

Huella de Carbono de la empresa Aditivos y Químicos S.A.S, Colombia

María Gabriela Rivas Mira

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2020

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

Huella de Carbono de la empresa Aditivos y Químicos S.A.S, Colombia

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para
optar al título de Ingeniera en Ambiente y Desarrollo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

María Gabriela Rivas Mira

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2020

Huella de Carbono de la empresa Aditivos y Químicos S.A.S, Colombia

María Gabriela Rivas Mira

Resumen. El incremento acelerado de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) conlleva consecuencias ambientales que se han convertido en una problemática global. La industria alimentaria es un contribuyente importante de estas emisiones, por lo que, es responsable de la implementación de estrategias de reducción dentro de este contexto. La empresa Aditivos y Químicos S.A.S es una compañía dedicada al desarrollo, producción y mercadeo de aditivos para la nutrición animal y humana. Las emisiones se cuantificaron utilizando la metodología del protocolo de GEI del Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible. Siendo el resultado de las emisiones para el año 2019, un total de 1,897.2 toneladas de Dióxido de Carbono equivalente (CO₂eq). Se tuvo un 88% del total de emisiones en el Alcance 1, el 8% correspondiente al Alcance 2 y el 4% en el Alcance 3. La mayor contribución de GEI corresponde al uso de gas licuado de petróleo (GLP) para la operación de montacargas en bodegas de logística. El segundo lugar corresponde al consumo de gas natural en las torres de secado y en menor proporción el consumo de energía eléctrica, el transporte, la gestión de residuos y los vertimientos domésticos e industriales. Se propone como estrategia de reducción de emisiones el cambio de los montacargas de GLP por montacargas eléctricos, así como la inclusión de estrategias de optimización en los procesos productivos de la empresa.

Palabras clave: Aditivos alimentarios, emisiones de gases de efecto invernadero, huella de carbono organizacional, protocolo de gases de efecto invernadero.

Abstract. The accelerated increase of greenhouse gases (GHG) has environmental consequences that have become a global problem. The food industry is a major contributor to these emissions and therefore is responsible for the implementation of reduction strategies within this context. The company Aditivos y Químicos S.A.S is a company dedicated to the development, production and marketing of additives for animal and human nutrition. The company's emissions were quantified using the methodology of the GHG protocol from the World Business Council for Sustainable Development. In the year 2019, the total emissions produced by the company were 1,897.2 tons of Carbon Dioxide equivalent (CO₂eq). The 88% of the total emissions were registered in Scope 1, 8% correspond to Scope 2 and 4% in Scope 3. The highest GHG contribution corresponds to the operation of liquefied petroleum gas (LPG) forklifts inside the logistic warehouses. Secondly, the consumption of natural gas in the drying towers and, to a lesser extent, the consumption of electrical energy, transportation, waste management and domestic and industrial dumping. Replacing the LPG forklifts with its electrical versions is proposed as an emission reduction strategy, as well as the inclusion of optimization strategies in the production processes of the company.

Key words: Food additives, greenhouse gas emissions, greenhouse gas protocol, organizational carbon footprint.

ÍNDICE GENERAL

Portadilla	i
Página de Firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Índice General	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
4. CONCLUSIONES	18
5. RECOMENDACIONES.....	19
6. LITERATURA CITADA.....	20
7. ANEXOS.....	23

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Alcance 1, Emisiones directas.	14
2. Alcance 2, Emisiones indirectas.....	16
3. Alcance 3, otras Emisiones indirectas.	16

Figuras	Página
1. Ubicación geográfica de empresa Aditivos y Químicos S.A.S.	3
2. Diagrama de flujo de proceso de Aditivos y Químicos S.A.S.	12
3. Contribución porcentual por alcance para emisiones GEI de empresa Aditivos y Químicos S.A.S.	13

Anexos	Página
1. Cálculo de emisiones Alcance 1.....	23
2. Cálculo de emisiones Alcance 2.....	24
3. Cálculo de emisiones Alcance 3.....	24
4. Factores de emisión con referencia.	24

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se registra un incremento de emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI) y sus consecuencias ambientales se consideran una problemática global (Bajan y Mrówczyńska-Kamińska, 2020). Uno de los principales impactos generados por el aumento de emisiones de GEI es el calentamiento global, que se traduce en un desbalance de la temperatura media del planeta y da lugar al cambio climático (Awanthi y Navaratne, 2018). La concentración actual de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera es 411 ppm, representando el registro más alto en los últimos 800 años (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2018). Las emisiones provenientes de la industria representan alrededor del 22% del total de emisiones a nivel mundial. Este sector incluye, entre otros procesos, la transformación química, minera y metalúrgica asociados a la fabricación de materiales y bienes, como los aditivos de alimentos (Hickmann, 2017). Estos aditivos se requieren para garantizar la calidad del producto en términos de disponibilidad de nutrientes, palatabilidad, control de hongos y bacterias, entre otros.

En la producción de aditivos para la industria alimenticia y nutricional se utiliza de manera sustancial agua y energía que resultan en el incremento de emisiones de GEI (Leach et al., 2016), contaminación de aguas y generación de residuos. En este contexto, el uso de herramientas de evaluación y direccionamiento ambiental es necesario para el monitoreo y determinación de puntos críticos de impacto. Así como, para el desarrollo de estrategias que permitan la reducción de impactos ambientales relacionados al cambio climático. La cuantificación de emisiones de GEI a nivel empresarial representa un indicador valioso y el punto de partida para la selección de acciones de mejora o el rediseño o ecodiseño de los bienes y servicios (Gunarathne y Lee, 2019). Consecuentemente, el interés de evaluar el desempeño ambiental de la industria de alimentos ha incrementado a través del uso de herramientas como la huella de carbono, que evalúa el impacto de las emisiones directas o indirectas en CO₂ equivalente relacionadas con la generación de servicios o productos de una organización en particular (Li et al., 2020).

El Protocolo de Gases de efecto Invernadero – Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte es una guía metodológica para cuantificar y reportar las emisiones generadas por una empresa. La Iniciativa del Protocolo de Gases Efecto Invernadero (GHG PI, por sus siglas en inglés) es una alianza entre empresas, organizaciones no gubernamentales, gobiernos y otras entidades que, fueron convocadas por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI, por sus siglas en inglés) y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD, por sus siglas en inglés). Esta guía fue divulgada de manera oficial en 1998 con el objetivo de desarrollar estándares que permitieran la contabilización y reporte por parte de empresas miembros y, además se expandiera su uso a nivel global. Esta guía estandarizada fue diseñada con el propósito de orientar a las empresas en la preparación de un inventario de emisiones representativas de su operación. Adicionalmente, ofrece la posibilidad, de una vez inventariados los GEI, desarrollar estrategias para gestión y reducción de emisiones, simplificando costos de operación (Ranganathan, Moorcroft, Koch y Bhatia, 2019). De esta manera, cada vez más empresas evalúan sus emisiones y determinan sus inventarios de GEI en diferentes partes del mundo, inclusive en los países de América Latina, incluida Colombia. De acuerdo con el Sistema de Información Ambiental de Colombia, a partir de noviembre del 2015, existen 8 planes de Acción Sectorial en el marco de la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC), los cuales identifican las líneas

estratégicas a trabajar para mitigar emisiones de GEI y cumplir los objetivos sectoriales y dentro de ellos se encuentran los PAS Industrial y Agropecuario (Sistema de Información Ambiental de Colombia [SIAC], 2020).

Las actividades agroindustriales más representativas en Colombia son, la molinería de arroz, fábricas de alimentos balanceados para animales, fábricas de chocolate, industria cárnica y azucarera (Cury, Aguas, Martínez, Olivero y Chams, 2017), las cuales representan el potencial exportador del país. Dentro de este sector se han acogido diferentes iniciativas de los gobiernos departamentales, así como de las instituciones nacionales para desarrollar mecanismos de monitoreo y gestión ambiental empresarial. Las decisiones corporativas son importantes no solo para marcar pautas de acción dentro de las asociaciones comerciales líderes a nivel mundial, sino para desarrollar estrategias de competitividad en mercados nacionales e internacionales. En este contexto, la gestión de emisiones de GEI, una de las preocupaciones más grandes dentro del sector industrial y comercial ha llevado a empresas de todo el mundo por la ruta del monitoreo de diferentes indicadores ambientales y la producción sostenible (Schaltegger y Csutora, 2012).

La empresa Aditivos y Químicos S.A.S (ADIQUIM) compañía colombiana dedicada al desarrollo, producción y mercadeo de aditivos para la nutrición animal y humana es un ejemplo de organización encaminada a los enfoques de producción sostenible. Los productos de ADIQUIM son utilizados por productores de alimentos concentrados, productores de carne, leche, huevos, panadería y alimentos en general. De acuerdo con la misión de la empresa, estos sirven para proteger y mejorar la calidad de sus productos (Aditivos y químicos S.A.S, s.f.). Aunque la empresa realizó su primer reporte de huella de carbono en el año 2017, sus operaciones recién iniciaban en el actual lugar de producción. Por lo tanto, la información utilizada para el primer cálculo no fue representativa del total de las operaciones y en su proceso de mejoramiento continuo se mantuvo como objetivo el desarrollo de sus inventarios anuales. Con relación a lo anterior, los objetivos de este estudio fueron los siguientes.

- Identificar las entradas y salidas de energía y materiales en la actividad de la empresa Aditivos y Químicos S.A.S, acorde con los límites organizacionales y operacionales definidos.
- Calcular las emisiones directas e indirectas de GEI e identificar puntos críticos en los componentes de la empresa Aditivos y Químicos S.A.S.
- Evaluar opciones de mejora de puntos críticos, por medio de modificaciones de entradas y salidas de energía y materiales en los procesos productivos de Aditivos y Químicos S.A.S.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El estudio se realizó en la empresa Aditivos y Químicos S.A.S (ADIQUIM), ubicada en la Autopista Medellín-Bogotá, kilómetro 1.2 vía Aeropuerto Internacional José María Córdova, contiguo al Parque Industrial Élite 1, vereda San José, Guarne, Antioquia, Colombia (Figura 1). Esta empresa forma parte de la unidad de negocio de “Feed Manufacturer” y se dedica al desarrollo y manufactura de aditivos químicos. De acuerdo con su misión, el objetivo de estos aditivos es el incremento de la calidad de alimentos en las divisiones animal y humana. Adicionalmente, la empresa ofrece un acompañamiento integral, que va desde la formulación de dietas, manejo de materias primas, bioseguridad y programas de alimentación, hasta la asesoría técnica en plantas de producción, granjas y el monitoreo de resultados.

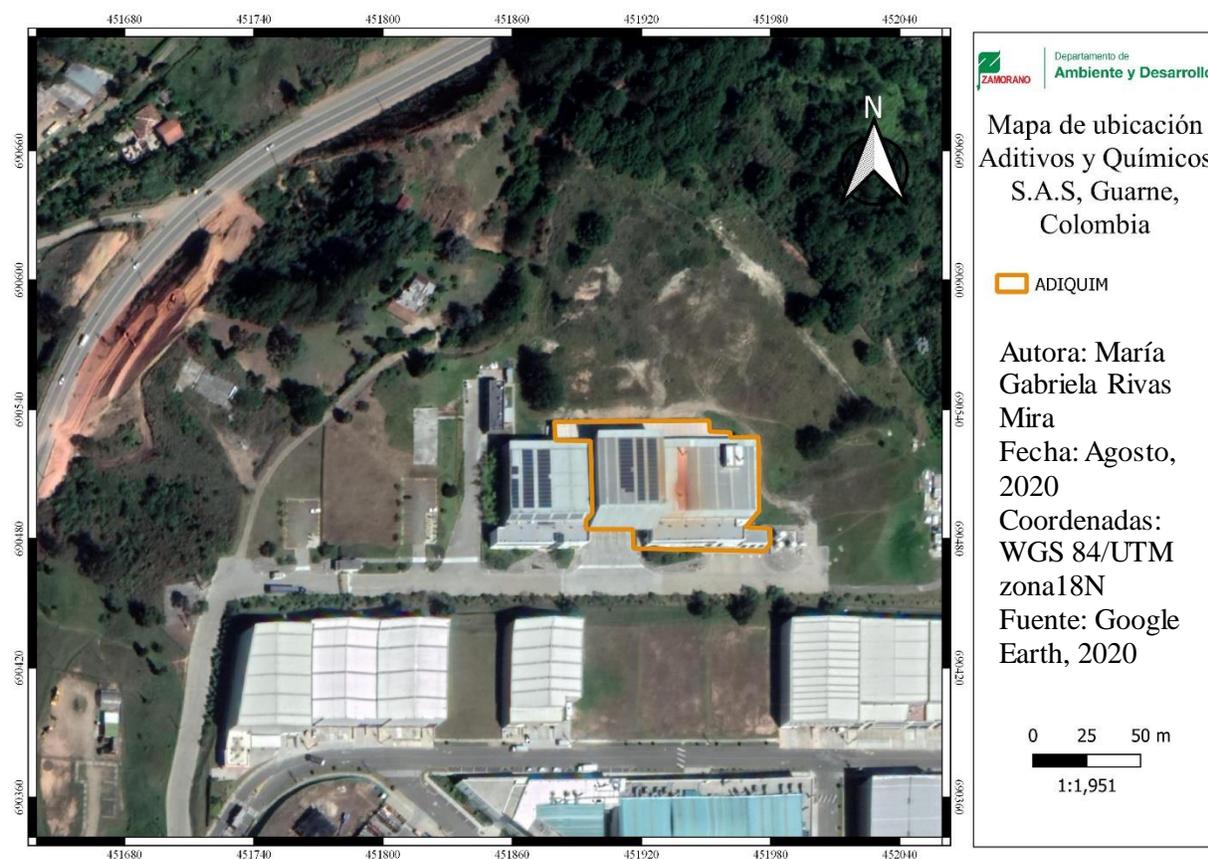


Figura 1. Ubicación geográfica de empresa Aditivos y Químicos S.A.S.

Método de cuantificación

Para cuantificar las emisiones se utilizó la metodología del protocolo de GEI del WBCSD, Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte.

Límites organizacionales

En este estudio se utilizó un enfoque de control operacional, ya que la empresa ejerce control total sobre las operaciones y actividades que desarrolla.

Límites operacionales y temporales

El año base seleccionado fue 2019 y los datos necesarios para el cálculo fueron proporcionados por la empresa ADIQUIM. Estos límites están definidos a partir de las fuentes de emisión identificadas en las operaciones de la empresa, dentro de los alcances que se describen a continuación.

Alcance 1: Emisiones directas de GEI. Emisiones provenientes de fuentes bajo el control total de la empresa ADIQUIM, incluyendo los consumos descritos a continuación:

- Uso de combustibles: GLP y gas natural genérico.
- Uso de aceites lubricantes para mantenimiento de maquinarias.
- Gestión de vertimientos domésticos e industriales.
- Gestión de residuos domésticos e industriales.

Alcance 2: Emisiones indirectas de GEI. Emisiones asociadas al consumo total de electricidad adquirida de la red de Empresas Públicas de Medellín (EPM) por la empresa Aditivos y Químicos S.A.S. Adicionalmente se consideraron los datos de generación eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica, proporcionados por la empresa “Entoria Energy”.

- Energía eléctrica facturada por EPM.
- Generación de paneles solares.

Alcance 3: Otras emisiones indirectas de GEI. Emisiones de la empresa en las cuales no se posee el control operacional, tales como:

- Transporte contratado para el traslado de operadores de planta.
- Transporte contratado para el traslado de empleados de oficina.
- Transporte contratado para la recolección, disposición y tratamiento de residuos.

Flujo de proceso

Para el cálculo de la huella de carbono, se identificaron los procesos de ADIQUIM a partir de la elaboración de un diagrama de flujo que incluye las entradas y salidas de materiales, energía y emisiones. Los datos de insumos utilizados en el desarrollo de aditivos fueron brindados por ADIQUIM, así como los datos de consumo de energía eléctrica, agua y gas natural que fueron obtenidos a través de información de facturación de la empresa. Los datos de generación de residuos se obtuvieron a partir del registro de los certificados anuales de disposición de residuos, clasificados por tipo de residuo y empresa recolectora. De igual forma los efluentes tratados en las plantas de tratamientos de agua residual (PTAR) se obtuvieron a partir del caudal diario, caracterizaciones y registros anuales de muestreos. Los factores de emisión fueron determinados a través de información secundaria disponible en documentos técnicos de instituciones colombianas, bases de datos locales, la base de datos de “ecoinvent” versión 3.7 y los establecidos por el IPCC.

Cálculo de emisiones de GEI

Para el cálculo de emisiones se utilizaron factores de emisión que fueron establecidos a partir de información disponible en documentos técnicos de instituciones colombianas. Las ecuaciones utilizadas fueron las desarrolladas por el IPCC en 2006 con su última revisión y actualización en 2019.

Emisiones por consumo de Gas Licuado de Petróleo (GLP). Las emisiones resultantes del consumo de GLP están asociadas a la operación del montacargas y se cuantificaron a partir de la Ecuación 1. El factor de emisión fue tomado de la base de datos local FECOC (Unidad de Planeación Minero Energética [UPME], 2016).

$$ECC = (\sum \text{GLP} \times \text{FE}) / 1,000 \quad [1]$$

Donde:

ECC = Emisiones por consumo de combustible (toneladas de CO₂eq/año).

GLP = Consumo de GLP (kg/año).

FE = Factor de emisión por consumo de GLP genérico.

Emisiones por consumo de gas natural. Las emisiones asociadas al consumo de gas natural para operación de las torres de secado y la caldera se cuantificaron a partir de la Ecuación 2. El factor de emisión fue tomado de la base de datos local FECOC (UPME, 2016).

$$ECGN = (\sum \text{gas natural} \times \text{FE}) / 1,000 \quad [2]$$

Donde:

ECGN = Emisiones por consumo de gas natural (toneladas de CO₂eq/año).

Gas natural = Consumo de gas natural (m³/año).

FE = Factor de emisión por consumo de gas natural Antioquia.

Emisiones por uso de aceites lubricantes. Las emisiones asociadas al consumo de aceites lubricantes para mantenimiento de equipos se obtuvieron a partir de la Ecuación 3, utilizando el factor de emisión encontrado en la base de datos EFDB (IPCC, 2019).

$$ECL = (\sum \text{aceite lubricante} \times \text{FE}) / 1,000 \quad [3]$$

Donde:

ECL = Emisiones por consumo de lubricantes (toneladas de CO₂eq/año).

Aceite lubricante = Consumo de aceite lubricante (galones/año).

FE = Factor de emisión por consumo de aceites lubricantes.

Emisiones por disposición de aguas residuales domésticas. Las emisiones asociadas al proceso de disposición de aguas residuales domésticas fueron cuantificadas a partir de las Ecuaciones 4 y 5, utilizando el factor de emisión local (Pava, Villalba, Saavedra, Carrasco y Rodríguez, 2016).

$$ECH_4 = (\Sigma \text{ vertimientos domésticos tratados} \times FE) \quad [4]$$

Donde:

ECH_4 = Kg de CH_4 por año.

Vertimientos domésticos tratados = Vertimientos domésticos tratados (kg DBO/año).

FE = Factor de emisión para vertimientos domésticos tratados (PTAR aeróbica).

$$EVD = (ECH_4 \times GWP) / 1,000 \quad [5]$$

Donde:

EVD = Emisiones por vertimientos domésticos (toneladas de CO_2eq /por año).

ECH_4 = Kg de CH_4 por año.

GWP = Potencial de calentamiento global de CH_4 .

Emisiones por disposición de aguas residuales industriales. Las emisiones asociadas al proceso de disposición de aguas residuales industriales fueron cuantificadas a partir de las Ecuaciones 6 y 7, utilizando el factor de emisión local (Pava et al., 2016).

$$ECH_4 = (\Sigma \text{ vertimientos industriales tratados} \times FE) \quad [6]$$

Donde:

ECH_4 = Kg de CH_4 por año.

Vertimientos industriales tratados = Vertimientos industriales tratados (kg DQO/año).

FE = Factor de emisión para vertimientos industriales tratados (PTAR aeróbica).

$$EVI = (ECH_4 \times GWP) / 1,000 \quad [7]$$

Donde:

EVI = Emisiones por vertimientos industriales (toneladas de CO_2eq /año).

ECH_4 = Kg de CH_4 por año.

GWP = Potencial de calentamiento global de CH_4 .

Emisiones por residuos sólidos a relleno sanitario anaerobio. Las emisiones asociadas a la disposición de residuos sólidos en relleno sanitario anaerobio fueron cuantificadas a partir de las Ecuaciones 8 y 9, tomando el factor de emisión local (Pava et al., 2016).

$$ECH_4 = (\Sigma \text{ residuos sólidos a relleno sanitario anaerobio} \times FE) \quad [8]$$

Donde:

ECH_4 = Kg de CH_4 por año.

Residuos sólidos a relleno sanitario anaerobio = Generación de residuos (kg húmedos/año).

FE = Factor de emisión para rellenos sanitarios anaerobios.

$$ERRS = (ECH_4 \times GWP) / 1,000 \quad [9]$$

Donde:

ERRS = Emisiones de residuos a relleno sanitario (toneladas de CO_2eq /año).

E_{CH_4} = Kg de CH_4 por año.

GWP = Potencial de calentamiento global de CH_4 .

Emisiones por residuos sólidos peligrosos. Las emisiones asociadas a la disposición de residuos sólidos contaminados con químicos fueron cuantificadas a partir de la Ecuación 10, tomando el factor de emisión local (Pava et al., 2016).

$$ERI = (\Sigma \text{residuos sólidos con químicos} \times FE) / 1,000 \quad [10]$$

Donde:

ERI = Emisiones por residuos a incineración (toneladas de $CO_2eq/año$).

Residuos sólidos con químicos = Generación de residuos (kg/año).

FE = Factor de emisión para incineración de residuos industriales.

Emisiones por residuos sólidos contaminados con hidrocarburos. Las emisiones asociadas a la disposición de residuos sólidos contaminados con hidrocarburos fueron cuantificadas a partir de la Ecuación 11, tomando el factor de emisión local (Pava et al., 2016).

$$ERI = (\Sigma \text{residuos sólidos con hidrocarburos} \times FE) / 1,000 \quad [11]$$

Donde:

ERI = Emisiones por residuos a incineración (toneladas de $CO_2eq/año$).

Residuos sólidos con hidrocarburos = Generación de residuos (kg/año).

FE = Factor de emisión para incineración de residuos industriales.

Emisiones por residuos líquidos ácidos. Las emisiones asociadas a la disposición de residuos líquidos ácidos peligrosos fueron cuantificadas a partir de la Ecuación 12, tomando el factor de emisión local (Pava et al., 2016).

$$ERI = (\Sigma \text{residuos líquidos ácidos} \times FE) / 1,000 \quad [12]$$

Donde:

ERI = Emisiones por residuos a incineración (toneladas de $CO_2eq/año$).

Residuos líquidos ácidos = Generación de residuos (kg/año).

FE = Factor de emisión para incineración de residuos industriales.

Emisiones por residuos de grasas. Las emisiones asociadas a la disposición de residuos de grasas fueron cuantificadas a partir de la Ecuación 13, tomando el factor de emisión local (Pava et al., 2016).

$$ERI = (\Sigma \text{residuos de grasas} \times FE) / 1,000 \quad [13]$$

Donde:

ERI = Emisiones por residuos a incineración (toneladas de $CO_2eq/año$).

Residuos de grasas = Generación de residuos (kg/año).

FE = Factor de emisión para incineración de residuos industriales.

Emisiones por residuos de empaques contaminados. Las emisiones asociadas a la disposición de residuos de empaques contaminados (polietileno de baja densidad) fueron cuantificadas a partir de la Ecuación 14, tomando el factor de emisión local (Pava et al., 2016).

$$ERI = (\Sigma \text{ residuos de empaques contaminados} \times FE) / 1,000 \quad [14]$$

Donde:

ERI = Emisiones por residuos a incineración (toneladas de CO₂eq/año).

Residuos de empaques contaminados = Generación de residuos (kg/año).

FE = Factor de emisión para incineración de residuos industriales.

Emisiones por residuos de Equipos de Protección Personal (EPP) contaminados (polipropileno). Las emisiones asociadas a la disposición de residuos de EPP contaminados elaborados con polipropileno fueron cuantificadas a partir de la Ecuación 15, tomando el factor de emisión local (Pava et al., 2016).

$$ERI = (\Sigma \text{ residuos de EPP contaminados} \times FE) / 1,000 \quad [15]$$

Donde:

ERI = Emisiones por residuos a incineración (toneladas de CO₂eq/año).

Residuos de EPP contaminados = Generación de residuos (kg/año).

FE = Factor de emisión para incineración de residuos industriales.

Emisiones por residuos de luminaria. Las emisiones asociadas a la disposición de residuos de luminaria fueron cuantificadas a partir de la Ecuación 16, tomando el factor de emisión encontrado en literatura (Sangwan, Bhakar, Naik y Andrat, 2014).

$$ERL = (\Sigma \text{ residuos de luminarias} \times FE) / 1,000 \quad [16]$$

Donde:

ERL = Emisiones por residuos de luminaria (toneladas de CO₂eq/año).

Residuos de luminarias = Generación de residuos (kg/año).

FE = Factor de emisión de fabricación, uso y fin de vida para luminaria fluorescente.

Emisiones por residuos orgánicos contaminados. Las emisiones asociadas a la disposición de residuos de orgánicos contaminados (sílica) fueron cuantificadas a partir de la Ecuación 17, tomando el factor de emisión encontrado de las directrices para inventarios nacionales de gases de efecto invernadero del IPCC (Pipatti et al., 2006).

$$ERC = (\Sigma \text{ residuos orgánicos contaminados} \times FE) / 1,000 \quad [17]$$

Donde:

ERC = Emisiones por residuos a compostaje (toneladas de CO₂eq/año).

Residuos orgánicos contaminados = Generación de residuos (kg/año).

FE = Factor de emisión para compostaje.

Emisiones por residuos de acidificante en polvo. Las emisiones asociadas a la disposición de acidificante en polvo fueron cuantificadas a partir de la Ecuación 18, tomando el factor de emisión local (Pava et al., 2016).

$$ERI = (\Sigma \text{ residuos de acidificante en polvo} \times FE) / 1,000 \quad [18]$$

Donde:

ERI = Emisiones por residuos a incineración (toneladas de CO₂eq/año).

Residuos de acidificante en polvo = Generación de residuos (kg/año).

FE = Factor de emisión para incineración de residuos industriales.

Emisiones por residuos de Prokel Selenio 1%. Las emisiones asociadas a la disposición de Prokel Selenio 1% fueron cuantificadas a partir de la Ecuación 19, tomando el factor de emisión local (Pava et al., 2016).

$$ERI = (\Sigma \text{ residuos de Prokel Selenio 1\%} \times FE) / 1,000 \quad [19]$$

Donde:

ERI = Emisiones por residuos a incineración (toneladas de CO₂eq/año).

Residuos de Prokel Selenio 1% = Generación de residuos (kg/año).

FE = Factor de emisión para incineración de residuos industriales.

Emisiones por residuos de Adinox-L 2251. Las emisiones asociadas a la disposición de Adinox-L 2251 fueron cuantificadas a partir de la Ecuación 20, tomando el factor de emisión local (Pava et al., 2016).

$$ERI = (\Sigma \text{ residuos de Adinox-L 2251} \times FE) / 1,000 \quad [20]$$

Donde:

ERI = Emisiones por residuos a incineración (toneladas de CO₂eq/año).

Residuos de Adinox-L 2251 = Generación de residuos (kg/año).

FE = Factor de emisión para incineración de residuos industriales.

Emisiones por residuos de Formol. Las emisiones asociadas a la disposición de Formol fueron cuantificadas a partir de la Ecuación 21, tomando el factor de emisión local (Pava et al., 2016).

$$ERI = (\Sigma \text{ residuos de Formol} \times FE) / 1,000 \quad [21]$$

Donde:

ERI = Emisiones por residuos a incineración (toneladas de CO₂eq/año).

Residuos de Formol = Generación de residuos (kg/año).

FE = Factor de emisión para incineración de residuos industriales.

Emisiones por residuos de Brimopol. Las emisiones asociadas a la disposición de Brimopol fueron cuantificadas a partir de la Ecuación 22, tomando el factor de emisión local (Pava et al., 2016).

$$ERI = (\Sigma \text{ residuos de Brimopol} \times FE) / 1,000 \quad [22]$$

Donde:

ERI = Emisiones por residuos a incineración (toneladas de CO₂eq/año).

Residuos de Brimopol = Generación de residuos (kg/año).

FE = Factor de emisión para incineración de residuos industriales.

Emisiones por consumo de energía de la red. Las emisiones asociadas al consumo de energía proveniente de la red se cuantificaron a partir de la Ecuación 23, tomando el factor de emisión local para consumo energético de la red en Colombia (Pava et al., 2016).

$$ECE = (\Sigma \text{ consumo energético} \times FE) / 1,000 \quad [23]$$

Donde:

ECE = Emisiones por consumo de energía (toneladas de CO₂eq/año).

Consumo energético = Kwh/año.

FE = Factor de emisión de consumo energético de la red en Colombia.

Emisiones por consumo de energía de paneles solares. Las emisiones asociadas al consumo de energía proveniente de los paneles solares se cuantificaron a partir de la Ecuación 24. Tomando el factor de emisión correspondiente a módulos fotovoltaicos policristalinos de silicio en proyectos de energía renovable (de Wild-Scholten, 2013).

$$EPS = \Sigma \text{ consumo energético} \times FE \quad [24]$$

Donde:

EPS = Emisiones por paneles solares (toneladas de CO₂eq/año).

Consumo energético = Mwh/año.

FE = Factor de emisión de módulos fotovoltaicos policristalinos de silicio.

Emisiones por consumo de Diésel Las emisiones asociadas al consumo de diésel para transporte de operarios, empleados y residuos se cuantificaron a partir de la Ecuación 25, el factor de emisión fue tomado de la base de datos local FECOC (UPME, 2016).

$$ECD = (\Sigma \text{ Consumo de diésel} \times FE) / 1,000 \quad [25]$$

Donde:

ECD = Emisiones por consumo de diésel (toneladas de CO₂eq/año).

Consumo de diésel = Consumo de diésel (galones/año).

FE = Factor de emisión por consumo de Diésel.

Propuesta de medidas para reducción de emisiones GEI

La elaboración de la propuesta para reducción de emisiones se estructuró a partir de estudios similares, evaluando alternativas para reducir emisiones de GEI a nivel corporativo. Se realizó una búsqueda de estudios previos en las bases de datos de “Science Direct, SpringerLink, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), PubMed” utilizando palabras clave como: huella de carbono organizacional, emisiones de gases de efecto invernadero, aditivos alimenticios, consumo de energía, manejo de residuos industriales y los conectores booleanos “AND/OR”.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio tomó en cuenta las diferentes etapas para la producción de aditivos y otras actividades relacionadas a la operación completa del sistema. Dentro de esto se encuentra el transporte de los empleados a planta y el manejo de residuos sólidos y líquidos. Las etapas para la producción de aditivos son: (1) dosificación de materiales, (2) secado por atomización, (3) mezclado de líquidos, (4) mezclado de sólidos, (5) pesado y empaque y (6) almacén y distribución. Dentro de cada etapa se consideró la entrada de insumos y equipos utilizados. En la Figura 2 se observa el diagrama de flujo de las líneas de proceso de la empresa Aditivos y Químicos S.A.S, con sus respectivas entradas y salidas.

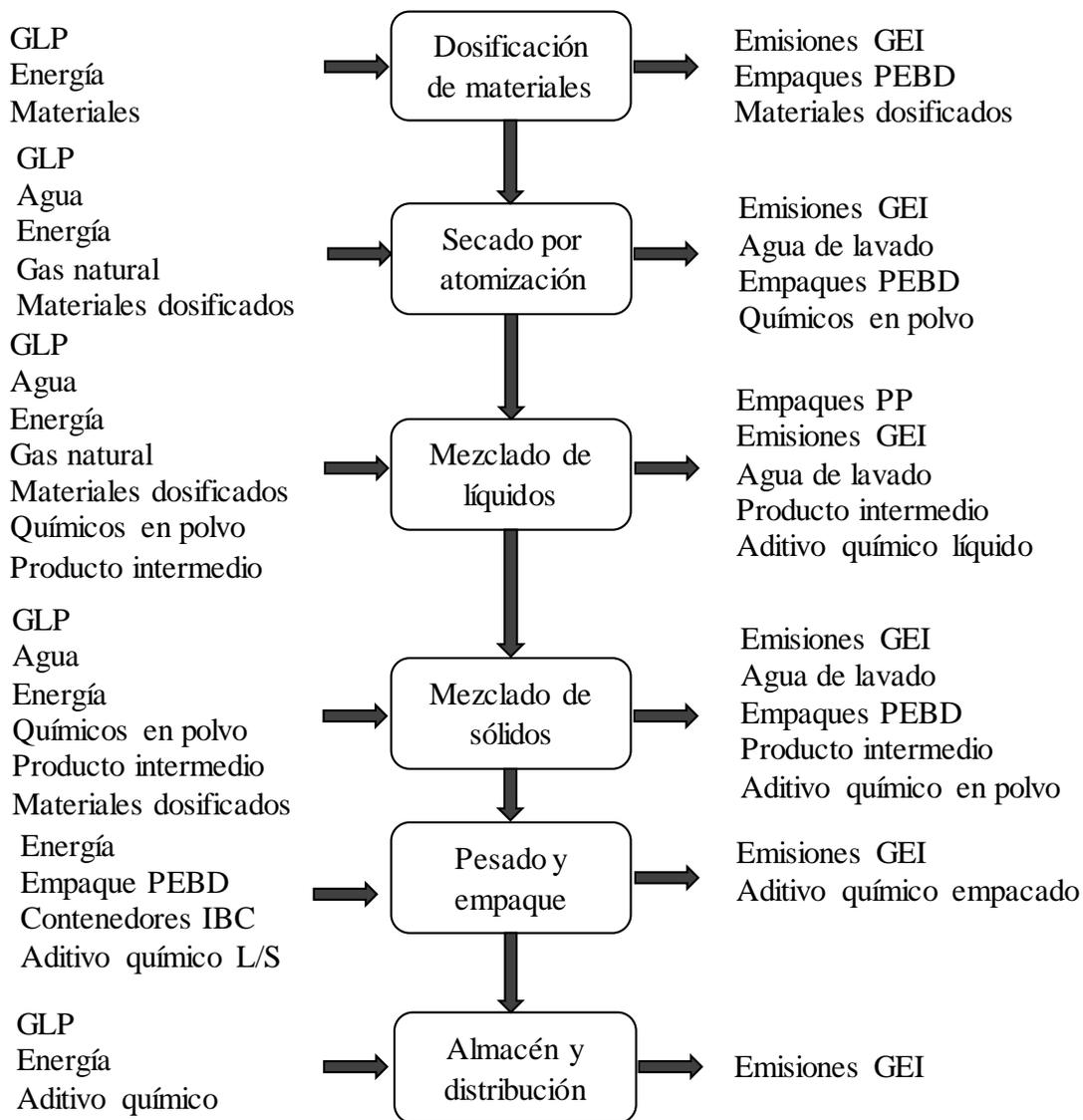


Figura 2. Diagrama de flujo de proceso de Aditivos y Químicos S.A.S.

Las emisiones totales de GEI durante el año 2019 para la empresa Aditivos y Químicos S.A.S fueron 1,897.2 toneladas de CO₂eq. La cuantificación de las emisiones se llevó a cabo bajo los lineamientos establecidos por el Protocolo de GEI, y dentro de los 3 alcances reglamentarios tal y como se muestran en los cuadros 1, 2 y 3. Se incluyeron las emisiones directas e indirectas de todos los procesos productivos de la empresa, desde la dosificación de materiales, las líneas de proceso de secado, mezclado de líquidos y sólidos, pesado, empaque, almacenamiento y distribución hasta el transporte de empleados, operarios y recolección de residuos.

En la Figura 3 se observa la contribución porcentual de cada alcance dentro del cálculo de GEI para la empresa ADIQUIM donde el Alcance 1 tiene la mayor contribución en el total de emisiones. El alcance 1 incluye las emisiones controladas por la empresa, donde se cuantificó el consumo de combustibles en proceso de producción. Bajan y Mrówczyńska-Kamińska (2020), concuerdan que la mayor contribución de emisiones en empresas agroindustriales proviene de la manufactura y procesamiento de materia prima. Schaltegger y Csutora (2012) mencionan que todos los procesos operacionales, el sistema energético, el diseño del producto y la producción, son fuentes importantes de emisiones directas e indirectas.

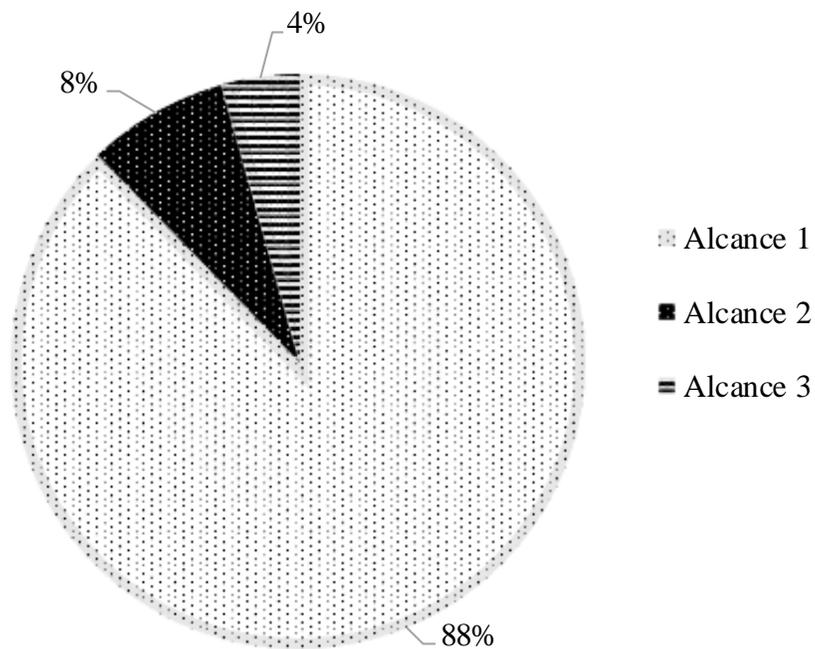


Figura 3. Contribución porcentual por alcance para emisiones GEI de empresa Aditivos y Químicos S.A.S.

En el Cuadro 1 se muestra el detalle de las emisiones que corresponden al Alcance 1, donde se incluyó el uso de combustibles, aceites lubricantes, vertimientos domésticos e industriales tratados y la gestión de residuos y devoluciones. El mayor contribuyente dentro del Alcance 1 fue el consumo de gas licuado de petróleo (GLP) que representa un 74.96% de las emisiones directas, que están ligadas a la operación de los montacargas en bodegas del área de logística. Este resultado coincide con lo concluido por Fuc et al. (2016), donde se destaca que el uso de montacargas

impulsados por GLP genera una serie de impactos ambientales negativos, con una emisión de gases GEI en mayor proporción a los montacargas impulsados por diésel. Johnson (2008), menciona que el uso de montacargas impulsados por GLP emite aproximadamente 47% más CO₂eq que los montacargas eléctricos. Por lo tanto, las emisiones provenientes de esta maquinaria son consideradas puntos críticos en los inventarios organizacionales; sin embargo, es el combustible más utilizado para montacargas en espacios cerrados, debido a la seguridad de uso de este tipo de combustible y el menor costo.

Cuadro 1. Alcance 1, Emisiones directas.

Categoría	Emisiones (Ton CO₂eq)	Contribución porcentual (%)
GLP genérico	1,248.445	74.965
Gas natural Antioquia	384.435	23.084
Aceites lubricantes	0.002	1.2E-04
Vertimientos domésticos tratados (PTAR aeróbica)	2.978	0.179
Vertimientos industriales tratados (PTAR aeróbica)	6.708	0.403
Residuos sólidos a relleno sanitario anaeróbico	6.296	0.378
Residuos sólidos contaminados con químicos	1.633	0.098
Residuos sólidos contaminados con hidrocarburos	0.001	8.3E-05
Residuos de grasas	0.779	0.047
Residuos líquidos ácidos	0.809	0.049
Residuos de empaques contaminados (polietileno baja densidad)	2.807	0.169
Residuos de Equipos de Protección Personal contaminado (polipropileno)	0.079	0.005
Residuos de Luminarias	0.011	0.001
Residuos orgánicos (silica)	6.937	0.417
Acidificante en polvo	0.076	0.005
Prokel Selenio 1%	2.829	0.170
Adinox-L 2251	0.193	0.012
Formol	0.052	0.003
Brimopol	0.298	0.018
Total Alcance 1	1,665.369	100.000

El segundo mayor contribuyente dentro del Alcance 1, con 23.08%, es el uso de gas natural de la operación de torres de secado por atomización y el funcionamiento de la caldera. Gowreesunker, Tassou y Atuonwu (2018), estimaron que las calderas consumen alrededor del 52% de la energía en la industria agroalimentaria, para procesos de secado, calentamiento de agua y calefacción. Por esto, representan una fuente importante de emisiones de CO₂eq que debe buscar opciones de mejoramiento en sus procesos productivos como la eficiencia del encendido.

La gestión de residuos peligrosos y ordinarios contribuye con un 0.58% al total de emisiones dentro del Alcance 1. ADIQUIM contrata los servicios de Ecologística S.A.S para la recolección de residuos industriales, tales como: residuos sólidos contaminados con material químico e hidrocarburos, líquidos, grasas, equipo de protección personal usado, luminarias y producto fuera de norma que ha sido devuelto a la empresa. Ecologística S.A.S en asociación con Tecniamsa, se hacen cargo del tratamiento de los residuos peligrosos en incineradores industriales y disposición final en celdas de seguridad. Los residuos orgánicos están compuestos por las barreduras en general y colectores de polvo en planta y son dispuestos por la empresa Aborgan S.A.S quienes elaboran mezclas de compostaje. Los residuos ordinarios, provenientes de las oficinas y el comedor son dispuestos por la empresa Aquaterra E.S.P, quienes se encargan de la disposición de residuos ordinarios en el relleno sanitario La Pradera.

La contribución porcentual dentro del Alcance 1 que corresponde a los residuos tratados mediante incineración fue de 0.57%. Mientras que la contribución porcentual dentro del Alcance 1 de los residuos a relleno sanitario y a compostaje fue de 0.38 y 0.42%, respectivamente. Estos resultados contradicen lo expuesto por Xin, Zhang, Tsai, Zhai y Wang (2020) que mencionan que el relleno sanitario en comparación con la incineración y el compostaje es el mayor generador de emisiones de GEI. Sin embargo, de acuerdo con Lee et al. (2017), los procesos de clasificación y estrategias de gestión de residuos sólidos dentro de la empresa son un punto clave para la reducción de emisiones provenientes de la disposición final de residuos.

El aporte dentro del alcance 1 que se atribuye al tratamiento de efluentes domésticos e industriales tratados es de un 0.58%, estos efluentes son tratados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) En un estudio realizado por Liao, Tian, Gan y Ji (2020) determinaron que la cantidad de emisiones de GEI en sistemas de tratamientos está estrechamente relacionada a la energía que demanda el sistema y los procesos biológicos de degradación. El tratamiento de agua residuales contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero de acuerdo con Bao, Sun y Sun. (2016), quienes mencionan el importante papel del CH₄ con su potencial de calentamiento global que es 28 veces mayor que el de CO₂ y se produce mayoritariamente en los sistemas de alcantarillado durante el tratamiento. De igual forma la fracción de CH₄ que se genera a partir de los tratamientos biológicos de lodos activados, es un elemento importante que amerita ser estudiado a profundidad. Las aguas residuales domésticas e industriales tratadas en la PTAR representan el 0.18 y 0.40%, respectivamente, en el alcance 1.

En el Cuadro 2 se muestra el detalle de las emisiones indirectas que corresponden al Alcance 2, que incluyen el consumo de energía eléctrica proveniente de la red y la generación eléctrica a partir de paneles solares fotovoltaicos. El consumo de energía eléctrica de la red representa el 99.90% de las emisiones indirectas dentro del alcance y el 7.88% de las emisiones totales de la empresa. De acuerdo con Nieves, Aristizábal, Dyner, Báez y Ospina (2019), el sector industrial colombiano es el más diverso en términos de fuentes energéticas. Sin embargo, el uso intensivo de calor y energía proveniente de combustibles fósiles lo posiciona como el segundo con la mayor demanda energética después del sector de transporte. La generación de energía a partir de paneles solares representó un 0.10% dentro del alcance. Según Karwacka, Czurzyńska, Lenart y Janowicz (2020), una de las modificaciones para la industria alimentaria es la implementación de tecnologías que respalden la optimización de la producción. Esto se puede lograr a través de la incorporación de fuentes de energía renovable como una alternativa que contribuye reducir las emisiones provenientes de la energía convencional.

Cuadro 2. Alcance 2, Emisiones indirectas.

Categoría	Emisiones (Ton CO₂eq)	Contribución porcentual (%)
Energía eléctrica de red	149.562	99.90
Energía eléctrica alternativa (paneles solares)	0.151	0.10
Total Alcance 2	111.086	100.00

En el Cuadro 3 se muestra el detalle de las emisiones indirectas que corresponden al Alcance 3, donde se incluyó el consumo de diésel del transporte contratado para operarios de planta y empleados en oficinas. Adicionalmente, se incluyó el consumo de diésel del transporte de cada empresa contratada para la gestión de residuos. La contribución de emisiones relacionadas al transporte de operarios de planta es de 49.76% y un 36.16% se atribuye al transporte de empleados de oficina, la diferencia entre los porcentajes radica en la distancia recorrida, número de empleados que se transportan y días laborales. Nieves et al. (2019) afirman que la principal fuente de energía en el sector de transporte en Colombia es el diésel, que se traduce indirectamente en un mayor número de emisiones GEI.

El transporte de residuos hacia los diferentes sitios de tratamiento y disposición representan el 14.07% de las emisiones correspondiente alcance 3, y un 0.6% de las emisiones totales de la empresa, que coincide con la información presentada por Kılıç, Puig, Zengin, Zengin y Fullana-i-Palmer (2018) donde el 1% de las emisiones totales de la empresa correspondían al transporte de residuos sólidos a los sitios de disposición y tratamiento.

Cuadro 3. Alcance 3, otras Emisiones indirectas.

Categoría	Emisiones (Ton CO₂eq)	Contribución porcentual (%)
Transporte operarios de planta	40.860	49.766
Transporte de trabajadores en oficinas	29.686	36.157
Transporte residuos Ecológica	8.877	10.812
Transporte residuos Aborgán	1.965	2.393
Transporte residuos Aquaterra	0.716	0.872
Total Alcance 3	82.104	100.00

Gerbens-Leenes y Holtz en 2020 afirman que las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del transporte se deben al uso de combustibles fósiles como la gasolina y el diésel. A nivel mundial el transporte es responsable del 23% del total de emisiones de CO₂, lo que significa que es un sector que amerita la aplicación de cambios para la reducción de emisiones. El sector del transporte además de representar un importante consumo energético a nivel mundial es uno de los mayores contribuyentes a las emisiones de CO₂ por su gran dependencia a los combustibles convencionales como diésel y poco uso de energías renovables (Navas-Anguita, García-Gusano e Iribarren, 2019). Debido a que la industria química y alimentaria, como casi todos los demás sectores, requieren una cantidad relativamente grande de servicios de energía y transporte que son los principales responsables de las emisiones de carbono en toda la economía (Bajan y

Mrówczyńska-Kamińska, 2020). En este contexto, se deben buscar estrategias de mejora y uso de alternativas ligadas a la promoción de transportes más eficientes. Esto se hace evidente en lo que respecta a las emisiones de carbono en los países en los que este sector exhibe gran proporción de la producción total de la agroindustria, como el caso de Colombia, donde existe una necesidad creciente de renovación del parque automotor (SIAC, 2020).

Estrategias de reducción

El uso de montacargas para el movimiento de materiales y productos en bodega representa una de las principales fuentes de emisión en la industria de alimentos. Según análisis realizados por Johnson (2008) el uso de montacargas a base de GLP está relacionado con la habilidad de mantener una potencia de trabajo constante, y por lo tanto hacer más eficientes los procesos dentro de las bodegas. La sustitución de montacargas a base de GLP por montacargas eléctricos, según Boenzi, Digiesi, Facchini y Mummmolo (2017), tiene ventajas ambientales por la reducción de las emisiones de GEI. Adicionalmente, se considera el desarrollo de estrategias de direccionamiento ambiental que permitan garantizar la eficiencia de los procesos de almacenaje y reducir el uso de combustible para el funcionamiento de los montacargas. Dentro de estas estrategias se deben considerar, (a) la organización de rutas internas, y (b) la adopción de políticas que permitan minimizar el movimiento para el manejo del material.

Lin y Xie (2016), afirman que las emisiones de carbono provenientes de la industria alimentaria están ligadas al proceso productivo de la misma. El consumo de gas natural en la industria colombiana representa el 28% (UPME, 2017) y en el caso de ADIQUIM S.A.S el uso de gas natural está vinculado a las torres de secado por atomización. Cheng, Zhou y Liu (2018) determinaron que algunas de las estrategias para reducir el consumo de gas natural en procesos de secado por atomización es incluir medidas de control durante la operación. Dentro de estas medidas se encuentran la limpieza de las torres antes y después del proceso de secado, lineamientos de optimización para determinar la cantidad de material que se introduce a la torre de secado, esto con el fin de aprovechar al máximo la capacidad de secado. La optimización y control de procesos internos en la planta de producción permitirán aumentar la eficiencia en el uso de recursos y, por lo tanto, reducir las emisiones de GEI.

4. CONCLUSIONES

- El cálculo de la huella de carbono a nivel organizacional dio lugar a la identificación de entradas como el uso de combustibles, empaques, materia prima, energía y agua. Las salidas identificadas fueron los vertimientos y residuos domésticos e industriales y emisiones directas e indirectas.
- El resultado obtenido de las emisiones directas e indirectas de GEI para las operaciones de la empresa Aditivos y Químicos S.A.S durante el año 2019 fue de 1,897.2 toneladas de CO₂eq. Se determinó como punto crítico la operación del montacargas de GLP, que representa el mayor porcentaje del total de emisiones dentro del cálculo.
- La revisión de estrategias de direccionamiento ambiental para la reducción del uso de combustibles contribuiría a la reducción de emisiones GEI de los procesos productivos de la empresa Aditivos y Químicos S.A.S. Se estimó una reducción de 586 toneladas de CO₂eq con la sustitución de montacargas de GLP por montacargas eléctricas.

5. RECOMENDACIONES

- En futuras estimaciones de la huella de carbono incorporar dentro del Alcance 3 el consumo de combustibles del transporte en exportaciones e importaciones, vuelos de trabajo, cadena de suministros y vehículos de empleados para obtener un cálculo completo de las emisiones de la empresa Aditivos y Químicos S.A.S.
- Validar prácticas de limpieza en planta de proceso, haciendo un uso eficiente de los materiales, maquinaria y recursos con la finalidad de reducir desperdicios que aumentan la cantidad de residuos generados. De igual forma el involucramiento de los empleados como actores importantes para el cumplimiento de las estrategias de reducción, representa un factor clave para alcanzar las metas corporativas.
- Evaluar financieramente la sustitución de los montacargas de GLP en bodegas de logística por montacargas eléctricos y el cambio de luminarias fluorescentes por luminarias LED para reducir el consumo de combustibles y energía que se traduce en una disminución en emisiones de GEI de la empresa Aditivos y Químicos S.A.S.

6. LITERATURA CITADA

- Aditivos y Químicos S.A.S. (s.f.). Perfil corporativo ADIQUIM S.A.S. *Sitio web de ADIQUIM S.A.S.* Recuperado de: <https://adiquim.com/#corporativo>.
- Awanthi, M. G. G., Navaratne, C. M. (2018). Carbon Footprint of an Organization: a Tool for Monitoring Impacts on Global Warming. *Procedia Engineering*, 212, 729–735. doi: 10.1016/j.proeng.2018.01.094.
- Bajan, B. y Mrówczyńska-Kamińska, A. (2020). Carbon footprint and environmental performance of agribusiness production in selected countries around the world. *Journal of Cleaner Production*, 276. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123389.
- Bao, Z., Sun, S. y Sun, D. (2016). Assessment of greenhouse gas emission from A/O and SBR wastewater treatment plants in Beijing, China. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 108, 108–114. doi: 10.1016/j.ibiod.2015.11.028.
- Boenzi, F., Digiesi, S., Facchini, F. y Mummolo, G. (2017). *Electric and LPG forklifts GHG assessment in material handling activities in actual operational conditions*. Presentado en la IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics, Bari, Italia. doi: 10.1109/SOLI.2017.8120982.
- Cheng, F., Zhou, X. y Liu, Y. (2018). Methods for Improvement of the Thermal Efficiency during Spray Drying. *E3S Web of Conferences*, 53, 4–6. doi: 10.1051/e3sconf/20185301031.
- Cury, K., Aguas, Y., Martinez, A., Olivero, R. y Chams, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal* 9(S1), 122–132. doi: 10.24188/recia.v9.nS.2017.530.
- Fuc, P., Kurczewski, P., Lewandowska, A., Nowak, E., Selech, J. y Ziolkowski, A. (2016). An environmental life cycle assessment of forklift operation: a well-to-wheel analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(10), 1438–1451. doi: 10.1007/s11367-016-1104-y.
- Gerbens-Leenes, W. y Holtz, K. (2020). Consequences of Transport Low-Carbon Transitions and the Carbon, Land and Water Footprints of Different Fuel Options in The Netherlands. *Water*, 12(7). doi: 10.3390/w12071968.
- Gowreesunker, B., Tassou, S. y Atuonwu, J. (2018). Cost-Energy Optimum Pathway for the UK Food Manufacturing Industry to Meet the UK National Emission Targets. *Energies*, 11(10). doi: 10.3390/en11102630.
- Gunarathne, A. N. y Lee, K.-H. (2019). Environmental and managerial information for cleaner production strategies: An environmental management development perspective. *Journal of Cleaner Production*, 237. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.117849.
- Hickmann, T. (2017). Voluntary global business initiatives and the international climate negotiations: A case study of the Greenhouse Gas Protocol. *Journal of Cleaner Production*, 169, 94–104. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.06.183.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2018). Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and

- related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Recuperado de http://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2006). Lubricants emission factors. *Sitio web del Emission Factor Data Bases [EFDB]*. Recuperado de: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef_ft.php.
- Johnson, E. (2008). Disagreement over carbon footprints: A comparison of electric and LPG forklifts. *Energy Policy*, 36(4), 1569–1573. doi: 10.1016/j.enpol.2008.01.014.
- Karwacka, M., Ciurzyńska, A., Lenart, A. y Janowicz, M. (2020). Sustainable Development in the Agri-Food Sector in Terms of the Carbon Footprint: A Review. *Sustainability*, 12(16). doi: 10.3390/su12166463.
- Kılıç, E., Puig, R., Zengin, G., Zengin, C. A. y Fullana-i-Palmer, P. (2018). Corporate carbon footprint for country Climate Change mitigation: A case study of a tannery in Turkey. *Science of the Total Environment*, 635, 60–69. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.111.
- Leach, A. M., Emery, K. A., Gephart, J., Davis, K. F., Willem, J., Leip, A., Pace, M. L., Odorico, P. D., Carr, J., Cattell, L., Castner, E. y Galloway, J. N. (2016). Environmental impact food labels combining carbon, nitrogen, and water footprints. *Journal of food policy*, 61, 213–223. doi: 10.1016/j.foodpol.2016.03.006.
- Lee, C. T., Hashim, H., Ho, C. S., Fan, Y. Van, y Klemeš, J. J. (2017). Sustaining the low-carbon emission development in Asia and beyond: Sustainable energy, water, transportation and low-carbon emission technology. *Journal of Cleaner Production*, 146, 1–13. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.11.144.
- Liao, X., Tian, Y., Gan, Y. y Ji, J. (2020). Quantifying urban wastewater treatment sector's greenhouse gas emissions using a hybrid life cycle analysis method – An application on Shenzhen city in China. *Science of the Total Environment*, 745. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141176.
- Li, Z., Sun, Z., Chen, Y., Li, C., Pan, Z., Harby, A., Lv, P., Chen, D. y Guo, J. (2020): The net GHG emissions of the China Three Gorges Reservoir: I. Pre-impoundment GHG inventories and carbon balance. *Journal of Cleaner Production* 256. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120635.
- Lin, B. y Xie, X. (2016). CO₂ emissions of China's food industry: an input–output approach. *Journal of Cleaner Production*, 112, 1410–1421. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.06.119.
- Navas-Anguita, Z., García-Gusano, D. e Iribarren, D. (2019). A review of techno-economic data for road transportation fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, 11–26. doi: 10.1016/j.rser.2019.05.041.
- Nieves, J. A., Aristizábal, A. J., Dynner, I., Báez, O. y Ospina, D. H. (2019). Energy demand and greenhouse gas emissions analysis in Colombia: A LEAP model application. *Energy*, 169, 380–397. doi: 10.1016/j.energy.2018.12.051.
- Pava, M., Villalba, D., Saavedra, F., Carrasco, J. y Rodríguez, W. (2016). *Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa MVC Colombia*. Recuperado de: <https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/>

- huella_carbono/feb12/18Anexo_17Factores_emision_herramienta_MCV_V6.pdf.
- Pipatti, R., Silva, J. W., Gao, Q., López, C., Mareckova, K., Oonk, H., ... Yamada, M. (2006). Chapter 4: Biological treatment of solid waste.
- Ranganathan, J.; Moorcroft, D.; Koch, J.; Bhatia, P: Protocolo de Gases de Efecto Invernadero. *Sitio Web del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero*. Recuperado de: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/protocolo_spanish.pdf.
- Sangwan, K. S., Bhakar, V., Naik, S. y Andrat, S. N. (2014). Life Cycle Assessment of Incandescent, Fluorescent, Compact Fluorescent and Light Emitting Diode Lamps in an Indian Scenario. *Procedia CIRP*, 15, 467–472. doi: 10.1016/j.procir.2014.06.017.
- Schaltegger, S. y Csutora, M. (2012). Carbon accounting for sustainability and management. Status quo and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 36, 1–16. doi: 10.1016/j.jclepro.2012.06.024.
- Sistema de Información Ambiental de Colombia [SIAC]. (s.f.). Gases de Efecto Invernadero, GEI. *Sitio web del Sistema de Información Ambiental de Colombia [SIAC]*. Recuperado de: <http://www.siac.gov.co/climaticogei>.
- Unidad de Planeación Minero-Energética [UPME]. (2016). Total de emisiones CO₂ calculadas. *Sitio web del Factores de Emisión para Combustibles Colombianos [FECOC]*. Recuperado de: http://www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/calculadora.html.
- de Wild-Scholten, M. J. (2013). Energy payback time and carbon footprint of commercial photovoltaic systems. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 119, 296–305. doi: 10.1016/j.solmat.2013.08.037.
- Xin, C., Zhang, T., Tsai, S.-B., Zhai, Y.-M. y Wang, J. (2020). An Empirical Study on Greenhouse Gas Emission Calculations Under Different Municipal Solid Waste Management Strategies. *Applied Sciences*, 10(5). doi: 10.3390/app10051673.

7. ANEXOS

Anexo 1. Cálculo de emisiones Alcance 1.

Fuentes de emisión de GEI			Cálculo de huella de carbono organizacional (ton CO ₂ equivalente)							
Alcance 1	Fuentes móviles, fijas y de proceso	Unidades	Total anual	Factor de emisión		Potencial de Calentamiento Global	Kg CO ₂ /año	Ton CO ₂ /año	Contribución % dentro de alcance	% cada alcance
				(kg CO ₂)	(kg CH ₄)					
Emisiones directas	GLP genérico	Kg	409,191.96	3.051			1,248,444.670	1,248.445	0.750	74.965
	Gas natural Antioquia	m3	197,999.25	1.942			384,435.344	384.435	0.231	23.084
	Aceites lubricantes	Gal	9.96	0.200			1.992	0.002	1.2E-06	1.2E-04
	Vertimientos domésticos tratados (PTAR aeróbica)	kg DBO	177.24		0.600	28.000	2,977.632	2.978	0.002	0.179
	Vertimientos industriales tratados (PTAR aeróbica)	kg DQO	958.32		0.250	28.000	6,708.240	6.708	0.004	0.403
	Residuos sólidos a relleno sanitario anaeróbico	kg húmedos	4,088.00		0.055	28.000	6,295.520	6.296	0.004	0.378
	Residuos sólidos contaminados con químicos	Kg	1,183.48	1.380			1,633.202	1.633	0.001	0.098
	Residuos sólidos contaminados con hidrocarburos	Kg	1.00	1.380			1.380	0.001	8.3E-07	8.3E-05
	Residuos de grasas	Kg	1,343.00	0.580			778.940	0.779	4.7E-04	0.047
	Residuos líquidos ácidos	Kg	1,394.66	0.580			808.903	0.809	4.9E-04	0.049
	Residuos de empaques contaminados (polietileno baja densidad)	Kg	2,034.40	1.380			2,807.472	2.807	0.002	0.169
	Residuos de Equipos de Protección Personal contaminado (polipropileno)	Kg	57.38	1.380			79.184	0.079	4.8E-05	0.005
	Residuos de Luminarias	Kg	6.27	1.782			11.170	0.011	6.7E-06	0.001
	Residuos orgánicos (silica)	Kg	12,387.00		0.020	28.000	6,936.720	6.937	0.004	0.417
	Acidificante en polvo	Kg	55.00	1.380			75.900	0.076	4.6E-05	0.005
	Prokel Selenio 1%	Kg	2,050.00	1.380			2,829.000	2.829	0.002	0.170
	Adinox-L 2251	Kg	140.00	1.380			193.200	0.193	1.2E-04	0.012
	Formol	Kg	37.70	1.380			52.026	0.052	3.1E-05	0.003
Brimopol	Kg	216.00	1.380			298.080	0.298	1.8E-04	0.018	
Total emisiones alcance 1							1,665.369	1.00	100.00	

Anexo 2. Cálculo de emisiones Alcance 2.

Alcance 2	Consumo de energía eléctrica	Unidades	Total anual	Factor de emisión (Kg CO ₂)	Factor de emisión (Gr CO ₂)	Kg CO ₂ /año	Ton CO ₂	Contribución % dentro de alcance	% cada alcance
Emisiones indirectas	Energía eléctrica de red	Kwh	751,569.86	0.20		149,562.40	149.562	1.00	99.899
	Energía eléctrica alternativa (paneles solares)	Mwh	122,148.68		1.24	151.46	0.151	1.0E-03	0.101
					Total emisiones alcance 2			149.714	1.00

Anexo 3. Cálculo de emisiones Alcance 3.

Alcance 3	Fuentes móviles y transporte	Unidades	Total anual	Factor de emisión (kg CO ₂)	Kg CO ₂ /año	Ton CO ₂	Contribución % dentro de alcance	% cada alcance
Otras emisiones indirectas	Transporte operarios de planta (ACPM)	gal	4026	10.149	40859.874	40.860	0.498	49.766
	Transporte trabajadores de oficinas (ACPM)	gal	2925	10.149	29685.825	29.686	0.362	36.157
	Transporte residuos Ecológica (ACPM)	gal	874.703	10.149	8877.358	8.877	0.108	10.812
	Transporte residuos Aborgan (ACPM)	gal	193.572	10.149	1964.562	1.965	0.024	2.393
	Transporte residuos Aquaterra (ACPM)	gal	70.552	10.149	716.034	0.716	0.009	0.872
					Total emisiones alcance 3		82.104	1.00

Anexo 4. Factores de emisión con referencia.

Factores de emisión con referencia			
GLP genérico	3.05	Kg CO ₂ /kg	Unidad de Planeación Minero-Energética [UPME]. (2016). Total de emisiones CO ₂ calculadas. <i>Sitio web del Factores de Emisión para Combustibles Colombianos [FECOC]</i> . Recuperado de: http://www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/calculadora.html .
Gas natural Antioquia	1.94	Kg CO ₂ /m ³	Unidad de Planeación Minero-Energética [UPME]. (2016). Total de emisiones CO ₂ calculadas. <i>Sitio web del Factores de Emisión para Combustibles Colombianos [FECOC]</i> . Recuperado de: http://www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/calculadora.html .
Aceites lubricantes	0.20	Kg CO ₂ /gal	Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2006). Lubricants emission factors. <i>Sitio web del Emission Factor Data Bases [EFDB]</i> . Recuperado de: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef_ft.php .
Vertimientos domésticos tratados (PTAR aeróbica)	0.60	Kg CH ₄ /kg DBO	Pava, M., Villalba, D., Saavedra, F., Carrasco, J. y Rodríguez, W. (2016). <i>Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa MVC Colombia</i> . Recuperado de: https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/feb12/18Anexo_17Factores_emision_herramienta_MCV_V6.pdf .

Continuación Anexo 4.

Vertimientos industriales tratados (PTAR aeróbica)	0.25	Kg CH ₄ /kg DQO	Pava, M., Villalba, D., Saavedra, F., Carrasco, J. y Rodríguez, W. (2016). <i>Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa MVC Colombia</i> . Recuperado de: https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/feb12/18Anexo_17Factores_emision_herramienta_MCV_V6.pdf .
Residuos sólidos a relleno sanitario anaeróbico	0.05	Kg CH ₄ /kg húmedos	Pava, M., Villalba, D., Saavedra, F., Carrasco, J. y Rodríguez, W. (2016). <i>Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa MVC Colombia</i> . Recuperado de: https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/feb12/18Anexo_17Factores_emision_herramienta_MCV_V6.pdf .
Residuos sólidos contaminados con químicos	1.38	Kg CO ₂ /kg	Pava, M., Villalba, D., Saavedra, F., Carrasco, J. y Rodríguez, W. (2016). <i>Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa MVC Colombia</i> . Recuperado de: https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/feb12/18Anexo_17Factores_emision_herramienta_MCV_V6.pdf .
Residuos sólidos contaminados con hidrocarburos	1.38	Kg CO ₂ /kg	Pava, M., Villalba, D., Saavedra, F., Carrasco, J. y Rodríguez, W. (2016). <i>Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa MVC Colombia</i> . Recuperado de: https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/feb12/18Anexo_17Factores_emision_herramienta_MCV_V6.pdf .
Residuos de grasas	1.38	Kg CO ₂ /kg	Pava, M., Villalba, D., Saavedra, F., Carrasco, J. y Rodríguez, W. (2016). <i>Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa MVC Colombia</i> . Recuperado de: https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/feb12/18Anexo_17Factores_emision_herramienta_MCV_V6.pdf .
Residuos líquidos ácidos	1.38	Kg CO ₂ /kg	Pava, M., Villalba, D., Saavedra, F., Carrasco, J. y Rodríguez, W. (2016). <i>Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa MVC Colombia</i> . Recuperado de: https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/feb12/18Anexo_17Factores_emision_herramienta_MCV_V6.pdf .
Residuos de empaques contaminados (polietileno baja densidad)	1.38	Kg CO ₂ /kg	Pava, M., Villalba, D., Saavedra, F., Carrasco, J. y Rodríguez, W. (2016). <i>Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa MVC Colombia</i> . Recuperado de: https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/feb12/18Anexo_17Factores_emision_herramienta_MCV_V6.pdf .
Residuos de Equipos de Protección Personal contaminado	1.38	Kg CO ₂ /kg	Pava, M., Villalba, D., Saavedra, F., Carrasco, J. y Rodríguez, W. (2016). <i>Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa MVC Colombia</i> . Recuperado de: https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/feb12/18Anexo_17Factores_emision_herramienta_MCV_V6.pdf .
Residuos Luminarias	1.78	Kg CO ₂ /kg	Sangwan, K. S., Bhakar, V., Naik, S. y Andrat, S. N. (2014). Life Cycle Assessment of Incandescent, Fluorescent, Compact Fluorescent and Light Emitting Diode Lamps in an Indian Scenario. <i>Procedia CIRP</i> , 15, 467–472. doi: 10.1016/j.procir.2014.06.017.

Continuación Anexo 4.

Residuos orgánicos (Sílica)	0.02	Kg CH ₄ /kg	Pipatti, R., Silva Alves, J. W., Gao, Q., López Cabrera, C., Mareckova, K., Oonk, H., ... Yamada, M. (2019). Chapter 4: Biological treatment of solid waste.
Acidificante en polvo	1.38	Kg CO ₂ /kg	Pava, M., Villalba, D., Saavedra, F., Carrasco, J. y Rodríguez, W. (2016). <i>Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa MVC Colombia</i> . Recuperado de: https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/feb12/18Anexo_17Factores_emision_herramienta_MCV_V6.pdf .
Prokel Selenio 1%	1.38	Kg CO ₂ /kg	Pava, M., Villalba, D., Saavedra, F., Carrasco, J. y Rodríguez, W. (2016). <i>Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa MVC Colombia</i> . Recuperado de: https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/feb12/18Anexo_17Factores_emision_herramienta_MCV_V6.pdf .
Adinox-L 2251	1.38	Kg CO ₂ /kg	Pava, M., Villalba, D., Saavedra, F., Carrasco, J. y Rodríguez, W. (2016). <i>Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa MVC Colombia</i> . Recuperado de: https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/feb12/18Anexo_17Factores_emision_herramienta_MCV_V6.pdf .
Formol	1.38	Kg CO ₂ /kg	Pava, M., Villalba, D., Saavedra, F., Carrasco, J. y Rodríguez, W. (2016). <i>Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa MVC Colombia</i> . Recuperado de: https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/feb12/18Anexo_17Factores_emision_herramienta_MCV_V6.pdf .
Brimopol	1.38	Kg CO ₂ /kg	Pava, M., Villalba, D., Saavedra, F., Carrasco, J. y Rodríguez, W. (2016). <i>Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa MVC Colombia</i> . Recuperado de: https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/feb12/18Anexo_17Factores_emision_herramienta_MCV_V6.pdf .
Energía eléctrica de red	0.20	Kg CO ₂ /kwh	Pava, M., Villalba, D., Saavedra, F., Carrasco, J. y Rodríguez, W. (2016). <i>Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa MVC Colombia</i> . Recuperado de: https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/feb12/18Anexo_17Factores_emision_herramienta_MCV_V6.pdf .
Energía eléctrica alternativa (paneles solares)	1.24	Gr CO ₂ /mwh	de Wild-Scholten, M. J. (2013). Energy payback time and carbon footprint of commercial photovoltaic systems. <i>Solar Energy Materials and Solar Cells</i> , 119, 296–305. doi: 10.1016/j.solmat.2013.08.037.
Transporte contratado (diésel)	10.15	Kg CO ₂ /gal	Unidad de Planeación Minero-Energética [UPME]. (2016). Total de emisiones CO ₂ calculadas. <i>Sitio web del Factores de Emisión para Combustibles Colombianos [FECOC]</i> . Recuperado de: http://www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/calculadora.html .