascarilla de soya

*Tabla 7 Generación de cascarilla de soya en planta extractora expresada en toneladas*

<b>Mes</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
Enero	85,76	89,56
Febrero	145,78	154,6
Marzo	56,67	40
Abril	65,98	17,345
Mayo	46,76	30,795
Junio	212,45	156,87
Julio	167,46	179,42
Agosto	53,67	66,726
Septiembre	32,65	36,67
Octubre	45,67	41,23

Noviembre	65,23	42,52
Diciembre	34,87	42,563
<b>TOTAL</b>	<b>800,5</b>	<b>898,299</b>

Fuente: Aliar S.A., 2020.

### Generación de aceite crudo de soya

Tabla 8 producción de aceite crudo de soya en planta extractora expresada en toneladas

Mes	2018	2019
Enero	387,671	409,655
Febrero	387,326	356,715
Marzo	167,455	138,89
Abril	-	-
Mayo	234,878	264,696
Junio	534,882	596,246
Julio	412,786	392,615
Agosto	423,772	440,162
Septiembre	-	-
Octubre	454,564	408,432
Noviembre	343,568	312,486
Diciembre	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>3346,902</b>	<b>3319,897</b>

Fuente: Aliar S.A., 2020.

En los meses de abril, septiembre y diciembre se realiza mantenimiento a la planta extractora.

### Consumo de agua

Tabla 9 Consumos de agua en las plantas agroindustriales expresado en metros cúbicos

Mes	2018	2019
Enero	3028	3426
Febrero	2931	2946
Marzo	2574	5481
Abril	2975	3414
Mayo	2923	1326
Junio	1954	937
Julio	1369	1321
Agosto	2219	5971
Septiembre	3006	1223

Octubre	2270	1156
Noviembre	1999	1458
Diciembre	1244	1422
<b>Total</b>	<b>28492</b>	<b>30081</b>

*Fuente: Aliar S.A., 2020.*

### Consumos energéticos

*Tabla 10 Consumos energéticos en las plantas agroindustriales expresado en MWh*

<b>Mes</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
Enero	665550	762838
Febrero	774738	663489
Marzo	784293	715568
Abril	687922	780345
Mayo	671318	733773
Junio	644555	716376
Julio	595596	634395
Agosto	710535	935678,41
Septiembre	815100	748056
Octubre	708902	708666,64
Noviembre	775423	739141
Diciembre	777650	701124
<b>Total</b>	<b>8611582</b>	<b>8839450,05</b>

*Fuente: Aliar S.A., 2020.*

### Producción de concentrado

*Tabla 11 Producción de concentrado expresado en toneladas*

<b>Mes</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
Enero	15120,235	13325,356
Febrero	15108,345	12265,447
Marzo	12755,557	12396,021
Abril	11710,785	12610,521
Mayo	13280,234	13714,893
Junio	13288,676	13259,917
Julio	14260,378	13938,198
Agosto	11261,237	12763,023

Septiembre	12170,734	13928,554
Octubre	13271,864	16600,367
Noviembre	11182,327	15699,537
Diciembre	15273,733	15441,982
<b>TOTAL</b>	<b>158684,105</b>	<b>165943,816</b>

*Fuente: Aliar S.A., 2020.*

## **Análisis de Ciclo de Vida (ACV)**

### **Fase I. Definición de objetivos y alcance.**

Se realizó un estudio aplicando un Análisis del ciclo de vida (ACV) a las plantas agroindustriales del núcleo Fazenda de la Agropecuaria Aliar S.A. Tomando como un sistema, a el proceso de elaboración de alimento concentrado y los subprocesos como componentes que conforman dicho sistema.

La elaboración de esta investigación se basa en los datos suministrados por la empresa, datos obtenidos en recorridos de campo por las plantas y de la base de datos de Agribalyse. El propósito es cuantificar la cantidad de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que se está generando en las plantas agroindustriales.

#### **Objetivo**

Desarrollar el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) a las plantas agroindustriales de la Agropecuaria Aliar S.A. mediante el uso del software OpenLCA para determinar la cantidad de dióxido de carbono equivalente (kg CO<sub>2</sub> eq).

#### **Alcance**

A continuación, se especificará el sistema de estudio, así como los límites y elementos que lo conforman, para realizar el ACV. El objeto de estudio son las 3 plantas agroindustriales (secamiento, extractora y concentrado), las cuales llevan a cabo el proceso de producción de alimento concentrado para cerdos.

#### **Función del sistema estudiado**

El sistema cumple con la función de adecuar la materia prima que entra (maíz y soya), y mediante varios procesos de acondicionamiento se produce alimento concentrado con la finalidad de alimentar al área de porcicultura de la empresa.

#### **Unidad funcional**

La finalidad del proceso de las plantas agroindustriales es obtener alimento concentrado, por esta razón se empleará una unidad de masa que relacione el objetivo final con una magnitud física, por esta razón la unidad funcional está basada en el “tonelada de concentrado”.

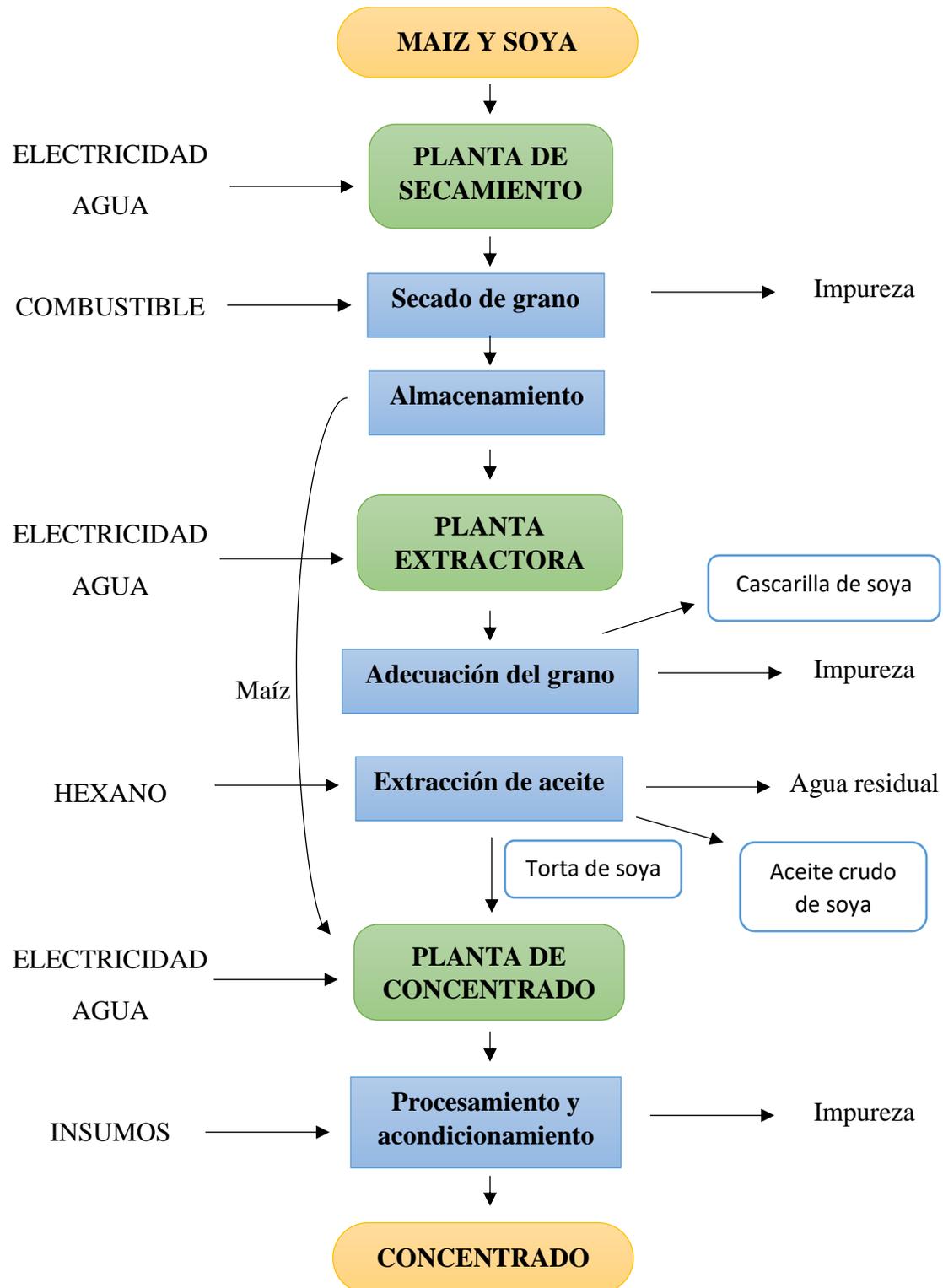
### **Sistemas estudiados**

El sistema consta de tres plantas agroindustriales, la planta de secamiento, planta de extracción de aceite de soya y la planta de concentrado, ubicadas en el núcleo Fazenda de la Agropecuaria Aliar S.A., las cuales dan tratamiento a la materia prima e insumos que ingresan para la producción de alimento concentrado. Cada planta está constituida por un conjunto de equipos y operaciones unitarias que forman parte del proceso de tratamiento.

### **Límites del sistema**

- Límites geográficos  
Las plantas Agroindustriales están ubicadas en el municipio de Puerto López, Meta, Colombia.
- Límites temporales  
Como horizonte temporal se consideraron los datos reportados por las plantas agroindustriales desde enero del 2018 hasta diciembre del 2019, donde el año 2018 será tomado como año base y el año 2019 será el año en estudio.
- Límites del sistema  
A continuación, en la figura 11 se observa el diagrama de flujo del proceso que se realiza en las plantas agroindustriales unificando las 3 plantas, con sus respectivas entradas y salidas que se dan por proceso.

Figura 11 Diagrama de flujo en las plantas agroindustriales



Fuente: Autor, 2020.

### **Etapas excluidas del análisis**

Las exclusiones que no se tomarán para el análisis de Ciclo de vida son el consumo de agua, debido a que en la bases de datos el uso de agua de origen natural no genera ningún impacto en cuanto a emisiones, los productos que se generan en la planta extractora, la cascarilla de soya y el aceite crudo de soya, Tampoco se incluirá la impureza que se genera en las plantas ni las aguas residuales que salen del proceso de extracción, debido a que estas entran en un proceso de manejo ambiental junto con los residuos porcícolas que se generan en la empresa.

### **Datos necesarios y requisitos de calidad**

Todos los datos provienen de los registros de consumo y generación de las plantas agroindustriales, al igual, que de los datos recopilados gracias a la base de datos de Agribalyse versión 3.0 donde se obtuvieron el inventario de emisiones y productos, consumo eléctrico y demás entradas al sistema.

- Información necesaria

Los datos necesarios para llevar a cabo el análisis son: Consumos de materia prima (Maíz y Soya), consumo de combustible (GLP), consumo de hexano y consumos energéticos.

- Requisitos de calidad de datos

Los datos que se manejan en este análisis son datos que fueron reportados por las plantas desde enero del 2018 hasta diciembre de 2019. Por otro lado, la base de datos y el inventario pertinente se basó en la data base de Agribalyse versión 3.0.

### **Herramienta informática utilizada**

La herramienta utilizada en la evaluación ambiental ha sido la herramienta de análisis de ciclo de vida OpenLCA. Se ha utilizado la versión 1.10.3, programa que permite la evaluación ambiental basada en la metodología del Análisis de Ciclo de Vida para productos y procesos industriales.

### **Fase II. Desarrollo del Inventario de Ciclo de Vida (ICV).**

Esta fase consistió en realizar un inventario de los datos de entrada/salida de materia, energía y flujos necesarios para llevar a cabo cada etapa del proceso de producción del alimento concentrado, en relación al sistema de estudio. Para llevar a cabo esta fase se recopiló información sobre los procesos de las plantas agroindustriales, a los cuales se les aplicó el análisis de ciclo de vida, posteriormente se analizaron las cantidades necesarias de materia prima, energía consumida en cada proceso y el factor contaminante equivalente, empleado en el software para el cálculo de los impactos ambientales. Esto requirió dos tipos de fuentes de información: Fuentes primarias y secundarias.

- Fuentes primarias: Información suministrada directamente por la empresa Agropecuaria Aliar S.A., soportada en documentación que la empresa dispuso para el caso de estudio.  
Esta información corresponde al periodo comprendido entre enero de 2018 a diciembre de 2019, seleccionados por ser datos recientes y fiables sobre los procesos llevados a cabo en las plantas.
- Fuentes secundarias: Conocidas como bases de datos, proporcionan información necesaria para terminar de elaborar y analizar el inventario a través de programas informáticos especializados en esta temática. Para esto, se dedicó una considerable cantidad de tiempo en la búsqueda de elementos y flujos necesarios para llevar a cabo los procesos.

Con la ayuda de la base de datos de Agribalyse versión 3.0 se realizó el inventario de fuentes primarias y secundarias (Tabla 12), Las materias primas, combustibles y consumos eléctricos empleados en los procesos de las plantas agroindustriales se referenciaron en la base de datos digital Agribalyse versión 3.0 por medio de los nombres técnicos de cada elemento se encontró la información correspondiente a cada material, sustancia y energía usados en los procesos de las plantas agroindustriales.

*Tabla 12 Inventario de fuentes primarias y secundarias de las plantas agroindustriales*

<b>Materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Unidad Funcional UF 2018</b>	<b>Unidad Funcional UF 2019</b>	<b>Agribalyse</b>
Maíz	ton/ton	0,310711	0,303991	Dried grain maize, FR
Soya	ton/ton	0,11267	0,10612	Soybean FR
Hexano	ton/ton	0,001153304	0,001031801	Hexane
GLP	ton/ton	0,000984632	0,000989337	Liquefied petroleum gas
Consumo eléctrico	Mwh/ton	54,26871204	53,26772798	Electricity, medium voltage, CO

*Fuente: Autor., 2020.*

### **Fase III. Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida (EICV).**

Para la evaluación del impacto se usa la metodología CML2001, IPCC 2007 y 2013 y ReCiPe Midpoint (H) considerando la base de datos de Agribalyse. Los factores de emisión se calcularon con los indicadores de Calentamiento Global y Oxidación Fotoquímica de las metodologías mencionadas.

La evaluación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero se realizó considerando los factores expresados en el Potencial de Calentamiento Global con un horizonte de tiempo de 100 años (GWP100) y expresados en Kg CO<sub>2</sub>-equivalente por la Unidad Funcional que es

una tonelada (t). Los potenciales de calentamiento global para diferentes GEI se muestran en la tabla 1.

#### Fase IV. Interpretación del Análisis de Ciclo de Vida

El estudio realizado a las plantas agroindustriales tiene como objeto resaltar la materia prima y los flujos energéticos que intervengan directa o indirectamente en el medio ambiente. Por esta razón, en esta última etapa de ACV se presentará la información obtenida referente al análisis de ciclo de vida de manera gráfica y numérica, enfocándose en los procesos que presentan dichas características.

#### Resultados del impacto ambiental

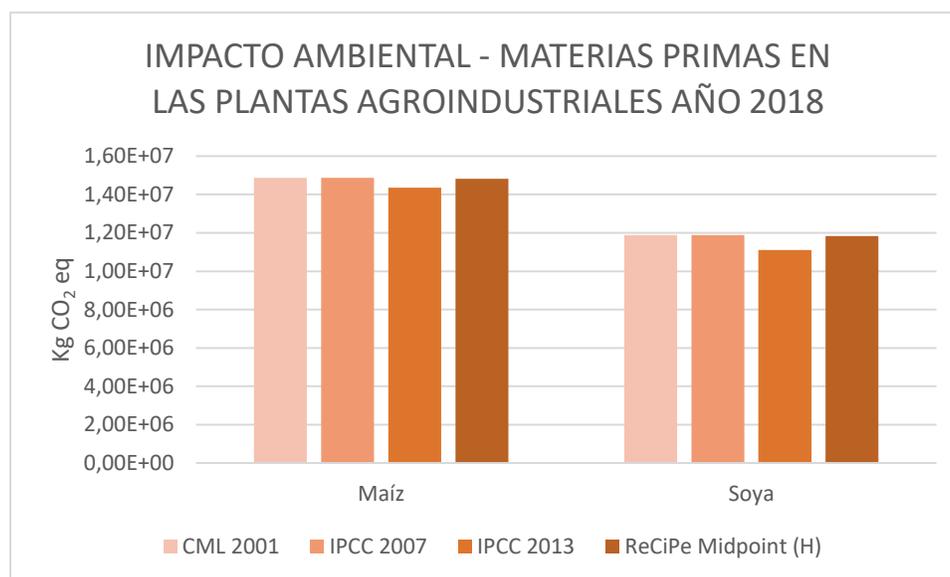
Haciendo uso del software OpenLCA se obtuvieron los siguientes resultados analizados del proceso de elaboración del alimento concentrado para los años 2018 y 2019 en las plantas agroindustriales:

*Tabla 13 Resultados del impacto ambiental en las plantas agroindustriales, año 2018.*

<b>Metodología – Indicador</b>	<b>Entradas</b>	<b>Impacto por entrada (kg CO<sub>2</sub> eq.)</b>	<b>Impacto ambiental global (kg CO<sub>2</sub> eq.)</b>
CML 2001 – Cambio Climático	Maíz	1,48618x10 <sup>7</sup>	1,6113x10 <sup>9</sup>
	Soya	1,18793x10 <sup>7</sup>	
	Hexano	-	
	GLP	9,64077x10 <sup>4</sup>	
	Consumo eléctrico	1,58447x10 <sup>9</sup>	
IPCC 2007 – Cambio Climático	Maíz	1,48619x10 <sup>7</sup>	1,6113x10 <sup>9</sup>
	Soya	1,18775x10 <sup>7</sup>	
	Hexano	-	
	GLP	9,64020x10 <sup>4</sup>	
	Consumo eléctrico	1,58447x10 <sup>9</sup>	
IPCC 2013 – Cambio Climático	Maíz	1,43509x10 <sup>7</sup>	1,6198x10 <sup>9</sup>
	Soya	1,11046x10 <sup>7</sup>	
	Hexano	-	
	GLP	9,78145x10 <sup>4</sup>	
	Consumo eléctrico	1,59425x10 <sup>9</sup>	
ReCiPe Midpoint (H) – Cambio Climático	Maíz	1,48259x10 <sup>7</sup>	1,6102x10 <sup>9</sup>
	Soya	1,18396x10 <sup>7</sup>	
	Hexano	-	
	GLP	9,62039x10 <sup>4</sup>	
	Consumo eléctrico	1,58340x10 <sup>9</sup>	

*Fuente: Autor., 2020.*

Figura 12 Resultados del EICV del maíz y soya, año 2018.



Fuente: Autor., 2020.

Para los procesos realizados en el año 2018 en las plantas agroindustriales, se utilizaron las metodologías CML 2001, IPCC 2007, IPCC 2013 y ReCiPe Midpoint (H), y a partir del indicador Cambio Climático GWP 100<sup>a</sup> se determinó el impacto ambiental de cada una de las entradas del sistema (tabla 13); las metodologías CML 2001 y IPCC 2007 generaron los mismos resultados de impacto ambiental para cada entrada del sistema con un valor del impacto globalizado de  $1,6113 \times 10^9$  kg CO<sub>2</sub> eq, la metodología IPCC 2013 presenta el mayor resultado de impactos ambientales en comparación con las demás metodologías con un valor de  $1,6198 \times 10^9$  kg CO<sub>2</sub> eq, y así mismo la metodología ReCiPe Midpoint (H) tiene el resultado menor del análisis,  $1,6102 \times 10^9$  kg CO<sub>2</sub> eq.

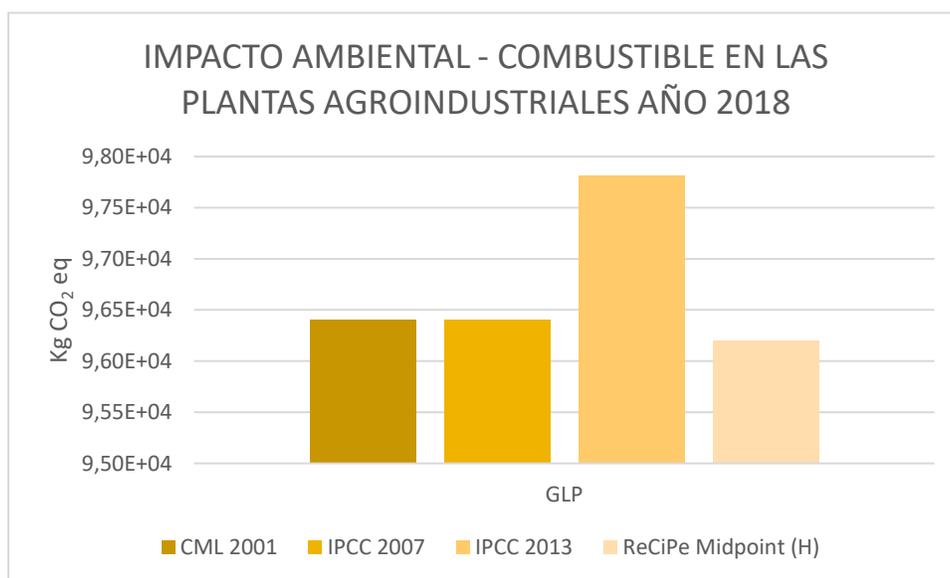
En la figura 12 se observa la cantidad de CO<sub>2</sub> generado por la entrada de materia prima, en este caso de maíz y soya, a las plantas agroindustriales en el año 2018, a partir del análisis de la gráfica se evidencia mayor producción de CO<sub>2</sub> en la entrada de maíz debido a que los datos entregados por la Agropecuaria Aliar. S.A. muestran mayores ingresos de este grano en el 2018, a comparación del grano de soya. La metodología IPCC 2013 genera los impactos ambientales más bajos en comparación con las demás metodologías.

Ninguna de las metodologías utilizadas cuenta con datos de generación de kg CO<sub>2</sub> eq, por la utilización de hexano como producto de entrada al proceso del sistema, debido a esto, se realizó un análisis al hexano, determinando los impactos ambientales asociados a este producto utilizando el indicador oxidación fotoquímica que tiene la metodología CML 2001 (tabla 14).

Según la figura 13 y 14, se puede afirmar que la metodología IPCC 2013 es la que presenta mayores impactos ambientales asociados con la utilización de combustibles y energía

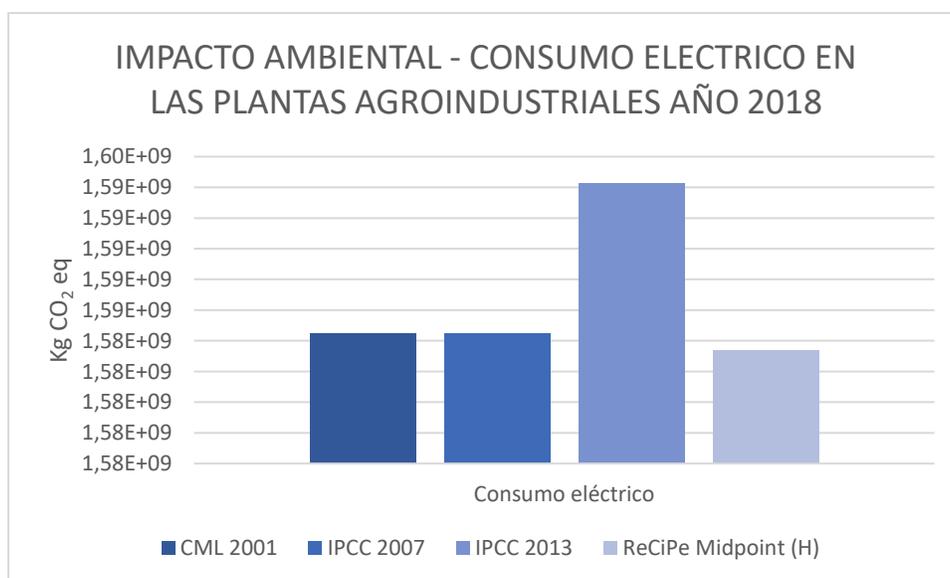
eléctrica en los procesos del sistema, una clara evidencia de que esta metodología contiene procesos más específicos para la determinación del ciclo de vida de combustibles y flujos energéticos, a comparación de las otras tres que presentan valores más cercanos entre sí. La metodología ReCiPe Midpoint (H) para el caso de estas dos entradas presenta los valores más bajos del análisis.

*Figura 13 Resultados del EICV del combustible, año 2018.*



*Fuente: Autor., 2020.*

*Figura 14 Resultados del EICV consumo energético, año 2018.*



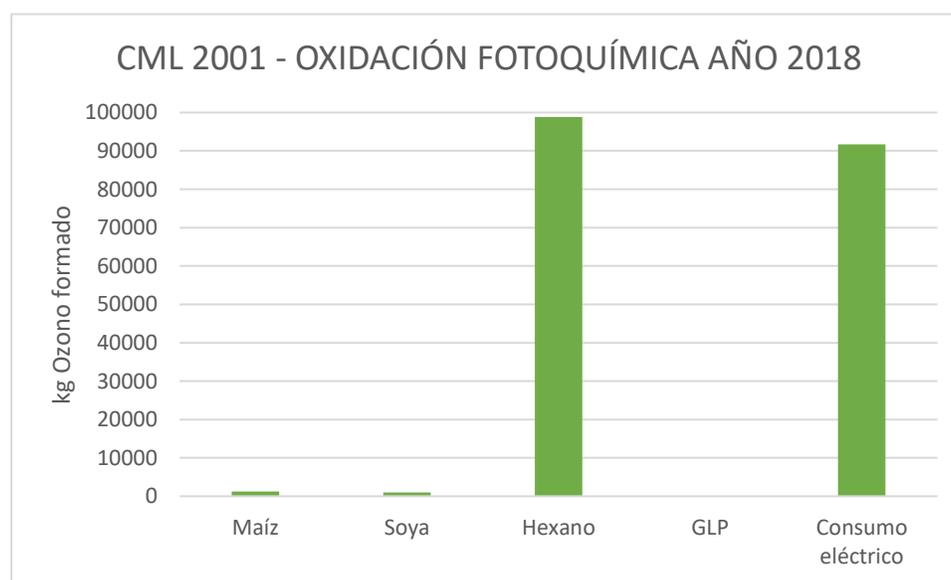
*Fuente: Autor., 2020.*

Tabla 14 Otro resultado del impacto ambiental en las plantas agroindustriales, año 2018.

Metodología – Indicador	Entradas	Impacto por entrada (kg formed ozone)	Impacto ambiental global (kg formed ozone)
CML 2001 – Oxidación fotoquímica	Maíz	1242,87	1,928x10 <sup>5</sup>
	Soya	968,45	
	Hexano	9,883x10 <sup>4</sup>	
	GLP	32,16	
	Consumo eléctrico	9,172x10 <sup>4</sup>	

Fuente: Autor., 2020.

Figura 15 Resultados de oxidación fotoquímica, año 2018.



Fuente: Autor., 2020.

El análisis realizado en la tabla 14 permite obtener los impactos ambientales producidos por la generación de reacciones fotoquímicas liberadas en los procesos del sistema, este impacto se cuantifica con la formación de ozono, este compuesto es el resultado de las reacciones fotoquímicas entre los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles producidos en buena medida por la quema de combustible, vapores de gasolina y solventes químicos.

A partir de esto, la figura 15 nos muestra que el consumo de hexano y de electricidad en el sistema de las plantas, son procesos que generan impactos ambientales significativos por la alta formación de ozono troposférico.

A continuación, se realiza el análisis de ciclo de vida de los procesos del sistema para el año 2019:

Tabla 15 Resultados del impacto ambiental en las plantas agroindustriales, año 2019.

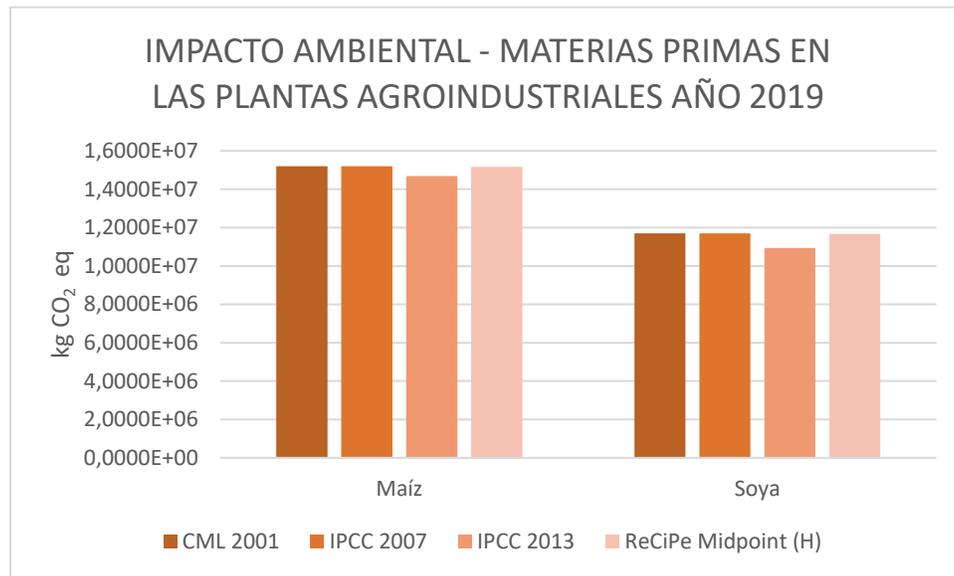
Metodología – Indicador	Entradas	Impacto por entrada (kg CO <sub>2</sub> eq.)	Impacto ambiental global (kg CO <sub>2</sub> eq.)
CML 2001 – Cambio Climático	Maíz	1,5206x10 <sup>7</sup>	1,6534x10 <sup>9</sup>
	Soya	1,170x10 <sup>7</sup>	
	Hexano	-	
	GLP	1,0130x10 <sup>5</sup>	
	Consumo eléctrico	1,6264x10 <sup>9</sup>	
IPCC 2007 – Cambio Climático	Maíz	1,5206x10 <sup>7</sup>	1,6534x10 <sup>9</sup>
	Soya	1,1699x10 <sup>7</sup>	
	Hexano	-	
	GLP	1,0129x10 <sup>5</sup>	
	Consumo eléctrico	1,6264x10 <sup>9</sup>	
IPCC 2013 – Cambio Climático	Maíz	1,4683x10 <sup>7</sup>	1,6622x10 <sup>9</sup>
	Soya	1,0938x10 <sup>7</sup>	
	Hexano	-	
	GLP	1,0278x10 <sup>5</sup>	
	Consumo eléctrico	1,6364x10 <sup>9</sup>	
ReCiPe Midpoint (H) – Cambio Climático	Maíz	1,5169x10 <sup>7</sup>	1,6522x10 <sup>9</sup>
	Soya	1,1662x10 <sup>7</sup>	
	Hexano	-	
	GLP	1,0109x10 <sup>5</sup>	
	Consumo eléctrico	1,6253x10 <sup>9</sup>	

Fuente: Autor., 2020.

Para el análisis los procesos realizados en el año 2019 en las plantas agroindustriales, se utilizaron las mismas metodologías que se utilizaron en el análisis anterior, las metodologías CML 2001 y IPCC 2007 generaron los mismos resultados de impacto ambiental para cada entrada del sistema con un valor del impacto globalizado de 1,6534x10<sup>9</sup> kg CO<sub>2</sub> eq, la metodología IPCC 2013 presenta el mayor resultado de impactos ambientales en comparación con las demás metodologías con un valor de 1,6622x10<sup>9</sup> kg CO<sub>2</sub> eq, y la metodología ReCiPe Midpoint (H) tiene el resultado menor del análisis, 1,6522x10<sup>9</sup> kg CO<sub>2</sub> eq.

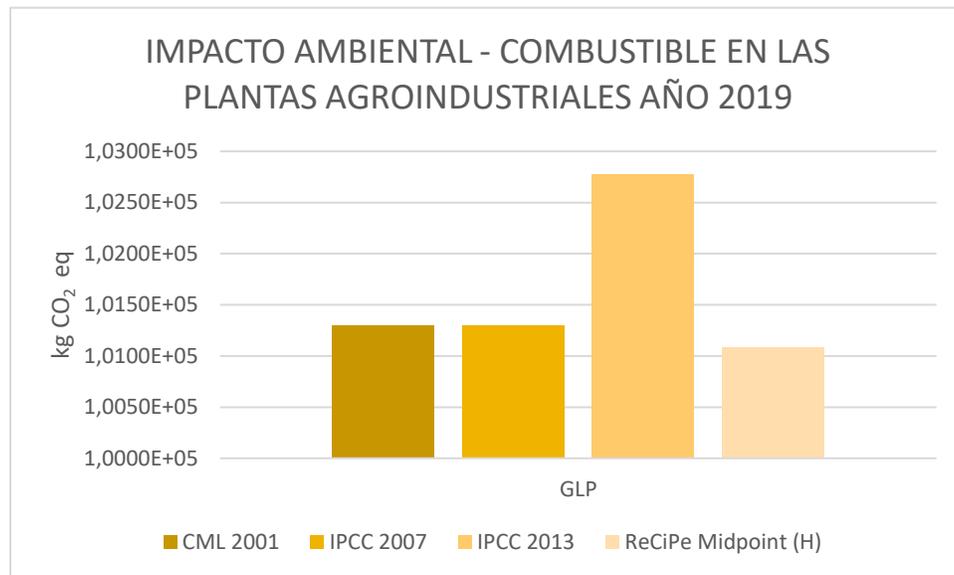
En la figura 16 se observa la cantidad de CO<sub>2</sub> generado por la entrada de maíz y soya, a las plantas agroindustriales en el año 2019, a partir del análisis de la gráfica se evidencia mayor producción de CO<sub>2</sub> en la entrada de maíz debido a que los datos entregados por la Agropecuaria Aliar. S.A. muestran también, que en el año 2019 se registraron mayores ingresos de este, a comparación del grano de soya. La metodología IPCC 2013 igualmente sigue generando los impactos ambientales más bajos en comparación con las demás metodologías.

Figura 16 Resultados del EICV del maíz y soya, año 2019.



Fuente: Autor., 2020.

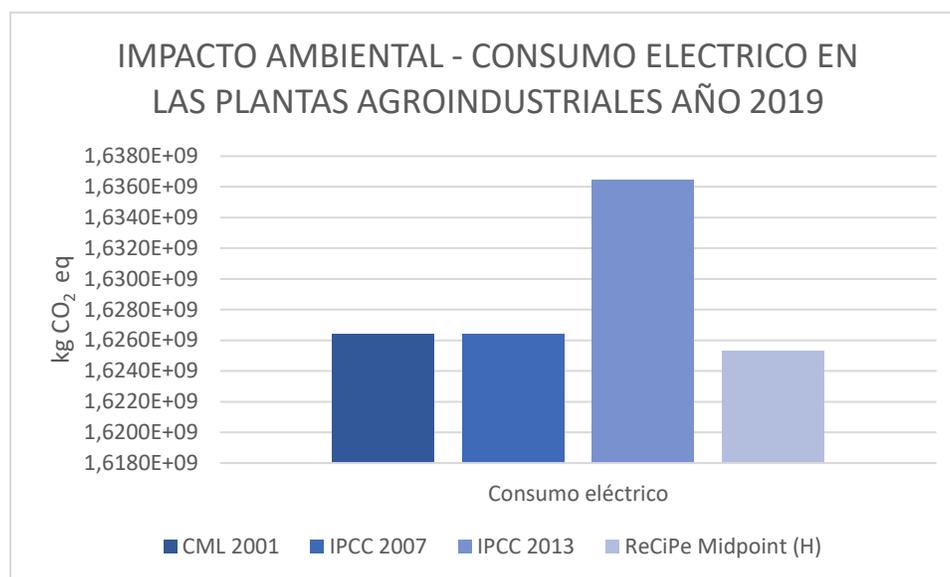
Figura 17 Resultados del EICV del combustible, año 2019.



Fuente: Autor., 2020.

Los valores registrados en las gráficas 17 y 18 siguen la misma tendencia del análisis del año 2018, la metodología IPCC 2013 es la que presenta mayores impactos ambientales asociados con la utilización de combustibles y energía eléctrica en los procesos del sistema, y la metodología ReCiPe Midpoint (H) presenta los valores más bajos del análisis.

Figura 18 Resultados del EICV consumo energético, año 2019.



Fuente: Autor., 2020.

La tabla 16 muestra el análisis que se realizó a partir de los datos de 2019, para la determinación de las oxidaciones fotoquímicas cuantificadas según la formación de ozono, que se producen en los procesos del sistema de plantas.

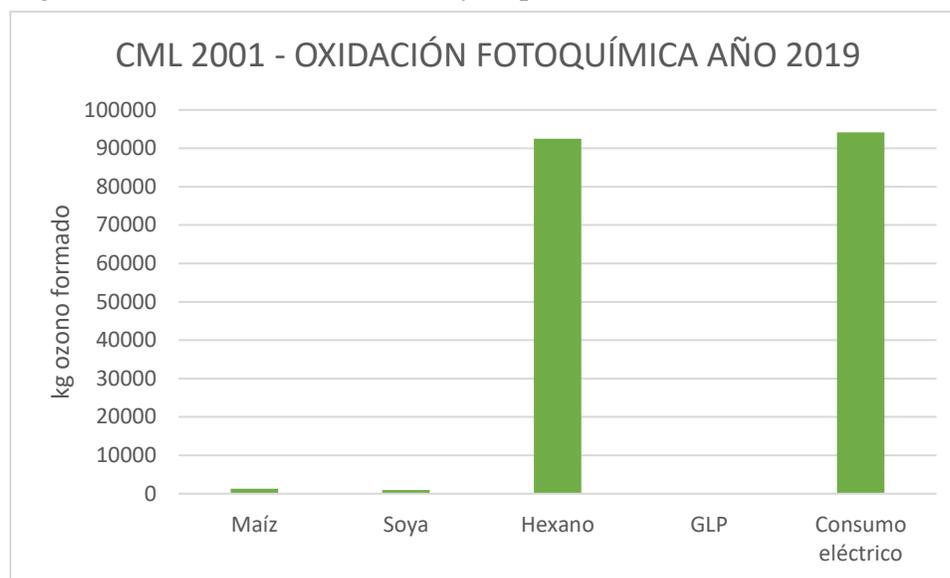
Igualmente, la figura 19 sigue la misma tendencia del análisis del año 2018, muestra que el consumo de hexano y de electricidad en el sistema de las plantas, son procesos que siguen generando impactos ambientales significativos por la alta formación de ozono troposférico.

Tabla 16 otro resultado del impacto ambiental en las plantas agroindustriales, año 2019.

Metodología – Indicador	Entradas	Impacto por entrada (kg formed ozone)	Impacto ambiental global (kg formed ozone)
CML 2001 – Oxidación fotoquímica	Maíz	1271,62	1,889x10 <sup>5</sup>
	Soya	953,88	
	Hexano	9,246x10 <sup>4</sup>	
	GLP	33,73	
	Consumo eléctrico	9,414x10 <sup>4</sup>	

Fuente: Autor., 2020.

Figura 19 Resultados de oxidación fotoquímica, año 2019.



Fuente: Autor., 2020.

### Comparación entre los años de estudio

A continuación, se presenta la tabla 17 con el consolidado del Análisis de Ciclo de Vida realizado en los dos periodos de estudio:

Tabla 17 Comparación de los periodos de estudio del análisis.

Año	Metodología	Impacto ambiental total (kg CO <sub>2</sub> eq)
2018	CML 2001	1,6113x10 <sup>9</sup>
	IPCC 2007	1,6113x10 <sup>9</sup>
	IPCC2013	1,6198x10 <sup>9</sup>
	ReCiPe Midpoint (H)	1,6102x10 <sup>9</sup>
2019	CML 2001	1,6534x10 <sup>9</sup>
	IPCC 2007	1,6534x10 <sup>9</sup>
	IPCC2013	1,6622x10 <sup>9</sup>
	ReCiPe Midpoint (H)	1,6522 x10 <sup>9</sup>

Fuente: Autor., 2020.

Se hizo una comparación gráfica entre los años de estudio (2018-2019), teniendo en cuenta las 4 metodologías usadas para cuantificar los kg de CO<sub>2</sub> eq (figura 20). A partir de esto, se evidencia que el año de estudio con mayor generación de kg CO<sub>2</sub> eq es el 2019, debido a que en este año se registraron mayores entradas de materia prima y de consumos energéticos. En cada una de las metodologías aplicadas se observa que la IPCC 2013 presenta el pico más alto de generación de impactos ambientales en el proceso, la ReCiPe Midpoint (H) presento en ambos años los valores más bajos en comparación con las otras metodologías y las

metodologías IPCC 2007 y CML 2001 dieron resultados en los que sus valores son minúsculamente.

*Figura 20 Comparación de los años de estudio.*



*Fuente: Autor., 2020.*

## Huella de Carbono

### Fase I. Definición de los límites

#### Límites Organizacionales

Los límites organizacionales se han establecido con base en el “enfoque de control”, por lo cual se incluyen en el proyecto solamente las operaciones sobre las cuales la empresa ejerce control directo dentro de sus actividades operacionales en los procesos que realizan las plantas agroindustriales. El criterio utilizado ha sido el de “Control Operacional”, ya que la organización tiene autoridad plena para introducir e implementar sus políticas operativas en la operación.

#### Límites Operacionales

Los límites operacionales se definen con el fin de diferenciar las emisiones de gases de efecto invernadero que se generan directamente en la organización, de aquellas indirectas que son consecuencia de las actividades de la empresa, pero que son generadas por otras organizaciones o empresas.

- Alcance 1: En el primer alcance se incluyen las emisiones directas de fuentes que son propiedad de o están controladas por la empresa. En tal sentido, se ha definido la siguiente:
  - Materia prima y combustible
- Alcance 2: En el segundo alcance se incluyen las emisiones indirectas relacionadas con la electricidad que es consumida por la empresa.
  - Electricidad

## Fase II. Selección de año base

El año base seleccionado fue el 2018, dado que fue el año acordado con la empresa y cuenta con datos completos y verificables.

## Fase III y IV. Identificación y Cuantificación de las emisiones

### Clasificación de alcances

#### Alcance 1: Emisiones directas

A continuación, se presentan los datos de emisiones directas resultado del Análisis del Ciclo de Vida de las plantas agroindustriales para el periodo 2018-2019.

*Tabla 18 Emisiones directas, 2018.*

Materiales y consumos	Metodología			
	CML 2001 (kg CO <sub>2</sub> eq)	IPCC 2007 (kg CO <sub>2</sub> eq)	IPCC 2013 (kg CO <sub>2</sub> eq)	ReCiPe Midpoint (H) (kg CO <sub>2</sub> eq)
Maíz	1,49 x10 <sup>7</sup>	1,49 x10 <sup>7</sup>	1,44 x10 <sup>7</sup>	1,48 x10 <sup>7</sup>
Soya	1,19 x10 <sup>7</sup>	1,19 x10 <sup>7</sup>	1,11 x10 <sup>7</sup>	1,18 x10 <sup>7</sup>
GLP	9,64 x10 <sup>4</sup>	9,64 x10 <sup>4</sup>	9,78 x10 <sup>4</sup>	9,62 x10 <sup>4</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>2,6836 x10<sup>7</sup></b>	<b>2,6838 x10<sup>7</sup></b>	<b>2,5553 x10<sup>7</sup></b>	<b>2,6762 x10<sup>7</sup></b>

*Fuente: Autor., 2020.*

*Tabla 19 Emisiones directas, 2019.*

Materiales y consumos	Metodología			
	CML 2001 (kg CO <sub>2</sub> eq)	IPCC 2007 (kg CO <sub>2</sub> eq)	IPCC 2013 (kg CO <sub>2</sub> eq)	ReCiPe Midpoint (H) (kg CO <sub>2</sub> eq)
Maíz	1,52 x10 <sup>7</sup>	1,52 x10 <sup>7</sup>	1,46 x10 <sup>7</sup>	1,51 x10 <sup>7</sup>
Soya	1,17 x10 <sup>7</sup>	1,16 x10 <sup>7</sup>	1,09 x10 <sup>7</sup>	1,16 x10 <sup>7</sup>

GLP	1,013 x10 <sup>5</sup>	1,0129 x10 <sup>5</sup>	1,0278 x10 <sup>5</sup>	1,0109 x10 <sup>5</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>2,7007 x10<sup>7</sup></b>	<b>2,7006 x10<sup>7</sup></b>	<b>2,5723 x10<sup>7</sup></b>	<b>2,6931 x10<sup>7</sup></b>

Fuente: Autor., 2020.

## Alcance 2: Emisiones indirectas

En las emisiones indirectas solo se encuentra la electricidad consumida por la empresa, estos resultados están expresados a continuación:

Tabla 20 Emisiones indirectas, 2018.

Materiales y consumos	Metodología			
	CML 2001 (kg CO <sub>2</sub> eq)	IPCC 2007 (kg CO <sub>2</sub> eq)	IPCC 2013 (kg CO <sub>2</sub> eq)	ReCiPe Midpoint (H) (kg CO <sub>2</sub> eq)
Electricidad	1,58 x10 <sup>9</sup>	1,58 x10 <sup>9</sup>	1,59 x10 <sup>9</sup>	1,58 x10 <sup>9</sup>

Fuente: Autor., 2020.

Tabla 21 Emisiones indirectas, 2019.

Materiales y consumos	Metodología			
	CML 2001 (kg CO <sub>2</sub> eq)	IPCC 2007 (kg CO <sub>2</sub> eq)	IPCC 2013 (kg CO <sub>2</sub> eq)	ReCiPe Midpoint (H) (kg CO <sub>2</sub> eq)
Electricidad	1,6264 x10 <sup>9</sup>	1,6264 x10 <sup>9</sup>	1,6364 x10 <sup>9</sup>	1,6253 x10 <sup>9</sup>

Fuente: Autor., 2020.

## Consolidado de alcances

Tabla 22 Consolidado de alcances en los años de estudio.

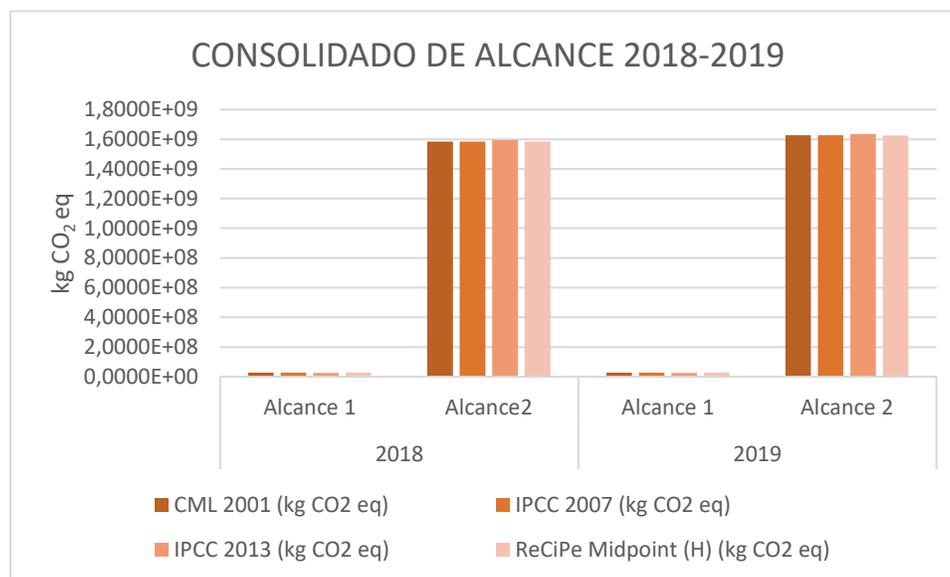
Año	Alcance	CML 2001 (kg CO <sub>2</sub> eq)	IPCC 2007 (kg CO <sub>2</sub> eq)	IPCC 2013 (kg CO <sub>2</sub> eq)	ReCiPe Midpoint (H) (kg CO <sub>2</sub> eq)
2018	Alcance 1	2,6838 x10 <sup>7</sup>	2,6836 x10 <sup>7</sup>	2,5553 x10 <sup>7</sup>	2,6762 x10 <sup>7</sup>
	Alcance2	1,5845 x10 <sup>9</sup>	1,5845 x10 <sup>9</sup>	1,5943 x10 <sup>9</sup>	1,5834 x10 <sup>9</sup>
2019	Alcance 1	2,7007 x10 <sup>7</sup>	2,7006 x10 <sup>7</sup>	2,5723 x10 <sup>7</sup>	2,6931 x10 <sup>7</sup>
	Alcance 2	1,6264 x10 <sup>9</sup>	1,6264 x10 <sup>9</sup>	1,6364 x10 <sup>9</sup>	1,6253 x10 <sup>9</sup>

Fuente: Autor., 2020.

Como se aprecia en la figura 21, el alcance 2 que es generado por las emisiones indirectas que generan los procesos de las plantas agroindustriales es significativamente mas elevado que las emisiones del alcance 1, que son las emitidas directamente por la empresa, esta diferencia tan notoria de cantidad de CO<sub>2</sub> emitido se debe al alto consumo energético que tienen las plantas agroindustriales, al ser un proyecto tan grande la demanda energética es

enorme, y para el correcto funcionamiento de la cadena productiva de la empresa es necesario que las plantas trabajen las 24 horas al día, con una alta exigencia energética para darle continuidad al proceso.

*Figura 21 Consolidado de los alcances*



*Fuente: Autor., 2020.*

## **Fase V. Estrategias de mitigación y/o compensación**

Una vez obtenidos los resultados de la cuantificación de la huella de carbono, el siguiente paso a dar de manera esencial, es encontrar alternativas que ayuden a compensar o mitigar los impactos generados en los procesos y/o actividades que se producen en el caso de estudio; en esta ocasión en particular el proceso que realizan las plantas agroindustriales de la Agropecuaria Aliar S.A.

De acuerdo a lo anterior, cabe resaltar que las empresas tienen la posibilidad de compensar las emisiones que generan con proyectos que promuevan la reducción de emisiones; aunque como tal la compensación no reduce la huella de carbono si denota el compromiso individual que tiene la empresa con el impacto a la sociedad y medio ambiente buscando contribuir al compromiso global de lucha contra el cambio Climático (Ministerio para la Transición Ecológica, 2015).

A continuación, se describen las alternativas para los elementos de mayor impacto:

### **Reducción en consumo**

Esta alternativa consiste de manera general en reducir la cantidad de insumos o flujos empleados por medio de la optimización de los procesos o el cambio del producto químico usado por otro más amigable con el medioambiente. Esta estrategia tiene varias limitaciones,

la principal es la dependencia a la calidad de los insumos y las tecnologías que estén disponibles en el mercado local; al igual que la eficiencia en los procesos, el precio de los insumos y las tecnologías que se apliquen al proceso.

Existen elementos que por el bajo grado de industrialización el impacto en términos de calentamiento global es relativamente bajo en comparación a otros, pero la eficiencia y la calidad de los mismos hace que no sean muy usados. Además, puede ocasionar otros impactos ambientales adverso como contaminación a fuentes hídricas y suelos. (Gelves, 2018).

A partir de la determinación de la Huella de Carbono de las plantas agroindustriales de la agropecuaria Aliar S.A., se encontró que las emisiones atmosféricas significativas de la empresa son generadas por procesos indirectos que conllevan el consumo de energía eléctrica en las instalaciones de las plantas, debido a que en el proceso de generación de energía, en el caso de centrales térmicas se obtiene la energía a partir de la combustión de combustibles fósiles, como el carbón, este tipo de centrales generan elevadas emisiones de Gases de Efecto Invernadero a la atmosfera. Es por esto que al tener consumos energéticos en las plantas indirectamente se está contribuyendo a la generación de estos gases. Como medida de mitigación para disminuir el consumo convencional de energía eléctrica, se menciona la generación de esta energía a partir de las otras áreas productivas de la empresa, en este caso de porcicultura y área de desarrollo sostenible que se encarga del manejo ambiental de las aguas residuales porcícolas. En la empresa se tratan estas aguas a partir de biodigestores, y como subproducto de este tratamiento encontramos la producción de metano, actualmente la empresa está liderando un proyecto, en uno de los predios que posee, que es la implementación de un sistema de aprovechamiento de este gas, como fuente de energía eléctrica para los procesos internos de la empresa, si el proyecto sale adelante, y parte de esta energía es incorporada a los procesos de plantas agroindustriales será una manera óptima de minimizar las emisiones generadas por el consumo de energía eléctrica.

### **Compensación con sumideros de CO<sub>2</sub>**

Un sumidero es “cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe o elimina de la atmósfera un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero” según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) de 1992. Los océanos y ecosistemas terrestres son los responsables de alrededor el 50% de gases de efecto invernadero y CO<sub>2</sub> absorbidos anualmente.

Los bosques, contribuyen a la mitigación del cambio Climático almacenando carbono en la vegetación y el suelo, por medio de la respiración de las plantas y de la actividad microbiana intercambian constantemente con la atmosfera, aunque se convierten en fuentes de emisión de carbono cuando son turbados. Los árboles absorben el CO<sub>2</sub> dejando solo la molécula de carbono para usarlo en forma de carbohidratos para sus procesos metabólicos de crecimiento, adhiriéndose a las ramas, raíces y madera del tronco. Esta captura de carbono, es únicamente mientras el árbol está en desarrollo hasta alcanzar su madurez, una vez el árbol muere emite la misma cantidad de carbono capturada.

La capacidad de los bosques para actuar como sumideros de carbono depende de muchos factores, entre los que se encuentran las características propias de la vegetación, del clima y del tipo de suelo en el que se encuentra, así como de las particularidades de la gestión aplicada.

El Ministerio del Medio Ambiente de Colombia (MMA,2000) en un estudio llamado “Estudio de Estrategia Nacional para la implementación del MDL en Colombia” presento el potencial de fijación de CO<sub>2</sub> en el sistema forestal de Colombia. Por este motivo, se han venido realizando varios estudios en los cuales se estima ese potencial de fijación de CO<sub>2</sub> para situaciones específicas. (Gelves, 2018)

Actualmente la Agropecuaria Aliar S.A. tiene alrededor 80 hectáreas de reforestación como parte del manejo ambiental que realiza la empresa para compensar la ocupación del territorio y la generación de Gases de Efecto Invernadero. Se tiene proyectado aumentar el número de hectáreas de reforestación y con esto contribuirá con las estrategias de minimizar aún más los impactos asociados a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos en la investigación presentan un grado de incertidumbre, debido a que el inventario de emisiones y la determinación de impactos ambientales generados, son extraídos de una base de datos internacional, que no precisa de información nacional ni regional de Colombia, igualmente la información entregada por el Análisis de Ciclo de Vida y la Huella de Carbono a través de la metodología desarrollada en la investigación, proporciona un punto de partida para la empresa, identificando que procesos generan emisiones atmosféricas significativas y así enfocar acciones de mejora en dichos procesos.

En los procesos de las plantas agroindustriales, los impactos ambientales causados a nivel local y regional, medidos a través de los indicadores de cambio climático que contienen las metodologías CML 2001, IPCC 2007, IPCC 2013 y ReCiPe Midpoint muestran que durante el 2018 se emitieron aproximadamente  $1,6198 \times 10^9$  kg CO<sub>2</sub> eq a la atmosfera, y para el año 2019 estas emisiones aumentaron a  $1,6622 \times 10^9$  kg CO<sub>2</sub> eq; siendo el consumo energético el principal generador de impactos ambientales, a partir de estos resultados la Agropecuaria Aliar S.A. identifica que el generador principal de emisiones atmosféricas es la energía eléctrica consumida en las plantas, debido a los procesos que se asocian a la generación de energía a partir de combustibles fósiles.

La agropecuaria Aliar S.A. debe continuar con sus procesos de mejoras que ha venido incorporando, el aprovechamiento de metano para la generación de energía eléctrica y la reforestación son macroproyectos que sin duda alguna minimizaran la generación de Gases de Efecto Invernadero y contribuirá a la disminución de la Huella de Carbono de las plantas agroindustriales, también, es importante tener en cuenta la viabilidad de incorporar alternativas de producción de energías limpias dentro de la empresa, la región donde se encuentran los núcleos productivos de la empresa, el departamento del Meta, presenta condiciones favorables para la implementación de sistemas de energía solar y eólica.

## Recomendaciones

A continuación, se detallarán las recomendaciones principales resultado de la investigación:

- Llevar a cabo un nuevo cálculo de la huella de carbono de las plantas agroindustriales para el año 2020 y 2021, de modo que se evalúe si los futuros macroproyectos que está desarrollando la empresa (generación de energía eléctrica y reforestación) representan acciones que minimicen y compensen la producción de Gases de Efecto Invernadero.
- Ampliar el alcance de la medición de la huella de carbono, con la finalidad de incluir todas las actividades que se realizan en la cadena productiva de la empresa, como lo son agricultura, porcicultura, ganadería y los alojamientos administrativos, con el fin de obtener un informe completo de las emisiones que genera la Agropecuaria Aliar S.A.
- Para estudios futuros buscar ajustar las proyecciones de las sustancias en la base de datos para la realización del Análisis de Ciclo Vida a fin de obtener una mayor precisión en los resultados; esto lográndose con la obtención de licencias de software de pago que se ajusten a los procesos internos que se realizan en la agroindustria.
- A través de este proyecto, la empresa aumente el conocimiento y la experiencia en esta temática, con el propósito de convertirse en un referente a nivel regional, departamental y nacional en la gestión de una de las principales amenazas que actualmente se enfrenta al planeta.

## Bibliografía

Aliar S.A. (2020). *Componente ambiental - Procesos productivos Agropecuaria Aliar S.A.*

CEPAL. (2011). *Metodologías de cálculo de la huella de carbono y sus potenciales implicaciones para América Latina.*

García, J. S., Herrera, I., & Rodríguez, A. (2011). *Análisis de Ciclo de Vida de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Caso: PTARM de Yautepec (Morelos, México)*. Morelos: Ciemat.

Gelves, G. A. (2018). *Determinación de Huella de Carbono para los procesos de potabilización en las plantas el Portico y Carmen de Tochala en la empresa Aguas Kpital Cucuta S.A ESP.* Pamplona: Universidad de Pamplona.

IDEAM. (2014). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/cambio-climatico>

Ihobe S.A. (2009). *Análisis del Ciclo de Vida y Huella de Carbono*. Gobierno Vasco.

Ihobe S.A. (2012). *Guía metodológica para la aplicación de la norma UNE-ISO 14064-1:2006 para el desarrollo de inventarios de Gases de Efecto Invernadero en organizaciones*. Bilbao.

Jurado, C., & Lizcano, Y. (2015). *Determinación de la huella de carbono en el aeropuerto internacional El Dorado a la luz del Protocolo GREENHOUSE GAS (GHG)*. Bogotá.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). *Minambiente*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1801-plantilla->

Ministerio para la Transición Ecológica. (2015). *Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización*.

NTC-ISO 14040. (2007). *Análisis de Ciclo de Vida. Principios y Marco de Referencia*. Bogotá.

Secretaría Distrital de Ambiente. (2015). *Guía para el Cálculo y Reporte de Huella de Carbono Corporativa*. Bogotá D.C.

Universidad Tecnológica de Pereira. (2011). Obtenido de <https://www.utp.edu.co/centro-gestion-ambiental/informacion-de-interes/que-es-la-huella-ecologica>

WRI; ICLEI. (2014). *Protocolo de Gases de Efecto Invernadero*. Obtenido de [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/GHGP\\_GPC%20%28Spanish%29.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/GHGP_GPC%20%28Spanish%29.pdf)