



FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS

DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA PLANTA DE  
ABONOS CHÁVEZ-MIÑO



AUTOR

Elsa Pamela Rivadeneira Benítez

AÑO

2017



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

**DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA PLANTA DE  
ABONOS CHÁVEZ-MIÑO**

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de Ingeniería Ambiental en Prevención y  
Remediación

Profesor Guía

PhD. Francisco Javier Domínguez Rodríguez

Autora

Elsa Pamela Rivadeneira Benítez

Año

2017

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con la estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”



---

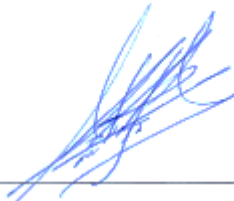
Francisco Javier Domínguez Rodríguez

PhD. Ingeniería Química Mención Superficies y Catálisis

CI.: 1757153737

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping, fluid strokes, positioned above a horizontal line.

---

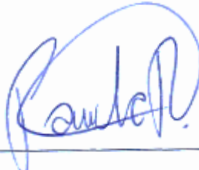
Santiago Daniel Piedra Burgos

Master. Hydroscience and Engineering

CI.: 1715384150

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”.



Elsa Pamela Rivadeneira Benítez

CI.: 1003477146

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi profesor guía Francisco Domínguez, a mi profesor corrector Santiago Piedra y a mi asesor externo César Carreño por el tiempo y ayuda dedicados durante la realización del presente proyecto. Agradezco también a la empresa Abonos Chávez y Miño por la colaboración prestada para desarrollar este proyecto.

## **DEDICATORIA**

A Dios por llenar mi vida de bendiciones. A mis padres Guido y Amparito, que han guiado cada uno de mis pasos, por enseñarme que todo sacrificio tiene su recompensa y a mi hermano que me ha dado el ejemplo de responsabilidad y constancia.

## RESUMEN

La huella de carbono es un indicador ambiental que cuantifica las emisiones e inmisiones de los gases de efecto invernadero y se utiliza adicionalmente para medir el impacto causado por el desarrollo de actividades antrópicas.

La concientización de gobiernos, organizaciones e instituciones los ha llevado a indagar en la información de los distintos procesos productivos, en los cuales se emiten contaminantes a diferentes escalas. El presente proyecto tiene como objetivo determinar la huella de carbono del ciclo de vida parcial del compost para utilizarla como una herramienta que evidencie los procesos sustentables de la empresa Abonos Chávez y Miño SCA.

La determinación de la huella de carbono se realizó aplicando la especificación PAS 2050, con el principio *cradle to gate*, que establece el estudio de la huella de carbono desde la obtención de la materia prima hasta que el producto llega a manos del cliente. Además, se utilizó como base para la realización de los cálculos las Directrices del IPCC para inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Se estableció el período de inventario desde septiembre del 2015 hasta agosto del 2016 y adicionalmente se establecieron las etapas y actividades que se desarrollan durante la producción del compost, y las fuentes de emisiones directas e indirectas.

Como resultado, la huella de carbono del ciclo de vida parcial del compost fue de 498.25 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, donde las principales fuentes de generación fueron las biopilas, representando el 48.77% de la huella de carbono. Por lo tanto se estableció como proceso crítico al tratamiento de la materia orgánica. La empresa Abonos Chávez y Miño emite 0.39 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente durante la producción de una tonelada de abono orgánico.



## ABSTRACT

The carbon footprint is an environmental indicator that quantifies the emissions and immissions of the greenhouse gases, additionally it is used to measure the impact caused by the development of anthropogenic activities.

The awareness of the governments, organizations and institutions has led them to look for the information of the different productive processes, in which pollutants are in different scales. The objective of the project is to determine the carbon footprint of the partial life cycle of the compost and to use it as a tool that will prove that the process of the Abonos Chávez and Miño SCA Company is sustainable.

The calculation of the carbon footprint was done by applying the PAS 2050 specification, with the principle cradle to gate, that establishes the study of the carbon footprint from obtained raw material until the product reaches the hands of the client. Also, the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories was used like a basis for the realization of the calculations. The period of the inventory was established from september 2015 until august 2016 additionally the stages and activities that are worked out during the compost production were also established, and the sources of direct and indirect emissions.

As a result, it was exposed that the carbon footprint of the partial life cycle of the compost was 498.25 tons of CO<sub>2</sub> equivalent, where the main sources of the generation were the windrows, representing the 48.77% of the carbon footprint. Therefore it was established as a critical process the treatment of the organic material. The Abonos Chávez y Miño company emits 0.39 tons of CO<sub>2</sub> equivalent per each ton of organic fertilizer that is produced.

## ÍNDICE

1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Alcance.....	4
1.4. Justificación.....	5
1.5. Objetivos.....	6
1.5.1. Objetivo general.....	6
1.5.2. Objetivos específicos.....	6
2. Marco Referencial.....	6
2.1. Cambio climático y calentamiento global.....	6
2.2. Efecto invernadero.....	8
2.2.1. Dióxido de carbono.....	8
2.2.2. Metano.....	9
2.2.3. Óxidos de nitrógeno.....	10
2.3. Combatir el cambio climático.....	11
2.4. Indicadores ambientales del cambio climático.....	11
2.5. Huella de carbono.....	12
2.6. Metodologías aplicables para la contabilidad de la huella de carbono.....	13
2.6.1. Protocolo GHG.....	14
2.6.2. Especificación PAS 2050:2011.....	14
2.7. Abono orgánico.....	15
2.7.1. Sistemas para producción de abono orgánico.....	17
2.7.2. Tipos de abono orgánico.....	18
2.8. Caso de estudio: Abonos Chávez y Miño SCA.....	20
2.8.1. Descripción del área de estudio.....	21
2.8.1.1. Área de producción.....	23

2.8.2. Proceso de producción.....	24
2.8.2.1. Descripción de biopilas.....	26
2.8.2.2. Preparación de microorganismos.....	27
2.8.2.3. Volteo mecánico del material.....	28
<b>3. Metodología.....</b>	<b>30</b>
3.1. Determinación del período base para el desarrollo de la huella de carbono.....	30
3.2. Determinación de las etapas del proceso de producción....	31
3.2.1. Transporte de la materia prima.....	33
3.2.2. Descarga y formación de biopilas.....	34
3.2.3. Fase anaerobia.....	36
3.2.4. Fase aerobia.....	37
3.2.5. Empacado y distribución del producto.....	38
3.3. Identificación de las fuentes de emisión.....	39
3.4. Recopilación de información para los cálculos.....	40
3.5. Cálculo de la huella de carbono.....	45
3.5.1. Emisiones directas.....	45
3.5.1.1. Emisiones por combustión de fuente móvil.....	46
3.5.1.2. Emisiones por combustión de fuente estacionaria.....	47
3.5.1.3. Emisiones por tratamiento de materia orgánica.....	49
3.5.1.4. Emisiones de fuga.....	51
3.5.2. Emisiones indirectas.....	53
3.5.2.1. Emisiones por consumo de energía eléctrica.....	53
3.5.3. Huella de carbono total.....	54
3.6. Huella de carbono de la materia orgánica sin tratamiento....	54
3.7. Identificación del proceso que genera mayor emisión de contaminantes gaseosos.....	55
<b>4. Resultados.....</b>	<b>55</b>
4.1. Resultados de las emisiones directas.....	55
4.1.1. Resultados de las emisiones por combustión de fuente móvil.....	55

4.1.2. Resultados de las emisiones por combustión de fuente estacionaria.....	57
4.1.3. Resultados de las emisiones por tratamiento de materia orgánica.....	59
4.1.4. Resultados de las emisiones de fuga.....	60
4.1.5. Resultados de las emisiones directas.....	61
4.2. Resultados de las emisiones indirectas.....	62
4.2.1. Resultado de emisiones por consumo de energía.....	62
4.3. Resultados de la huella de carbono del ciclo de vida parcial del abono orgánico.....	65
4.4. Resultados de la huella de carbono de la disposición de la materia orgánica en un relleno sanitario.....	66
5. Análisis y discusión de los resultados.....	67
5.1. Análisis de emisiones directas.....	67
5.1.1. Análisis de las emisiones por combustión de fuente móvil.....	67
5.1.2. Análisis de las emisiones por combustión de fuente estacionaria.....	69
5.1.3. Análisis de las emisiones por tratamiento de materia orgánica....	71
5.1.4. Análisis de las emisiones de fuga.....	72
5.2. Análisis de las emisiones indirectas.....	72
5.3. Análisis de la huella de carbono del ciclo de vida parcial del abono orgánico.....	74
5.4. Identificación del proceso que genera mayor emisión.....	76
6. Conclusiones y recomendaciones.....	77
6.1. Conclusiones.....	77
6.2. Recomendaciones.....	79
Referencias.....	80
Anexos.....	87

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Huella de carbono promedio en el sector agropecuario 2001- 2010.....	13
Tabla 2. Composición química de Ecompost.....	26
Tabla 3. Porcentajes de formación de la biopila.....	27
Tabla 4. Volteo del material en variación a la temperatura.....	28
Tabla 5. Transporte de la materia prima.....	33
Tabla 6. Fuentes de emisión de gases contaminantes.....	39
Tabla 7. Consumos.....	40
Tabla 8. Emisiones.....	40
Tabla 9. Materia prima transportada.....	41
Tabla 10. Materia sin tratamiento.....	42
Tabla 11. Materia prima descargada.....	42
Tabla 12. Consumo de combustible en el transporte.....	43
Tabla 13. Consumo de diésel en el volteo mecánico.....	44
Tabla 14. Consumo de energía eléctrica.....	44
Tabla 15. Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente por combustión de fuente móvil.....	56
Tabla 16. Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente por recorrido de fuente móvil.....	56
Tabla 17. Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente por combustión de fuente estacionaria.....	58
Tabla 18. Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente por tratamiento de materia orgánica.....	59
Tabla 19. Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente por materia prima perdida.....	60
Tabla 20. Sumatoria de emisiones directas de CO <sub>2</sub> equivalente.....	62

Tabla 21. Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente por consumo mensual de electricidad.....	63
Tabla 22. Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente por de energía eléctrica por áreas.....	64
Tabla 23. Emisiones directas e indirectas de CO <sub>2</sub> equivalente.....	65
Tabla 24. Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente de materia orgánica en relleno sanitario.....	67

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Incremento del número de productores orgánicos, 1999 – 2013.....	16
Figura 2. Países con el mayor número de productores orgánicos, 1999 – 2013.....	17
Figura 3. Tipos de contenedores utilizados en sistemas cerrados.....	18
Figura 4. Ubicación geográfica Abonos Chávez y Miño SCA.....	22
Figura 5. Áreas de Abonos Chávez y Miño SCA.....	22
Figura 6. Área de almacenamiento Abonos Chávez y Miño SCA.....	24
Figura 7. Máquina volteadora.....	29
Figura 8. Metodología para desarrollar la huella de carbono de la empresa Abonos Chávez y Miño SCA.....	30
Figura 9. Diagrama de procesos de la empresa Abonos Chávez y Miño SCA.....	32
Figura 10. Diagrama de flujo del transporte de materia prima a la planta de Abonos Chávez y Miño SCA.....	34
Figura 11. Diagrama de flujo de la descarga y formación de biopilas.....	35
Figura 12. Diagrama de flujo de la fase anaerobia.....	36
Figura 13. Fase aerobia.....	38
Figura 14. Diagrama de flujo del empaclado y la distribución de producto.....	39
Figura 15. Porcentaje de emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente por recorrido.....	57
Figura 16. Emisiones por combustión de fuente estacionaria.....	58
Figura 17. Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente por tratamiento de materia orgánica.....	60

Figura 18. Porcentaje de emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente por materia prima perdida.....	61
Figura 19. Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente por consumo mensual de energía eléctrica.....	63
Figura 20. Porcentaje de emisiones por consumo de energía eléctrica por área.....	64
Figura 21. Porcentajes de emisiones directas e indirectas.....	66
Figura 22. Emisiones generadas por combustión de fuentes móviles.....	69
Figura 23. Emisiones generadas por combustión de fuente estacionaria.....	70
Figura 24. Emisiones generadas por el tratamiento de la materia orgánica.....	71
Figura 25. Emisiones generadas por el consumo de energía eléctrica.....	74



## INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Emisiones de CO <sub>2</sub> por combustión de fuente móvil.....	46
Ecuación 2. Emisiones de CH <sub>4</sub> por combustión de fuente móvil.....	46
Ecuación 3. Emisiones de N <sub>2</sub> O por combustión de fuente móvil.....	47
Ecuación 4. Emisiones de CO <sub>2</sub> por combustión de fuente estacionaria.....	48
Ecuación 5. Emisiones de CH <sub>4</sub> por combustión de fuente estacionaria.....	48
Ecuación 6. Emisiones de N <sub>2</sub> O por combustión de fuente estacionaria.....	49
Ecuación 7. Emisiones de CH <sub>4</sub> por tratamiento de materia orgánica.....	50
Ecuación 8. Emisiones de N <sub>2</sub> O por tratamiento de materia orgánica.....	50
Ecuación 9. Emisiones de CH <sub>4</sub> de fuga.....	51
Ecuación 10. Potencial de generación de CH <sub>4</sub> a partir de descomposición de materia orgánica.....	52
Ecuación 11. Emisiones de CO <sub>2</sub> de fuga.....	52
Ecuación 12. Emisiones de CO <sub>2</sub> por consumo de energía eléctrica.....	53
Ecuación 13. Huella de carbono total.....	54

## **1. Introducción**

### **1.1. Antecedentes**

La agricultura orgánica es un sistema que trata de explotar al máximo el potencial de los recursos naturales disponibles, poniendo mayor cuidado en la fertilidad del suelo y la actividad biológica de este. Además, busca minimizar el uso de recursos no renovables y eliminar el uso de fertilizantes y plaguicidas sintéticos que pueden presentar efectos perjudiciales para el ambiente y para el ser humano (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2009).

La demanda de productos orgánicos a nivel mundial se ha incrementado en los últimos años. Varios productores han optado por cambiarse a la agricultura orgánica pues el uso de agroquímicos sintéticos resulta perjudicial por varias razones, por ejemplo, los compuestos que se utilizan son tóxicos y actúan de forma negativa sobre especies benéficas para el suelo o el cultivo, también representan una amenaza para los agricultores que los utilizan, por otro lado, estos químicos tienden a bioacumularse en las plantas, dirigiéndose a los productos y afectando a los consumidores, además, pueden afectar la calidad biológica del suelo y en un peor escenario, pueden ser arrastrados por efecto de la lluvia, llegando a contaminar cuerpos de agua (González, B., Bernal, A., 2007, pp. 5-7 y Zumárraga, H., 2009).

Por otra parte, los altos precios y el crecimiento acelerado del mercado que representan los productos orgánicos lo han convertido en un negocio rentable (FAO, 2015).

El abono orgánico se obtiene a través de una cadena de producción en la cual es indispensable tener a disposición materia prima sin contaminantes inorgánicos, el proceso de descomposición de esta materia implica la expulsión de gases de efecto invernadero que se ve reflejada en la huella de carbono (Camargo, Y. y Vélez, A., 2009).

Varios países del continente europeo ya han adquirido experiencia en la determinación de la huella de carbono producida en sus prácticas agrícolas, por ejemplo Alemania, estableció un proyecto en el cual compromete a las grandes empresas a determinar la huella de carbono que se produce en todas sus operaciones; por otro lado, en España, la Asociación de Empresas de Productos Ecológicos de Andalucía (EPEA) desarrolló un sistema para determinar la huella de carbono de los productos orgánicos e incentivó a incluir dicha información en la etiqueta de presentación de dichos productos (Scheider, H., y Samaniego, J., 2010).

En Latinoamérica, el tema no es muy reconocido aún, no se ha desarrollado la iniciativa para cuantificar la inmisión de gases de efecto invernadero en las cadenas de producción de productos orgánicos. Países como Chile y Perú comenzaron a contabilizar la huella de carbono en sus líneas de producción por la exigencia de mostrar productos amigables con el ambiente que presentaban los mercados compradores, esto llevó a que las empresas modifiquen sus sistemas de producción y a que realicen inversiones para trabajar con procesos más limpios (Scheider, H., y Samaniego, J. 2010).

En el Ecuador son pocas las personas y empresas que se dedican a la agricultura orgánica, entre estas se encuentra la empresa Abonos Chávez y Miño SCA, la cual busca producir abono orgánico vivo y natural, formado a base de gallinaza (estiércol de gallina) y residuos de alimentos industriales no contaminados provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de dos empresas: la primera es una industria de faenamiento de aves para consumo humano y la segunda es una productora de bebidas de consumo masivo (Abonos Chávez y Miño SCA, 2016b).

La responsabilidad ambiental de la empresa le ha planteado como objetivo realizar investigaciones referentes al impacto ambiental de sus procesos, aún no se ha realizado la cuantificación de la huella de carbono en su proceso de descomposición de residuos; por ese motivo, el objeto de estudio de la presente investigación es realizar esta estimación en la empresa de Abonos Chávez y Miño - Planta Malchinguí.

Abonos Chávez y Miño - Planta Malchinguí se localiza en el cantón Guayllabamba, provincia de Pichincha, Panamericana Norte, en un sector de ocupación agropecuario. Los límites del predio son terrenos en los que se realizan actividades agropecuarias (Abonos Chávez y Miño SCA, 2016a).

En esta planta se produce abono orgánico denominado “Ecompost, naturalmente preparado y estabilizado para satisfacer las necesidades agrícolas, funcionando como un producto acondicionador y enmendador de nutrientes para cualquier tipo de suelo a manera de sustrato” (Abonos Chávez y Miño SCA, 2016c). La planta funciona con una máquina volteadora y el resto de trabajo es netamente manual.

La realización del presente trabajo aportará en los conocimientos en cuanto a huella de carbono en el campo de compostaje en el Ecuador, ya que no se han realizado estudios a profundidad en esta área.

Al estudiar la huella de carbono producida en la planta, se puede evidenciar numéricamente el verdadero impacto de sus operaciones, si existen o no ventajas de trabajar con residuos orgánicos para la producción de derivados que se aprovechan en otras actividades, como en este caso, la agricultura.

## **1.2. Planteamiento del Problema**

El cambio climático constituye uno de los retos más desafiantes para el planeta Tierra. Este incremento de temperatura alterará de manera irreversible la forma de vivir y trabajar del ser humano. Las actividades antrópicas que son desarrolladas día a día implican la liberación de gases de efecto invernadero que comprometen cada vez más el equilibrio de los ecosistemas (British Standards Institution [BSI], 2011).

En la actualidad, los rellenos sanitarios constituyen una fuente importante de emisión de gases de efecto invernadero, lo cual se debe al incremento de la producción de residuos que requieren un lugar adecuado para su disposición final, que en su proceso de descomposición y estabilización, emiten

contaminantes a la atmósfera (Camargo, Y. y Vélez, A., 2009). Por esta razón, la empresa Abonos Chávez y Miño ha tomado como alternativa ambientalmente sostenible, redireccionar una parte de estos residuos para procesarlos, con el objetivo de producir compost orgánico.

La empresa Abonos Chávez y Miño SCA cumple con las exigencias de gestión de residuos sólidos del Ministerio del Ambiente en seguimiento a la Ley de Gestión Ambiental, sin embargo en el Distrito Metropolitano de Quito, las actividades de esta área están reguladas por la Secretaría del Ambiente en conformidad con la ordenanza metropolitana 332 en el artículo 93.

Además en el Ecuador, el cambio de la matriz productiva ha establecido, junto al acuerdo N° 061, representado en el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULSMA), que los desechos sólidos no peligrosos pueden ser aprovechados a través de un manejo integral para darles valor reincorporándolos a los materiales recuperados a un nuevo ciclo productivo.

El cálculo de la huella de carbono del ciclo de vida parcial del abono orgánico permite evidenciar el volumen real de gases contaminantes que son emitidos a la atmósfera durante el proceso de descomposición para la obtención de compost orgánico, por consiguiente, se puede identificar la etapa con mayor inmisión de gases de efecto invernadero y proponer medidas de mitigación para la misma.

### **1.3. Alcance**

El alcance del presente trabajo es el cálculo de la huella de carbono del ciclo de vida parcial en el proceso de compostaje de la empresa Abonos Chávez y Miño. Para ello, se realizó el modelamiento de las emisiones de gases de efecto invernadero que provienen de las diferentes áreas de trabajo de la empresa, las cuales fueron transformadas en unidades de dióxido de carbono con la ayuda del respectivo equivalente. Se tomó como referencia la metodología establecida en la norma PAS 2050. Se identificó el área más crítica dentro de los procesos

de la planta, y se determinó la huella de carbono como indicador de sostenibilidad ambiental.

#### **1.4. Justificación**

La preocupación internacional por las manifestaciones actuales y futuras del cambio climático ha estimulado a las entidades gubernamentales, organizacionales e institucionales a indagar en la información de los distintos procesos productivos, en los cuales se emiten contaminantes a diferentes escalas. Se debe conocer la información referente a las sustancias contaminantes que son liberadas al ambiente durante el desarrollo de las actividades realizadas en diferentes empresas para establecer medidas de prevención, mitigación o minimización de las afectaciones causadas (Cicerone, D., Sánchez, P. y Reich, S., 2007, p. 195 y Scheider, H., y Samaniego, J., 2010).

La determinación de la huella de carbono como indicador de sostenibilidad ambiental se puede utilizar como una herramienta de fortalecimiento para mejorar la imagen ambiental de la empresa y al mismo tiempo, puede funcionar como soporte para evidenciar la actividad sustentable de la misma (Scheider, H., y Samaniego, J., 2010).

La empresa Abonos Chávez y Miño, tiene el compromiso ambiental de sostenibilidad como generadora de productos orgánicos. Por ello, se planteó la determinación de la huella de carbono del ciclo de vida parcial en el proceso de compostaje para exponer su relación respetuosa con el ambiente. Además, a nivel nacional, la empresa actualmente se encuentra aplicando para obtener el Registro de Productor Orgánico del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). A nivel internacional, se encuentra en tramitación de la certificación KIWA BCS ÖKO-GARANTIE, la cual pertenece a la agencia certificadora europea BCS ÖKO-GARANTIE, que acredita las prácticas y productos orgánicos. Tanto el registro de productor orgánico, como la acreditación europea mejorarán la imagen de la empresa y evidenciarán la calidad de sus productos.

La realización del presente trabajo aportó en los conocimientos en cuanto a huella de carbono en el campo de compostaje en el Ecuador, ya que no se han realizado estudios a profundidad sobre este indicador.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

Determinar la huella de carbono del ciclo de vida parcial del compost para la empresa Abonos Chávez y Miño SCA.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Identificar los procesos del ciclo de vida parcial del compost y las fuentes emisoras de gases de efecto invernadero que intervienen.
- Cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero producidas durante el proceso de producción del abono orgánico y las actividades implícitas a través de una metodología de modelamiento estándar.
- Identificar el proceso donde existe mayor emisión de dióxido de carbono equivalente a partir de los resultados obtenidos en el modelamiento realizado.

## **2. Marco Referencial**

### **2.1. Cambio climático y calentamiento global**

El desarrollo de la humanidad en sus diferentes aspectos ha traído consigo una serie de cambios para el planeta Tierra. Uno de los más relevantes es el cambio climático, en el cuál, los parámetros estables de clima han sido alterados a través del tiempo. Dichos cambios se han evidenciado en la elevación de la temperatura

de la atmósfera, alteraciones de fenómenos naturales, pérdida de ecosistemas, entre otros (Amestoy, J., 2013, p. 90)

El incremento de la concentración de los gases contaminantes de la atmósfera (vapor de agua, óxidos de carbono, nitrógeno, azufre, metano, entre otros) es el causante de alterar el fenómeno natural del efecto invernadero el cual permite el desarrollo normal de la vida en el planeta. (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2014a).

Las mayores pruebas del cambio climático se evidencian por los registros de los aumentos de temperatura de la atmósfera y de los océanos, el derretimiento de glaciares en los polos del planeta y por consiguiente, el aumento del nivel del mar en todas las costas (Amestoy, J., 2013, p. 90).

Además, en el informe del IPCC (2014a) se establece que existen cambios constantes en temas meteorológicos como precipitaciones extremadamente fuertes o disminución de precipitaciones en distintas zonas, lo cual trae como consecuencia, que se hayan alterado ecosistemas frágiles.

En regiones frías, no solo se han observado deshielos, sino que también se han registrado temperaturas más elevadas del permafrost. Esto ha contribuido a causar problemas como el deterioro de estos ecosistemas, la alteración del ciclo hídrico, la modificación de la distribución de algunas especies, de las interacciones entre especies y de las actividades migratorias (IPCC, 2014a).

Por otra parte, el cambio climático también ha causado afectaciones en el área agrícola, el rendimiento de algunos cultivos como el trigo y el maíz que se produce en varias regiones ha disminuido, por lo que la seguridad alimentaria también se ha visto comprometida en cuanto a calidad y cantidad (IPCC, 2014a).

Como se ha dicho, el cambio climático se ha dado por la elevación de la temperatura, desde el año 2004 hasta el presente año 2016, se han registrado las temperaturas más altas en comparación a las del siglo XX (IPCC, 2014a).



## **2.2. Efecto invernadero**

El planeta Tierra tiene el mismo mecanismo de funcionamiento que un invernadero, la energía que entra al sistema es igual a la energía que sale. El planeta Tierra recibe energía del sol en forma de radiación. Dicha energía atraviesa la atmósfera y una parte de esta radiación es absorbida por la corteza terrestre, mientras que la otra es reflejada por cuerpos brillantes como océanos o glaciales, pero en lugar de salir nuevamente al espacio exterior, queda retenida por los gases de efecto invernadero, acumulando calor en la atmósfera e incrementando la temperatura de la misma (Amestoy, J., 2013, p. 91).

Gracias a los gases de efecto invernadero es posible el desarrollo de la vida en la Tierra, pero la concentración de estos en la atmósfera ha aumentado por el desarrollo de las actividades antrópicas, como por ejemplo la quema de combustibles fósiles (Amestoy, J., 2013, p. 92).

Entre los principales gases de efecto invernadero, se puede encontrar mayor proporción vapor de agua, dióxido de carbono, metano y óxidos de nitrógeno y en menor proporción ozono y clorofluorocarburos (Amestoy, J., 2013, p. 92).

### **2.2.1. Dióxido de carbono**

El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) forma parte de la atmósfera de manera natural, sin embargo, el desarrollo de las actividades antropogénicas han causado que la concentración de este aumente; dicha variación está directamente relacionada al calentamiento global, la molécula de dióxido de carbono tiene alta capacidad de absorber radiación infrarroja terrestre (Cicerone, D., Sánchez, P. y Reich, S., 2007, p. 107).

Naturalmente se genera por la respiración de seres vivos, por otro lado, su generación antrópica se da a consecuencia de la quema de combustibles fósiles. Hasta el año 2015, se ha determinado que existen tres trillones de toneladas en

la atmósfera, lo que equivale al 27% más que en la anterior revolución Industrial (1860 - 1945) (Oceana).

A inicios del siglo XX, se registraron concentraciones aproximadas a 280 ppm, y durante el tiempo que ha transcurrido del siglo XXI se han registrado concentraciones aproximadas a 380 ppm (Oceana).

Actualmente se han observado concentraciones aún más altas, el valor que se registró el 30 de octubre de 2016 fue de 402.38 ppm, el cual ha superado todas las concentraciones registradas anteriormente (National Oceanic & Atmospheric Administration [NOAA], 2016).

### **2.2.2. Metano**

El metano ( $\text{CH}_4$ ) tiene un potencial de calentamiento 28 veces superior al del dióxido de carbono, por lo que un volumen menor, tiene mayor afectación en términos de calentamiento global (IPCC, 2014b). Actualmente, su concentración en la atmósfera es de 1 774 ppb (220 veces menos que dióxido de carbono) lo que significa que ha aumentado un 59% en relación a la anterior revolución Industrial (1860 - 1945) (Oceana).

Una gran reserva de metano se encuentra congelada en los océanos en forma de hidratos de metano, la liberación del gas de esta reserva puede desencadenarse a causa del aumento de la temperatura, empeorando así los efectos del calentamiento global (Oceana).

Este gas se genera naturalmente durante la descomposición de materia orgánica, que en gran porcentaje proviene del sector pecuario. Adicionalmente, se le atribuye a la actividad agraria la generación del 47% de metano, en particular el cultivo de arroz en áreas inundadas es responsable de entre 5 al 20% de emisiones (Investigación y Tecnología Agroalimentarias [IRTA], 2016).

Los cultivos de arroz generan aproximadamente de 60 a 100 millones de toneladas de metano por año, la liberación de este gas se debe a la

descomposición anaeróbica de la materia orgánica de los terrenos inundados a causa de la actividad bacteriana metanogénica (Sanchis, E., 2014).

En el Ecuador, este cultivo ocupa el tercer lugar en área sembrada, atribuyéndosele el 15.34% del área total de sembríos. Las provincias con mayor producción de arroz son Guayas y Los Ríos con 63.82% y 28.19% respectivamente (Moreno, B., 2015).

### **2.2.3. Óxidos de nitrógeno**

El nitrógeno puede formar óxidos diferentes que corresponden a cada estado de oxidación. Los compuestos que se encuentran en mayores concentraciones en la atmósfera son: el óxido nitroso ( $N_2O$ ), el óxido de nitrógeno ( $NO$ ) y el dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ). De los mencionados anteriormente, el óxido nitroso es el único que actúa como gas de efecto invernadero, con un potencial de calentamiento de 265 veces superior al del dióxido de carbono (IPCC, 2014b). Se produce naturalmente por acción de microorganismos que degradan el nitrógeno contenido en proteínas, y a escala industrial es producido para fines medicinales (Cicerone, D., Sánchez, P. y Reich, S., 2007, p. 104).

Cicerone, Sánchez y Reich mencionan que los dos óxidos restantes se relacionan, por lo cual sus concentraciones se suman para hablar de temas de contaminación atmosférica. Estos óxidos se generan naturalmente durante la descomposición de materia orgánica, por otro lado, su origen antropogénico se desarrolla durante la combustión de combustibles fósiles o en la elaboración de fertilizantes o explosivos (2007, p. 104).

El óxido nitroso se encuentra en menores concentraciones en la atmósfera, en comparación con el dióxido de carbono, con un valor de 319 ppb, mismo que ha superado en un 18% a la concentración registrada en la anterior revolución Industrial (1860 - 1945) (Oceana).

### **2.3. Combatir el cambio climático**

A nivel mundial se han experimentado los efectos del cambio climático. El incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero ha llegado a registrar un incremento 50 % superior con respecto al registrado en 1990 (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, [PNUD], 2015).

A causa del calentamiento global, el poder destructivo de fenómenos naturales como ciclones tropicales e inundaciones lo cual ha incrementado la vulnerabilidad del ser humano. Esto ha causado exageradas “pérdidas que han alcanzado los cientos de miles de millones de dólares y exigen inversiones de unos US\$ 6.000 millones anuales solo en gestión del riesgo de desastres” (PNUD, 2015).

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo ha planteado en el año 2015 los Objetivos de Desarrollo Sostenible; el objetivo número trece se ha enfocado en actuar por el clima adoptando acciones urgentes para contrarrestar al cambio climático y sus efectos, se busca minimizar las necesidades de los países en desarrollo y aumentar la resiliencia de las ciudades frente a los desastres naturales (PNUD, 2015).

Se puede reducir el número de pérdidas humanas y de bienes aumentando la resiliencia de los países más vulnerables por medio de la actuación de entidades gubernamentales y el desarrollo de tecnologías (PNUD, 2015).

### **2.4. Indicadores ambientales del cambio climático**

Para alcanzar la sostenibilidad, es indispensable la aplicación de herramientas que ayudan en la simplificación, cuantificación, análisis y comunicación de información necesaria para la interpretación de las diferentes relaciones y posibles efectos sinérgicos entre problemas, de esta forma, lograr el entendimiento de fenómenos como el calentamiento global (Winograd, M., 1995).

Los indicadores ambientales del cambio climático pueden estar clasificados en tres grupos, los que analizan las causas de los problemas ambientales, los que analizan la calidad del ambiente y los que miden el progreso hacia la sustentabilidad (Winograd, M., 1995).

Desde otro punto de vista, los indicadores ambientales pueden estar clasificados por el área que se va a evaluar como recursos naturales y biodiversidad, gestión ambiental, saneamiento y asentamientos humanos, y contaminación; dentro de este último grupo, se encuentran tres principales indicadores: huella ecológica, huella hídrica y huella de carbono (Quiroga, R., 2007).

La huella ecológica analiza el consumo de energía y recursos en determinada área y tiempo, permitiendo la interpretación del impacto exacto y puntual sobre el ambiente (Wackernagel, M., Rees, W., 2001)

La huella hídrica analiza las relaciones entre actividades antrópicas y el uso de agua, tomando en cuenta como principal información el volumen de demanda y el consumo de dicho recurso en un determinado tiempo (Aldaya, M., Llamas, M., 2008).

La huella de carbono que mide las emisiones de los gases de efecto invernadero relacionados con las actividades antrópicas, tanto de producción como de consumo, es medida en toneladas de dióxido de carbono equivalente (Schneider, H., Samaniego, J., 2009).

## **2.5. Huella de carbono**

Es un indicador que mide el impacto causado al ambiente por la emisión e inmisión de gases de efecto invernadero producidos durante el desarrollo de las actividades antrópicas. Se representa por cantidad en peso del gas en cuestión, transformado a unidades de dióxido de carbono equivalente, que es producido en actividades como la quema de combustibles fósiles, descomposición de materia orgánica y hasta el proceso de respiración (Schneider, H., Samaniego, J., 2009).

La FAO publicó un informe en el cual se muestran algunos valores estimados correspondientes a la huella de carbono procedente del sector agropecuario, los cuales se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1.

*Huella de carbono promedio en el sector agropecuario, período 2001-2010*

Actividad	Millones de toneladas de CO <sub>2</sub> e/año
Producción agrícola y ganadera	5 000
Deforestación	4 000
Turberas degradadas	1 000
Quema de biomasa	200

Adaptada de FAO, 2014.

Nota. Turbera es un humedal ácido que contiene materia orgánica.

La huella de carbono se cuantifica desde diferentes puntos de vista; en uno de ellos se contempla únicamente las emisiones directas a la atmósfera, mientras que por otra parte, un enfoque más complejo, está asociado al ciclo de vida de un producto o servicio (Schneider, H., Samaniego, J., 2009).

Existen límites a ser establecidos en la empresa u organización donde se va a realizar la cuantificación, esta demarcación debe abarcar las operaciones primarias y secundarias de la entidad estudiada (Schneider, H., Samaniego, J., 2009).

## **2.6. Metodologías aplicables para la contabilidad de huella de carbono**

Para desarrollar la huella de carbono se pueden seguir los principios establecidos en algunas metodologías que se han utilizado para realizar estudios en cuanto a emisión e inmisión de gases de efecto invernadero. Algunas metodologías son: el Protocolo de gases de efecto invernadero (GHG Protocol)

o la que se utilizará en el presente trabajo la especificación PAS 2050 (British Standards Institution [BSI], 2011 y Scheneider, H., Samaniego, J., 2009).

### **2.6.1. Protocolo GHG**

Este protocolo es una de las herramientas más utilizadas para desarrollar la huella de carbono, mediante la realización de un inventario de emisiones. Su enfoque es a nivel organizacional, por lo cual es utilizado por entes tanto gubernamentales como empresariales para el entendimiento, la cuantificación y la gestión de las emisiones de los gases problema. Su principal objetivo es generar programas sostenibles para evitar o mitigar los efectos del cambio climático (GHG Protocol, 2008).

Los gases de efecto invernadero que son considerados dentro de esta metodología son los seis principales del Protocolo de Kioto, dióxido de carbono, metano, perfluorocarbonos, hidrofluorocarbonos, óxido nitroso y hexafluoruro de azufre.

### **2.6.2. Especificación PAS 2050: 2011**

La metodología PAS 2050: 2008 puede ser aplicada voluntariamente por organizaciones gubernamentales o empresariales que desean desarrollar la huella de carbono del ciclo de vida de sus productos o servicios (BSI, 2011).

El principal objetivo de esta metodología es brindar las bases para la cuantificación de los gases de efecto invernadero por lo cual se ha podido habilitar la elaboración de programas para la reducción de los gases en cuestión (BSI, 2011).

Para su implementación, se debe diferenciar entre dos tipos de ciclo de vida, 1) cuando el ciclo de vida culmina en la entrega del producto a otra organización para que esta, a su vez, elabore otro producto, y 2) el ciclo de vida del producto,

desde la elaboración, las actividades posteriores y la disposición final del producto (BSI, 2011).

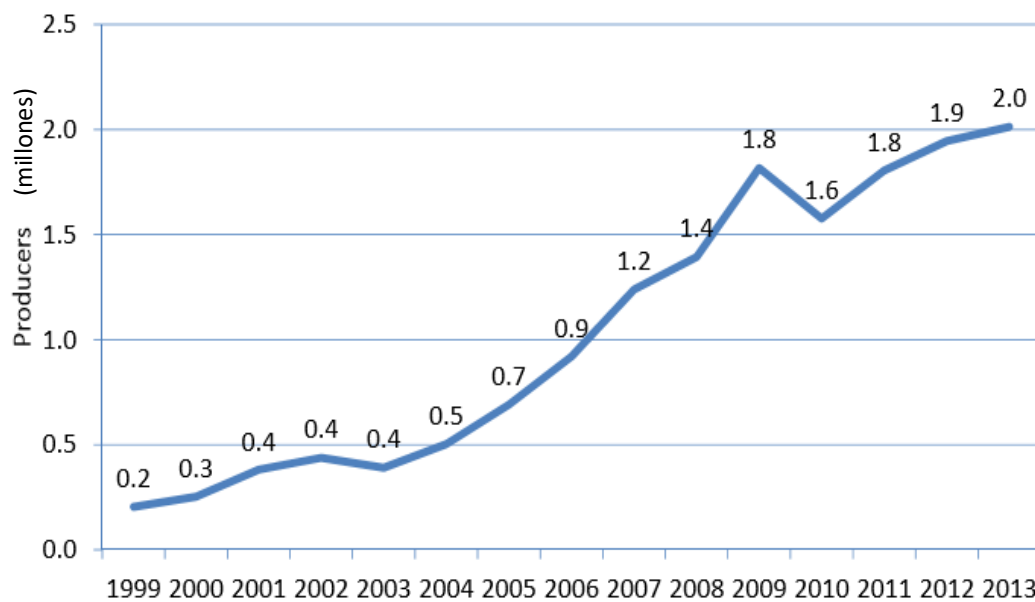
## **2.7. Abono orgánico**

El abono orgánico se obtiene a partir del proceso controlado de descomposición de residuos sólidos animales, vegetales o urbanos que se encuentran libres de contaminantes inorgánicos, por esta razón, es un producto higienizado y lleno de nutrientes con la capacidad de mejorar la composición del suelo, aumentando su fertilidad y productividad. Para la producción de abono orgánico se requiere una inversión relativamente baja, además, su uso mantiene una relación amigable con el ambiente (FAO, 2013).

A escala industrial el proceso es acelerado por medio de reacciones catabólicas y biooxidativas de los sustratos orgánicos por acción de los microorganismos que están presentes en los residuos, así se obtiene un producto caracterizado por ser químicamente estable y sanitizado (García, 2009).

A través del tiempo la demanda de productos orgánicos a nivel mundial ha ido incrementando por lo cual ha aumentado el número de productores para satisfacer dicha demanda, esta variación se puede observar en la Figura 1.





*Figura 1.* Incremento del número de productores orgánicos, 1999 – 2013. Tomada de Research Institute of Organic Agriculture [FiBL], 2015.

Los países con mayor número de productores orgánicos son India, Uganda y México que fueron los responsables de la mitad de producción agrícola orgánica a nivel mundial en el 2013 tal como se muestra en la Figura 2.

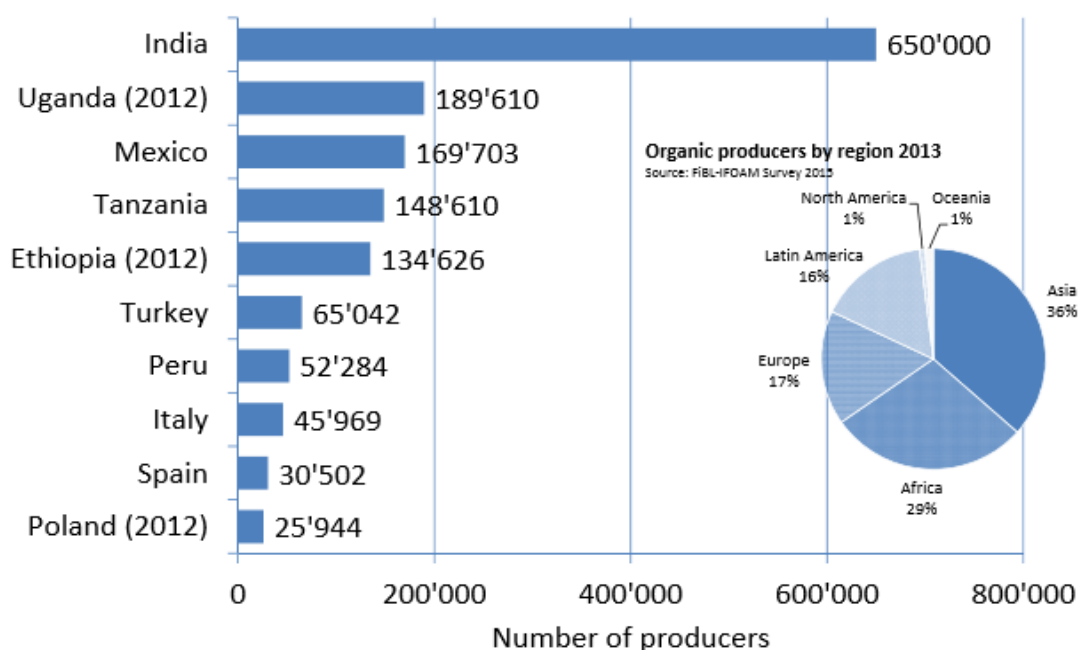


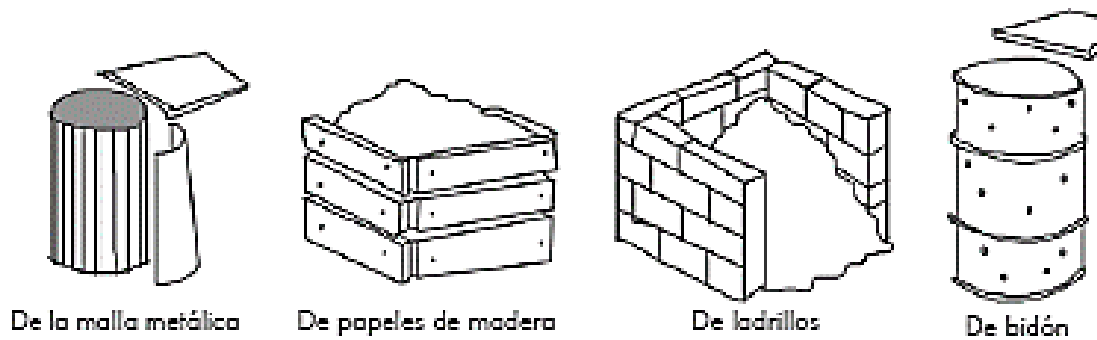
Figura 2. Países con el mayor número de productores orgánicos, 1999 – 2013. Tomada de FiBL, 2015.

### 2.7.1. Sistemas para producción de abono orgánico

Para la producción de abono orgánico existen dos diferentes sistemas: los cerrados que se realizan en contenedores o bajo techo y los sistemas abiertos que se realizan al aire libre (FAO, 2013).

Generalmente se utilizan los sistemas cerrados cuando no existe gran cantidad de residuos orgánicos como materia prima. La técnica dentro de contenedores tiene algunas ventajas, una de ellas es que se evita la acumulación de precipitaciones que se transformarán en lixiviados y que el material está protegido ante vectores y la acción del viento. La mayor desventaja de esta técnica es que las temperaturas llegan a elevarse demasiado, por lo cual es necesaria mayor atención en el control de parámetros (FAO, 2013).

En Latinoamérica es más común utilizar bidones de plástico. En la Figura 3 se pueden observar algunos de los contenedores más utilizados en los sistemas cerrados.



*Figura 3.* Tipos de contenedores utilizados en sistemas cerrados.

Tomada de FAO, 2013.

En cuanto a los sistemas abiertos, estos se utilizan cuando el volumen de materia orgánica es abundante, es decir, superior a un metro cúbico. El material es acumulado en pilas cuya forma puede variar dependiendo a la cantidad de material con el que se trabaja. Los parámetros principales a controlar son la humedad, la temperatura y el nivel de oxígeno (FAO, 2013).

Dependiendo de la humedad de la pila, se deben construir sistemas de recolección de lixiviados, además de medir la temperatura constantemente para establecer el número de volteos que se le dará al material (FAO, 2013).

### **2.7.2. Tipos de abonos orgánicos**

Existen diferentes tipos de abono que varían dependiendo de factores como la materia prima que se utiliza, el procedimiento por el cuál pasa dicha materia y las propiedades que caracterizan al producto final. Es así como se pueden encontrar abonos de ácidos húmicos y fúlvicos, biofermento, biofertilizante, extractos de algas, bocashi, compost, extracto de compost o de lombricompost, lombricompost o vermicompost, té de compost y extracto de estiércol (Meléndez, G. y Soto, G., 2003).

Los abonos de ácidos húmicos y fúlvicos están activados por microorganismos presentes en el suelo, tienen la capacidad de mejorar la fertilidad de la tierra, retener humedad y estimular el crecimiento de las plantas por medio del aumento de la biodisponibilidad de nutrientes para las plantas (Meléndez, G. y Soto, G., 2003).

El biofermento es el abono que resulta del proceso de fermentación de los residuos animales y vegetales en estado líquido, a los cuales se les agregan residuos de caña que son utilizados como fuente de energía por los microorganismos, para mejorar el producto final (Meléndez, G. y Soto, G., 2003).

El biofertilizante está conformado principalmente por microorganismos, que al ser aplicados en el suelo, mejoran la biodisponibilidad de nutrientes. Son productos que dependiendo de los microorganismos que contienen, pueden presentarse en estado sólido o líquido (Meléndez, G. y Soto, G., 2003).

Los extractos de algas son productos conformados por algas marinas, que pueden presentarse de forma líquida o pulverizados y se utilizan para mejorar las propiedades físicas y bioquímicas del suelo (Meléndez, G. y Soto, G., 2003).

El abono bocashi utiliza como materia prima residuos orgánicos. Es similar al abono compost, con la diferencia de que los volteos en este son más frecuentes pues se debe evitar que la temperatura supere los 50 °C, además las biopilas de este son extendidas en una capa delgada y no se añade agua dando así como resultado un producto de materia parcialmente descompuesta (Meléndez, G. y Soto, G., 2003).

El compost utiliza como materia prima residuos orgánicos que se disponen en biopilas. Para mejorar el proceso se añaden fuentes de energía como melaza o residuos de caña. Se realizan menos volteos que en el abono bocashi pues se busca una temperatura superior a los 50 °C. El producto final es un material completamente degradado (Meléndez, G. y Soto, G., 2003).

El extracto de compost es el lixiviado que escurre de las biopilas formadas en el compostaje. Tiene una concentración elevada de nutrientes que al ser aplicados al suelo, inmediatamente están biodisponibles para las plantas. Este abono no

es muy utilizado pues se ha demostrado que puede contener patógenos, dependiendo la materia prima del compost (Meléndez, G. y Soto, G., 2003).

El lombricompost es el resultado de la transformación de residuos orgánicos por la actividad biológica de descomposición de las lombrices, estos invertebrados toman como fuente de alimento los residuos orgánicos y sus excretas son el abono llamado humus (Meléndez, G. y Soto, G., 2003).

El té de compost es la solución que resulta de mezclar compost con agua y sustancias que estimulan la actividad microbiana como melaza, ácidos húmicos o fúlvicos (Meléndez, G. y Soto, G., 2003).

El extracto de estiércol es el producto que resulta del lavado de estiércol para obtener los nutrientes solubles contenidos en este; preferiblemente, la aplicación del abono se realiza directamente en las hojas de la planta en lugar de aplicarlo al suelo (Meléndez, G. y Soto, G., 2003).

## **2.8. Caso de estudio: Abonos Chávez y Miño SCA**

La empresa Abonos Chávez y Miño SCA se dedica a la producción de abono orgánico tipo compost mediante el aprovechamiento de gallinaza (estiércol de gallina) y residuos industriales orgánicos no contaminados, bajo el seguimiento de técnicas industriales, biotecnológicas y agrícolas (Abonos Chávez y Miño SCA, 2016d). La empresa cuenta con una oficina administrativa en Quito, en las calles El Tiempo N3955 y El Telégrafo, además cuenta con la planta ubicada en Malhinguí.

El proceso de producción utiliza como materia prima gallinaza (proveedor 3) y residuos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de dos empresas: la primera es una industria de faenamiento de aves para consumo humano la cual fue llamada proveedor 1 y la segunda es una productora de bebidas de consumo masivo cuyo nombre fue proveedor 2. El abono que ofrece la empresa es llamado Ecompost, naturalmente preparado y estabilizado, que actúa como acondicionador y proveedor de nutrientes para el suelo.

Para desarrollar la huella de carbono se establecieron los límites operacionales desde el transporte de la materia prima, hasta la distribución del producto.

### **2.8.1. Descripción del área de estudio**

La planta de Malchingui se encuentra en el cantón Guayllabamba, provincia de Pichincha, en las calles Las Horquillas y Los Árboles. Malchinguí, es una parroquia del cantón Pedro Moncayo ubicado en la Provincia de Pichincha en Ecuador. Se encuentra aproximadamente a 150 km de Quito. Su clima es mayormente cálido seco, por lo que se puede cultivar frutas y granos como chirimoyas, sandías, moras, mortiños y pitajayas, habas, fréjoles, maíz, papas, lentejas, tunas, etc. (MAGAP, 2010).

La media de la temperatura anual es 13.6 °C y el promedio de precipitación es de 822 mm al año. El mes más seco es julio, con 13 mm y en el mes de abril el promedio de precipitación es de 109 mm, siendo el mes con las mayores precipitaciones anuales (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], 2015).

El mes con las temperaturas más altas del año con un promedio de 13.9 °C es mayo mientras que el mes en el cual se presentan las temperaturas más bajas con un promedio de 13.4 °C es febrero. Las medias de las temperaturas varían durante el año en 0.5 °C (INAMHI, 2015).

El área de la planta tiene una extensión de 20 000 m<sup>2</sup>. En la Figura 4 se puede observar la ubicación geográfica de la planta Abonos Chavez y Miño SCA.



Figura 4. Ubicación geográfica Abonos Chávez y Miño SCA.

Tomada de Abonos Chávez y Miño SCA, 2016d.

La planta está comprendida por áreas que corresponden a distintas zonas: área administrativa, área de tránsito vehicular, área de estacionamiento, áreas verdes y área de producción. En la Figura 5 se pueden observar las distintas áreas.

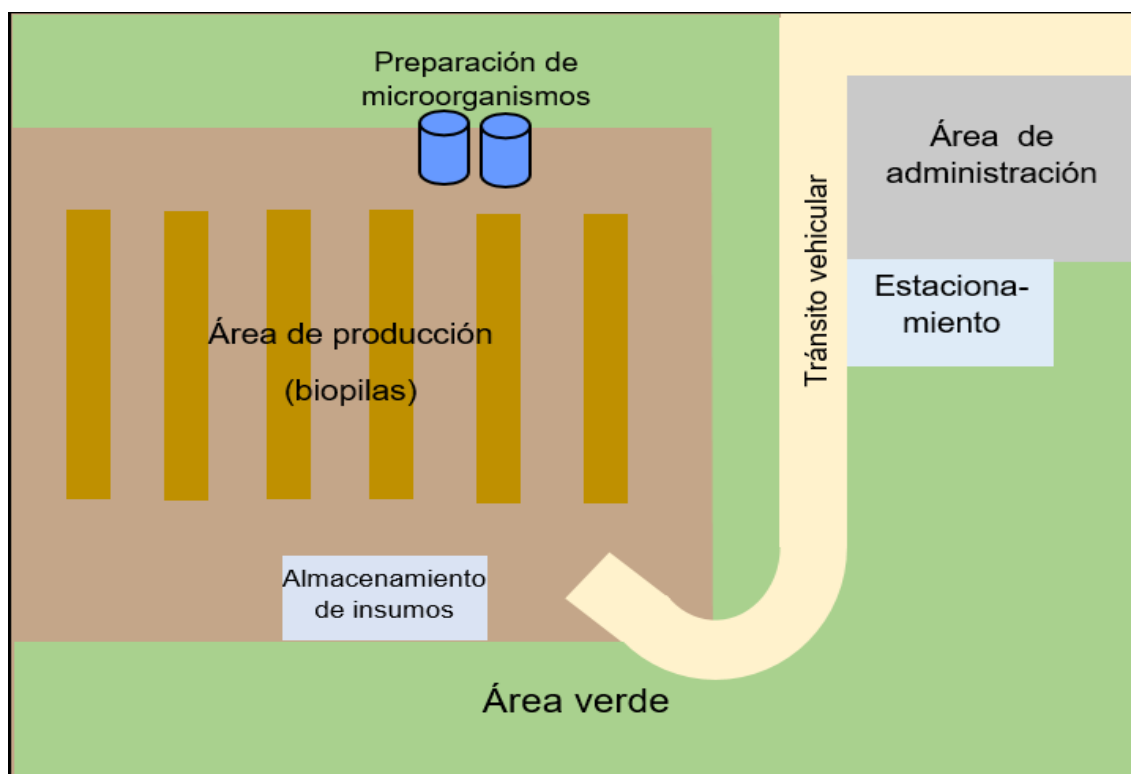


Figura 5. Áreas de Abonos Chávez y Miño SCA: de administración, de tránsito vehicular, de estacionamiento, áreas verdes y de producción.

### **2.8.1.1. Área de producción**

El área de producción tiene una extensión de 15 000 m<sup>2</sup>, está dividida a su vez en tres áreas: de almacenamiento de insumos, de preparación de microorganismos y de biopilas.

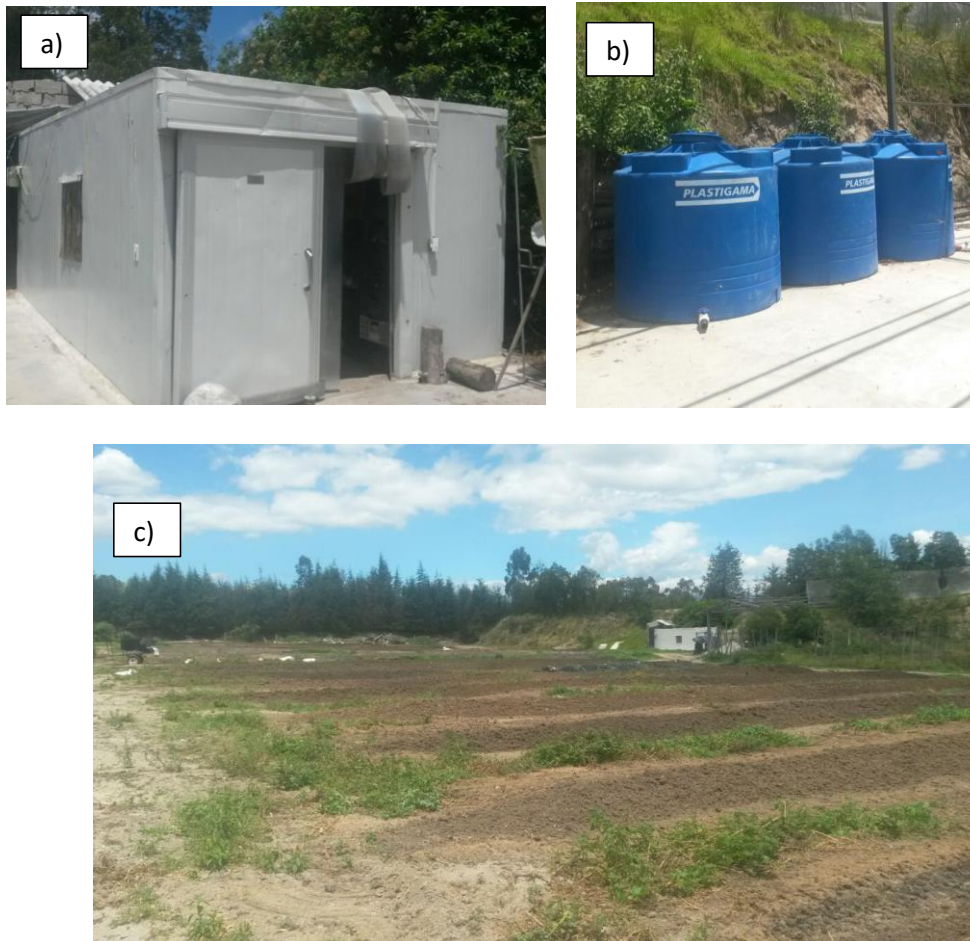
El área de almacenamiento de insumos se encuentra en la zona suroeste de la planta. En esta bodega se almacena el producto de microorganismos (Sumak MBA Cocktail), la gallinaza y el combustible diésel con el que funciona la máquina de volteo mecánico, además de un instrumento para medición de emisión de gases, un termómetro de campo y una balanza mecánica.

El área de preparación de microorganismos está en la zona norte de la planta, donde se encuentran tanques de plástico en los cuales se realiza la mezcla para su posterior aplicación en las biopilas.

El área de biopilas se divide en cinco lotes y cada uno tiene capacidad para quince biopilas.

En la Figura 6 se presentan las diferentes áreas que conforman el área de producción:





*Figura 6.* Área de almacenamiento Abonos Chávez y Miño SCA.

- a) Área de almacenamiento
- b) Área de preparación de microorganismos
- c) Área de biopilas

### **2.8.2. Proceso de producción**

El proceso de producción de Ecompost inicia con el transporte de la materia prima hasta la planta en Malchinguí, así el proveedor 1 (industria de faenamiento de aves) recorre 40 km, el proveedor 2 (productora de bebidas de consumo masivo) recorre 55 km y el proveedor 3 (gallinaza) recorre 20 km.

Cuando la materia prima llega a la planta se dispone directamente en las biopilas y desde este punto se deben controlar parámetros como humedad y temperatura

para cada fase del compostaje. La humedad inicial es aproximadamente de 70%, y la humedad del producto final varía entre 25 a 35%, la temperatura en la primera semana oscila aproximadamente entre 55 a 60 °C, en la etapa media (duración de 3 a 5 semanas) está alrededor de los 40 °C y en la etapa final (duración de 5 a 7 semanas) es 25°C. Otra variable importante a considerar es la porosidad gaseosa del material que está sobre el 15% en la etapa final y es menor al 15% en la etapa inicial y media.

Una vez que se formaron las biopilas, se adicionaron microorganismos además de los presentes en el material de trabajo, para acelerar y mejorar el proceso de compostaje, estos microorganismos son principalmente bacterias lácteas, actinomicetos, levaduras y hongos de fermentación, trichodermas (especies *harzianum*, *koningh*, *pseudokoningii*, *viride*), bacterias nitro fijadoras, bacterias mesofílicas y bacterias *beauveria*; además de estos microorganismos, el material de trabajo contiene insectos benéficos como colémbolas, hipoaspis, arañas rojas y coleópteros, cuya presencia incrementa la descomposición de la materia y mejora la eficiencia del proceso de compostaje.

La descomposición de la materia que llevan a cabo los microorganismos, produce gases que elevan la temperatura de la biopila, por consiguiente la humedad disminuye. Es por ello que la empresa cuenta con una máquina de volteo mecánico que permite la oxigenación de la biopila, el número de volteos de la materia depende de la temperatura de la biopila.

Una vez que han transcurrido entre ocho a dieciséis semanas, la biopila debe estar a una temperatura aproximadamente de 25°C y es cuando el abono orgánico está listo para ser empacado a mano y distribuido a los consumidores. En la Tabla 2 se muestra la composición química del producto final.

Tabla 2.

*Composición química de Ecompost*

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Nitrógeno	1.14 %	Hierro	12 255 ppm
NO <sub>3</sub>	123 ppm	Manganeso	327 ppm
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.52 %	Boro	2.83 ppm
K <sub>2</sub> O	0.75 %	Materia orgánica	12.73 %
CaO	2.10 %	Carbono	7.38 %
MgO	1.04 %	Humedad	25 %
Sodio	0.03 %	Relación C/N	6.47
Azufre	187.60 ppm	pH	7.20
Zinc	264 ppm	Cobre	146 ppm
Conductividad eléctrica	11.34 mmho		

Tomada de Abonos Chávez y Miño SCA, 2016d.

Nota. La humedad del producto puede variar de 25 a 35 %.

### 2.8.2.1. Descripción de biopilas

La planta tiene capacidad para 45 biopilas y cada una almacena aproximadamente de 35 a 40 m<sup>3</sup> en un área lineal de cuarenta metros de largo por un metro de alto y un metro de ancho.

El material proveniente de los proveedores 1 (industria de faenamiento de aves) y 2 (industria de bebidas de consumo masivo) es recibido en la planta seis días a la semana, mientras que la gallinaza (proveedor 3) se recibe trimestralmente. Semanalmente se forman aproximadamente 2 biopilas de 16.50 toneladas, el material sobrante se dispone en las siguiente biopilas a ser formadas.

Durante el transporte del material proveniente de las plantas de tratamiento de aguas residuales y de la gallinaza los camiones están sellados y tienen una trampa para derrames, por lo cual no existen pérdidas de material. Durante la descarga de los lodos residuales en la biopila, se considera un 1 % de pérdida por residuos que se quedan los camiones.

Los porcentajes de formación de cada biopila se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3

*Porcentajes de formación de la biopila*

Materia prima	Porcentaje de volumen en biopilas (%)
Lodo residual proveedor 1	45
Lodo residual proveedor 2	45
Gallinaza proveedor 3	10
<b>Total</b>	<b>100</b>

Nota. Los porcentajes pueden variar dependiendo del volumen de materia prima correspondiente a cada proveedor que se recibe en la planta.

La gallinaza es el estiércol de aves ideal para ser utilizado en la industria agrícola por su alto contenido de nitrógeno, además contiene fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc y cobre que son los elementos esenciales para la obtención de un abono fermentado de buena calidad con la capacidad de mejorar la calidad del suelo. Adicionalmente, contiene materia orgánica que varía de acuerdo al origen de la gallinaza (Restrepo, J., 1998).

### **2.8.2.2. Preparación de microorganismos**

El proceso de compostaje se divide en dos fases; inicialmente está la fase anaeróbica cuyo tratamiento varía entre dos a seis semanas y finalmente, está la fase aeróbica, cuyo tratamiento varía de seis a diez semanas. En el transcurso de ambas fases se realiza la aplicación de microorganismos que aceleran el proceso de descomposición.

Durante la fase anaeróbica se realiza la preparación de los microorganismos con 0.1 litros de producto (Sumak MBA Cocktail) en 19.8 litros de agua y se añade 0.1 litros de melaza que se encuentra almacenada en la planta desde su fundación. Cuando se ha elaborado la mezcla, los microorganismos son aplicados por aspersión, procedimiento que se realiza en dos ocasiones durante esta fase.

Por otro lado, en la fase aeróbica los microorganismos se preparan en base a una mezcla de 1 litro de producto (Sumak MBA Cocktail) en 199 litros de agua con un litro de melaza. La aplicación de la mezcla se la realiza por goteo; tres días a la semana, con una duración de dos horas al día en época seca y de treinta minutos en época lluviosa.

Para la preparación de los microorganismos, se utiliza agua proveniente del canal de riego que llega a los tanques de almacenamiento de la planta por gravedad. Se utiliza una bomba para las operaciones que requieren mayor presión, como el lavado de los camiones después de descargar los lodos residuales o para el riego por goteo en la fase aeróbica.

La bomba tiene un consumo de energía eléctrica máximo en época seca de 21.25 kw/h para transportar 20 m<sup>3</sup> y un consumo mínimo en época húmeda de 12.75 kw/h para transportar 5 m<sup>3</sup>.

### 2.8.2.3. Volteo mecánico del material

El volteo del material se lo realiza dependiendo de la variación de humedad y temperatura que se registra en las biopilas como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4

*Volteo de material en variación de la temperatura*

Temperatura (°C)	Número de volteos a la semana
50 – 60	3
30 - 40	2
20 - 30	1

Nota. En total se realizan entre 8 y 10 volteos en la fase aerobia.

La máquina utilizada para realizar el volteo del material (Figura 7) se demora un promedio de quince minutos por biopila, y se realizan diez volteos por día, la

máquina funciona con diésel con un rendimiento de 0.042 galones por cada volteo de la biopila.

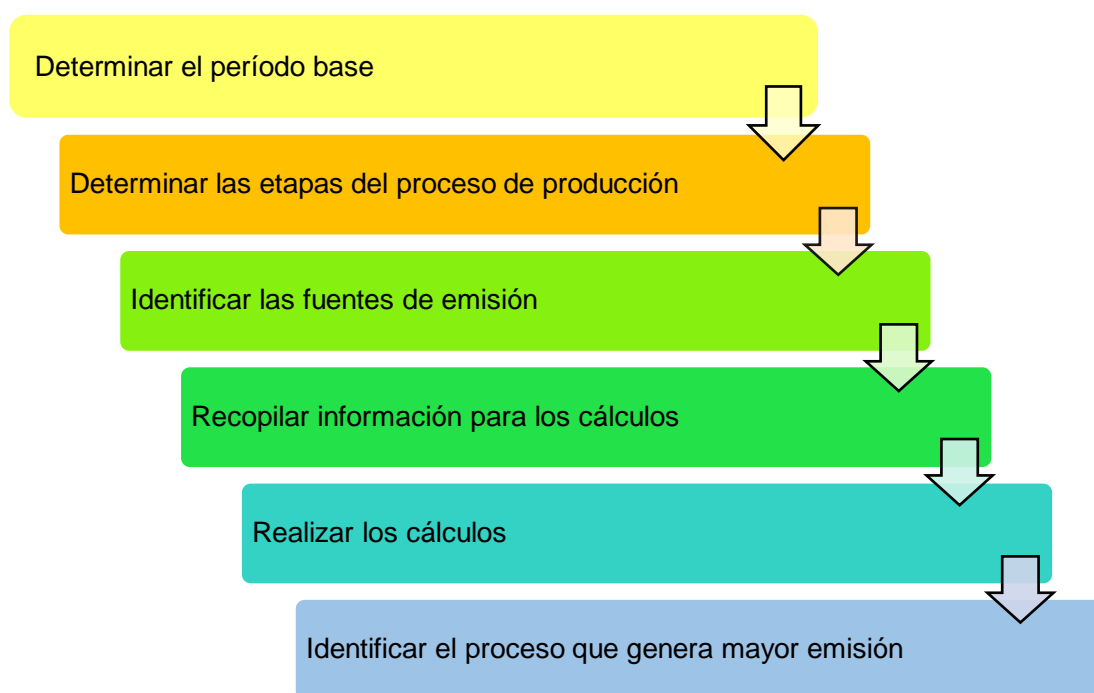


*Figura 7.* Máquina volteadora

### 3. Metodología

Para la determinación de la huella de carbono de la empresa Abonos Chávez y Miño SCA se delimitó cada etapa del proceso de producción con entradas y salidas. Posteriormente, se realizó el modelamiento mediante cálculos de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>) con la metodología estándar establecida en el PAS 2050.

En la Figura 8 se observa la metodología planteada para desarrollar la huella de carbono de la empresa Abonos Chávez y Miño SCA.



*Figura 8.* Metodología para desarrollar la huella de carbono de la empresa Abonos Chávez y Miño SCA.

#### 3.1. Determinación del período base para desarrollar la huella de carbono

La empresa Abonos Chávez y Miño SCA empezó el proceso de producción de abono orgánico en el mes de septiembre del 2015. Desde entonces, se han

llevado registros del consumo de diésel, tanto para el transporte como para el volteo mecánico, además de registros del consumo de energía eléctrica y de los insumos requeridos. Los datos recopilados desde el principio del funcionamiento de la planta de compostaje hasta agosto de 2016 fueron utilizados en el presente estudio.

### **3.2. Determinación de las etapas del proceso de producción**

La determinación de las etapas del proceso de producción es la base para recolectar la información necesaria para cada cálculo a realizar. Es así que se identificaron las siguientes etapas: transporte de la materia prima, descarga y formación de biopilas, fase anaerobia, fase aerobia, empacado de producto final y distribución del mismo. En la Figura 9 se representa el proceso de la planta.



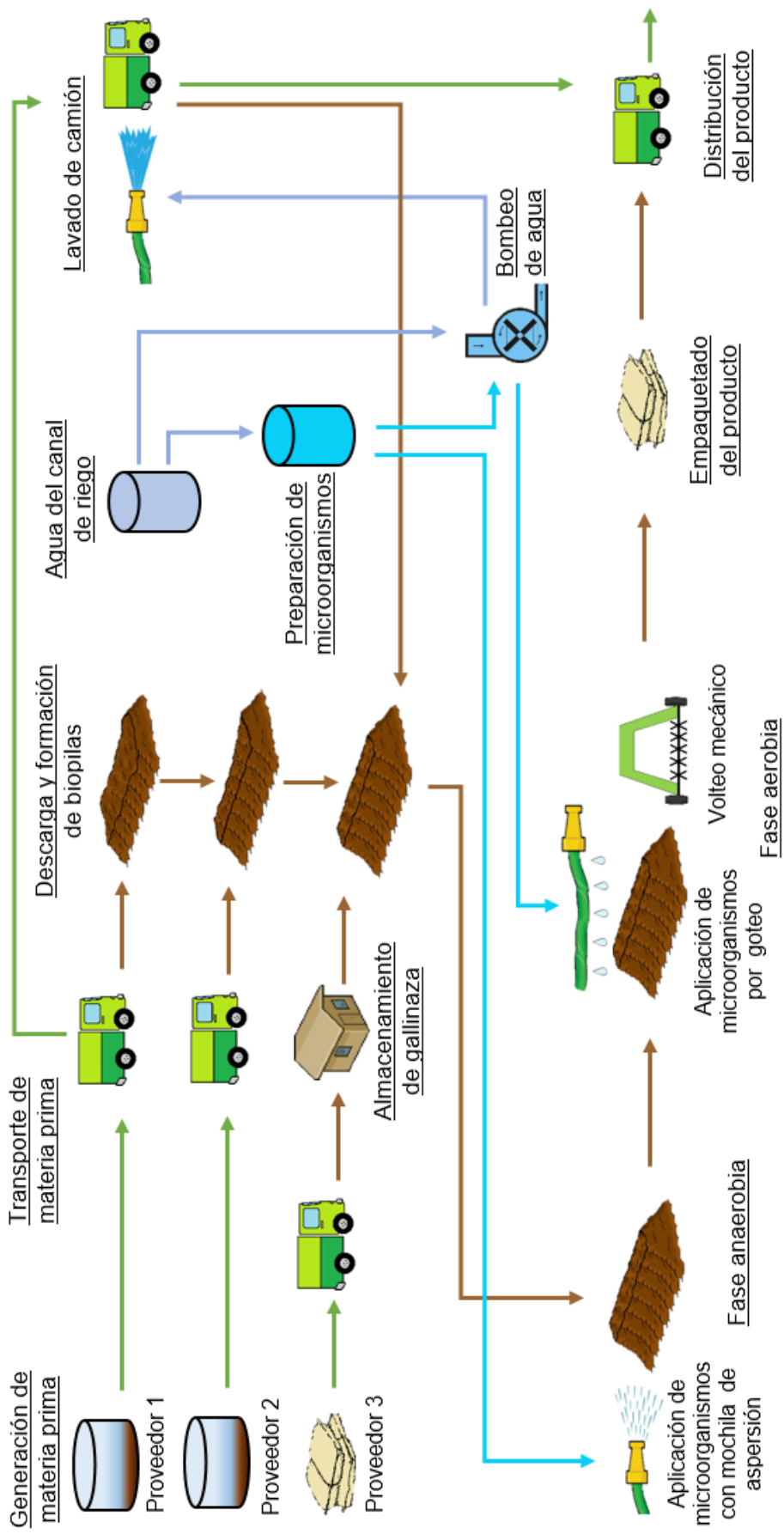


Figura 9. Diagrama de procesos de la empresa Abonos Chávez y Miño SCA. Proveedor 1 (industria de faenamiento de aves), proveedor 2 (industria de bebidas de consumo masivo, proveedor 3 (gallinaza).

### 3.2.1. Transporte de materia prima

El transporte de la materia prima es realizado por la empresa de Multiservicios Técnicos Empresariales (MTE) Coronel Chávez y CÍA, cuyos miembros son gestores ambientales aliados de la empresa Abonos Chávez y Miño SCA. La empresa cuenta con dos camiones de cinco toneladas de capacidad cada uno para transportar los lodos residuales de los proveedores 1 y 2 y la gallinaza del proveedor 3. En la Tabla 5 se presentan los recorridos desde el origen de la materia prima hasta la planta de compostaje.

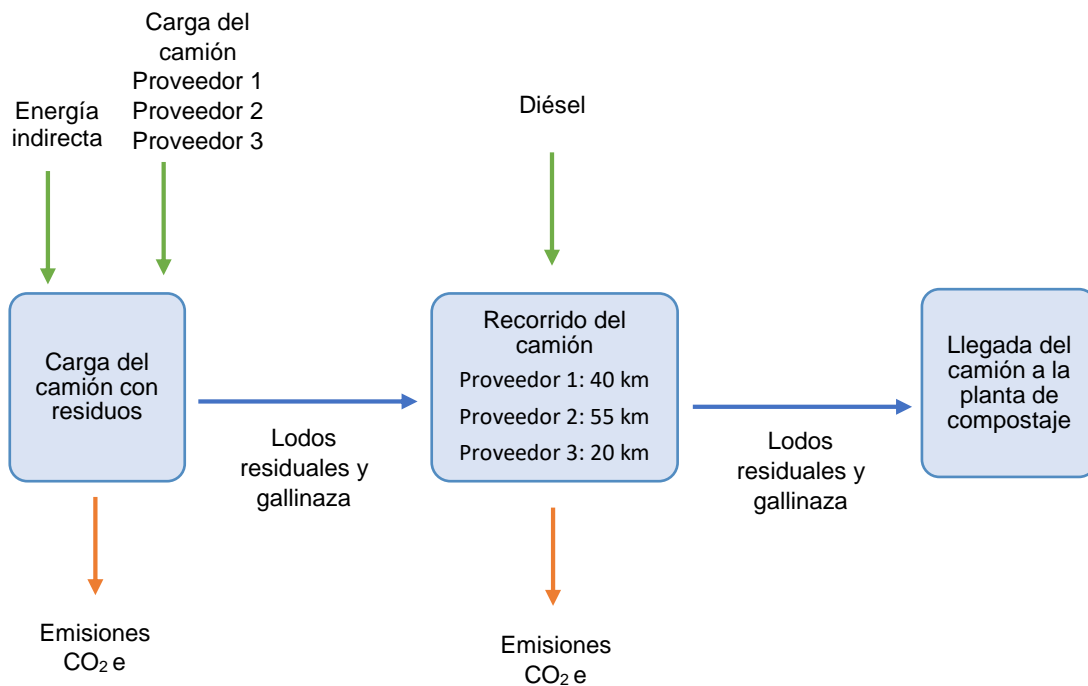
Tabla 5

#### *Transporte de la materia prima*

	Distancia de recorrido (km)	Número de recorridos a la semana (recorridos/semana)
Proveedor 1	40	6
Proveedor 2	55	6
Proveedor 3	20	1 trimestral
<b>Total</b>	<b>115</b>	

*Nota.* El material proveniente de los proveedores 1 (industria de faenamiento de aves) y 2 (industria de bebidas de consumo masivo) es recibido en la planta seis días a la semana, mientras que la gallinaza (proveedor 3) se recibe trimestralmente. El consumo de los camiones es de 1 galón por cada 50 km de recorrido.

En la Figura 10 se puede observar el diagrama de flujo del transporte de la materia prima.



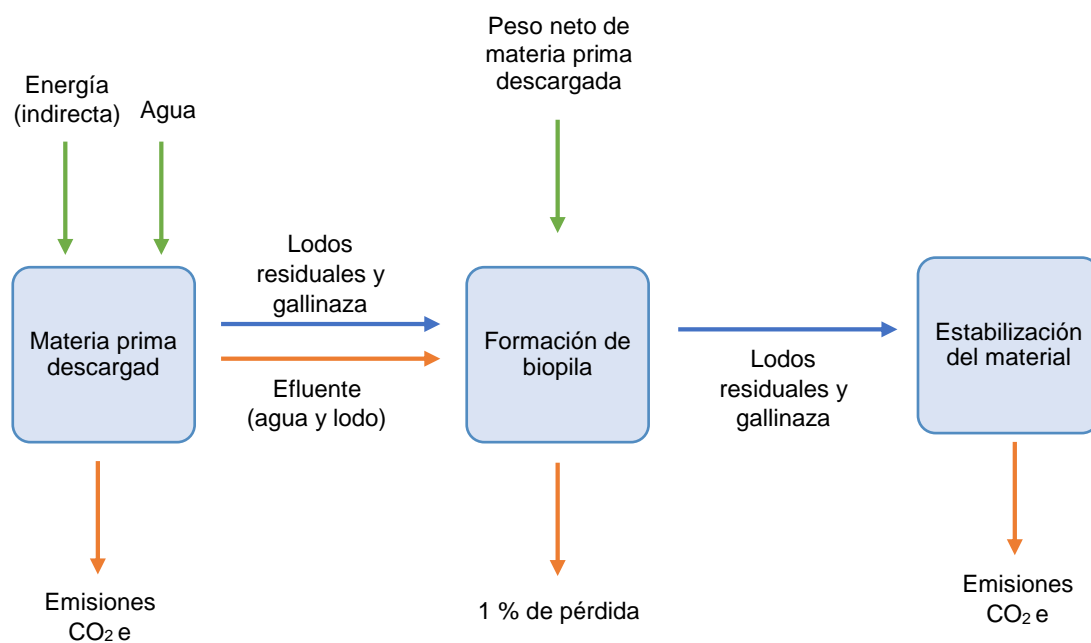
*Figura 10.* Diagrama de flujo de transporte de materia prima a la planta de Abonos Chávez y Miño SCA. La energía indirecta corresponde a las actividades administrativas.

### 3.2.2. Descarga y formación de biopilas

Una vez que los camiones llegan a la planta de compostaje, los residuos son descargados a mano. En el caso del material proveniente del proveedor 3 (gallinaza), que se recibe cada trimestre, este llega empacado en costales y se almacena en la bodega de insumos, conforme se va formando cada biopila, se va sacando el peso necesario, por tal razón no existen pérdidas por fugas.

Los camiones que transportan los lodos provenientes de los proveedores 1 y 2 se colocan directamente donde se formará cada biopila y conforme se va descargando el material manualmente, se va formando la biopila. Durante el transporte no existen pérdidas de material pues los camiones se trasladan sellados, además tienen trampas para derrames, sin embargo, durante la descarga aproximadamente el 2% de los lodos se queda en los camiones. Para

disminuir el porcentaje de pérdida, se lava el vagón del camión en el mismo lugar de descarga con agua proveniente del canal de riego que es impulsada mediante una bomba eléctrica, expulsando el lodo a la biopila recién formada. De esta forma se reduce el porcentaje de pérdidas al 1% que corresponde al volumen del material que no recibirá tratamiento. En el diagrama de flujo mostrado en la Figura 11 se puede visualizar el proceso.

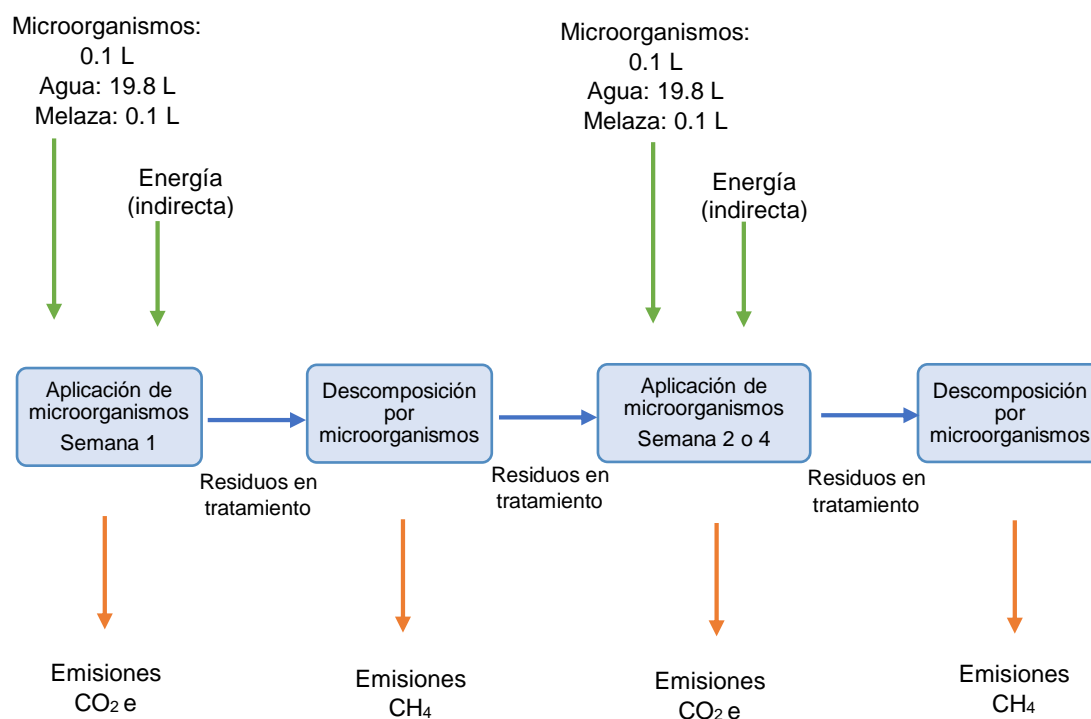


*Figura 11.* Diagrama de flujo de la descarga y formación de biopilas. Semanalmente se forma 2 biopilas de 16.50 ton aproximadamente. La energía indirecta corresponde a las actividades administrativas.

### 3.2.3. Fase anaerobia

La fase anaeróbica empieza cuando la biopila ya ha sido formada y estabilizada, puede tener una duración de dos semanas en época seca hasta seis semanas en época húmeda. La aplicación de microorganismos se realiza en dos ocasiones, al inicio de la fase y en un período intermedio con una mochila manual de aspersión. Una vez que se han aplicado los microorganismos, estos empiezan la descomposición de la materia orgánica, tomando así las fuentes de carbono y nitrógeno disponibles. Como producto de esta actividad se generan gases de efecto invernadero y por consiguiente la temperatura puede llegar a 45 °C.

En el diagrama de flujo de la fase anaeróbica está establecido en la Figura 12.



*Figura 12.* Diagrama de flujo de la fase anaerobia. La duración de esta fase varía de dos a seis semanas. La energía indirecta corresponde a las actividades administrativas.

### 3.2.4. Fase aerobia

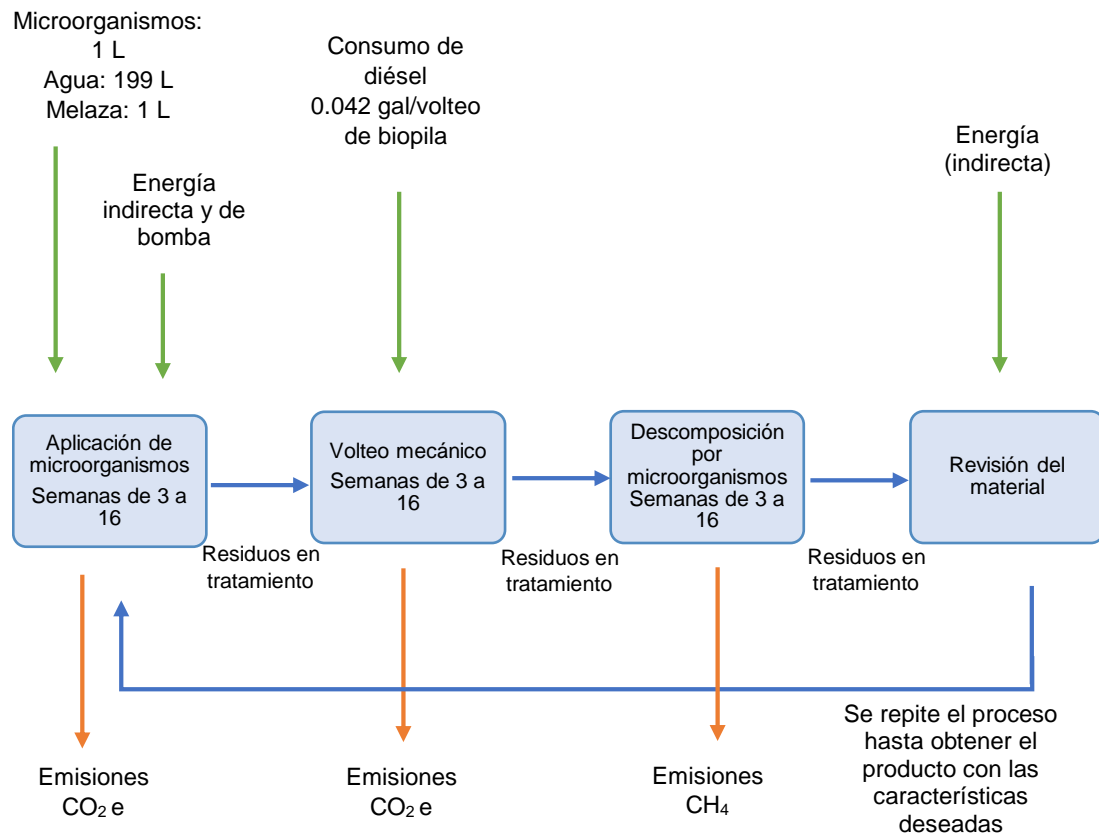
La fase aerobia tiene una duración de seis semanas en época seca y diez semanas en época húmeda. Se requiere realizar la oxigenación de la biopila pues la temperatura se eleva y puede llegar hasta los 60 °C. Este aumento de temperatura se debe a la activación de los microorganismos termófilos que se encargan de la degradación de compuestos de carbono complejos.

Cuando la biopila alcanza su temperatura más alta, los huevos de microorganismos dañinos son eliminados y se produce la higienización de la materia. A partir de este punto, la temperatura de la biopila empieza a disminuir hasta estabilizarse en 20 o 30 °C.

El número de volteos durante esta fase varía de 8 a 10 dependiendo de la temperatura y humedad de la biopila y la aplicación de microorganismos se realiza por goteo, tres veces a la semana durante dos horas al día en época seca y treinta minutos en época lluviosa. Se utiliza una bomba eléctrica para impulsar la mezcla de microorganismos por la manguera de goteo.

Se revisa el material de la biopila y cuando deja de emitir olores y el color del material se ha oscurecido, el material está listo para empacar, caso contrario, se deben realizar más aplicaciones de microorganismos y volteos mecánicos.

Se puede observar el diagrama de flujos de esta fase en la Figura 13.



*Figura 13.* Fase aerobia. La duración de esta fase varía de seis a diez semanas. La aplicación de microorganismo se realiza tres veces por semana. Se realizan entre 8 y 10 volteos del material. La energía indirecta corresponde a las actividades administrativas.

### 3.2.5. Empacado y distribución de producto

Una vez que han transcurrido de 8 a 16 semanas que dura el compostaje de los residuos, el abono orgánico está listo para ser empacado. Dicho proceso se realiza a mano, y el producto es empacado en costales de yute sintético de 25 o 50 kg. Posteriormente, los costales se cargan en los mismos camiones que dejan la materia prima en la planta. La Figura 14 contiene al diagrama de flujo de dicho proceso.

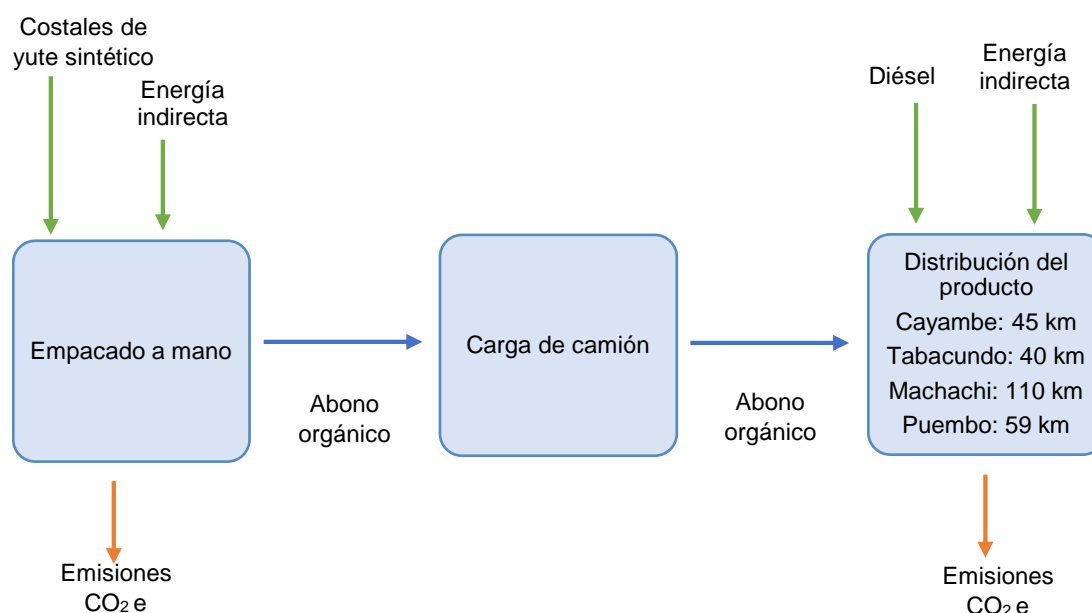


Figura 14. Diagrama de flujo de empaquetado y distribución de producto. La energía indirecta corresponde a las actividades administrativas.

### 3.3. Identificación de las fuentes de emisión

Se realizó la identificación de las fuentes de emisiones tanto directas como indirectas como se puede observar en la Tabla 6.

Tabla 6

#### Fuentes de emisión de gases contaminantes

Tipo de fuente	Fuente de emisión	Proceso
Directa móvil	Camiones	Transporte de materia prima y distribución de producto
Directa estacionaria	Volteadora mecánica	Fase aeróbica
	Biopilas	Fase aeróbica y anaeróbica
	Bomba eléctrica de agua	Fase aeróbica y lavado de camiones
Indirecta	Oficinas	Actividades administrativas

Nota. Dentro de las actividades administrativas se contemplan las oficinas de la planta de Malchinguí y de Quito.



### 3.4. Recopilación de información para los cálculos

La empresa Abonos Chávez y Miño CSA aportó la información requerida para el desarrollo de la huella de carbono del presente trabajo. Se realizaron varias entrevistas al gerente de la empresa, quien facilitó los registros del kilometraje del transporte de materia prima y distribución del producto, además de registros de la producción del abono orgánico, consumos energéticos y los procesos operativos de la planta. La información se resumió como consumos (Tabla 7) y generación de emisiones de contaminantes (Tabla 8).

Tabla 7

#### *Consumos*

Proceso	Consumo de insumos	Consumo de diésel	Consumo eléctrico
Transporte de materia prima		X	
Descarga y Formación de biopilas	X		X
Preparación de microorganismos	X		
Aplicación de microorganismos			X
Descomposición de materia orgánica			
Volteo mecánico		X	
Empacado y distribución del producto	X	X	
Administración	X		X

Tabla 8

#### *Emisiones*

Proceso	Emisiones directas	Emisiones indirectas
Transporte de materia prima	X	
Descarga y Formación de biopilas		X
Preparación de microorganismos		X
Aplicación de microorganismos		X
Descomposición de materia orgánica	X	
Volteo mecánico	X	
Empacado y distribución del producto	X	
Administración		X

Una vez que se determinaron los procesos en los cuales hay consumo de recursos o insumos y en los que se generan gases de efecto invernadero, se procedió a tabular los registros con la información pertinente para el desarrollo de la huella de carbono en cada categoría.

En la Tabla 9 se puede visualizar el peso de materia prima transportada desde su origen hasta la planta de compostaje.

Tabla 9

*Materia prima transportada*

Año	Mes	Materia prima transportada (kg)		
		Proveedor 1	Proveedor 2	Proveedor 3
2015	Septiembre	35 800	40 410	
	Octubre	53 020	71 880	9 800
	Noviembre	56 500	60 540	
	Diciembre	42 950	69 550	
2016	Enero	39 890	70 370	9 222
	Febrero	41 690	50 530	
	Marzo	31 680	57 540	
	Abril	48 730	70 470	9 790
	Mayo	59 330	68 720	
	Junio	42 130	40 900	
	Julio	54 870	35 930	9 500
	Agosto	56 160	43 370	
<b>Total</b>		<b>562 750</b>	<b>680 210</b>	<b>38 312</b>
Promedio		46 895.83	56 684.17	9 578

Durante cada descarga de los lodos residuales existe un porcentaje de pérdida del 1% de material, este último no recibirá tratamiento alguno al ser marginal (Tabla 10). Entonces los pesos que se descargan en las biopilas son el 99% del material transportado (Tabla 11).

Tabla 10

*Materia sin tratamiento*

Año	Mes	Materia sin tratamiento (kg)	
		Proveedor 1 1% de pérdida	Proveedor 2 1% de pérdida
2015	Septiembre	358.0	404.1
	Octubre	530.2	718.8
	Noviembre	565.0	605.4
	Diciembre	429.5	695.5
2016	Enero	398.9	703.7
	Febrero	416.9	505.3
	Marzo	316.8	575.4
	Abril	487.3	704.7
	Mayo	593.3	687.2
	Junio	421.3	409.0
	Julio	548.7	359.3
	Agosto	561.6	433.7
<b>Total</b>		<b>5 627.5</b>	<b>6 802.1</b>
Promedio		469.0	566.8

Tabla 11

*Materia prima descargada*

Año	Mes	Materia prima descargada (t)		
		Proveedor 1	Proveedor 2	Proveedor 3
2015	Septiembre	35.44	40.01	
	Octubre	52.49	71.16	9.80
	Noviembre	55.94	59.93	
	Diciembre	42.52	68.85	
2016	Enero	39.49	69.67	9.22
	Febrero	41.27	50.02	
	Marzo	31.36	56.96	
	Abril	48.24	69.77	9.79
	Mayo	58.74	68.03	
	Junio	41.71	40.49	
	Julio	54.32	35.57	9.50
	Agosto	55.59	42.94	
<b>Total</b>		<b>557.12</b>	<b>673.41</b>	<b>38.31</b>
Promedio		46.43	56.12	9.58

Adicionalmente, se tabularon los consumos de diésel durante el transporte de la materia prima y la distribución del producto (Tabla 12).

Tabla 12

*Consumo de combustible en transporte*

Año	Mes	Consumo (gal)			Distribución del producto
		Proveedor 1	Proveedor 2	Proveedor 3	
2015	Septiembre	19.2	26.4		38.6
	Octubre	19.0	26.5	0.4	27.4
	Noviembre	19.1	26.2		33.3
	Diciembre	19.1	26.4		27.7
2016	Enero	19.3	26.4	0.5	35.5
	Febrero	19.3	26.3		39.1
	Marzo	19.2	26.5		29.9
	Abril	19.2	26.6	0.5	38.3
	Mayo	19.0	26.4		28.5
	Junio	19.0	26.5		37.9
	Julio	19.3	26.4	0.4	34.8
	Agosto	19.1	26.4		31.5
<b>Total</b>		<b>229.8</b>	<b>317.0</b>	<b>1.8</b>	<b>402.5</b>
Promedio		19.2	26.4	0.5	33.5

Para realizar los volteos mecánicos, la máquina que utiliza la empresa utiliza diésel para su funcionamiento, en la Tabla 13 se puede observar el consumo que se registró en el período de estudio.

Tabla 13

*Consumo de diésel en el volteo mecánico*

Año	Mes	Consumo (gal)
2015	Septiembre	10.1
	Octubre	9.6
	Noviembre	9.8
	Diciembre	9.9
2016	Enero	10
	Febrero	9.7
	Marzo	9.4
	Abril	10.2
	Mayo	8.2
	Junio	7.5
	Julio	8.8
	Agosto	7.9
<b>Total</b>		<b>111.1</b>
Promedio		9.3

Finalmente, se tabuló la información correspondiente al consumo de energía eléctrica, tanto de la oficina de Quito como de la planta en Malchinguí (Tabla 14).

Tabla 14

*Consumo de energía eléctrica*

Año	Mes	Consumo (kWh)		
		Bomba	Oficina Malchinguí	Oficina Quito
2015	Septiembre	20.40	2.50	15.30
	Octubre	13.10	3.40	15.70
	Noviembre	14.20	3.10	13.60
	Diciembre	12.90	2.60	15.20
2016	Enero	12.50	2.90	14.80
	Febrero	13.60	2.40	14.20
	Marzo	13.20	3.70	15.00
	Abril	12.70	3.10	15.30
	Mayo	21.80	2.50	14.60
	Junio	20.70	3.60	13.80
	Julio	22.30	3.20	13.20
	Agosto	22.70	2.60	15.10
<b>Total</b>		<b>200.10</b>	<b>35.60</b>	<b>175.80</b>
Promedio		16.68	2.97	14.65

La planta obtiene agua por el canal de riego que llega por gravedad a los tanques de almacenamiento, en época seca se consumen 20 m<sup>3</sup>/mes mientras que en época húmeda 5 m<sup>3</sup>/mes. El agua es bombeada desde los tanques de almacenamiento a las diferentes áreas para su uso.

### **3.5. Cálculo de la huella de carbono**

Para el cálculo de la huella de carbono del presente trabajo, se siguió la metodología que plantea el PAS 2050; donde, después de determinar las fuentes de emisión de gases contaminantes, se debe obtener la información primaria proveniente de los registros de la empresa y la información de fuentes secundarias; para proceder a realizar los cálculos.

Las emisiones de cada fuente se obtuvieron por la multiplicación de las unidades funcionales por el factor de emisión correspondiente a cada actividad. Después, las emisiones calculadas se transformaron a unidades de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) multiplicando por el potencial de calentamiento global (GWP) correspondiente a cada gas.

Al final se sumaron todas las emisiones transformadas para obtener el valor de la huella de carbono del ciclo de vida parcial del abono orgánico.

#### **3.5.1. Emisiones directas**

Las emisiones que se identificaron provienen del transporte de la materia prima y de la distribución del producto a sus clientes, del volteo mecánico y de la descomposición de la materia orgánica en la biopilas.

En el enfoque *cradle to gate* del PAS 2050, se establece que se debe considerar el transporte de la materia prima con la que se realiza el producto, además de todos los procesos de transformación que sufre la materia, hasta que llega a manos del cliente.

### 3.5.1.1. Emisiones por combustión de fuente móvil

Las emisiones provenientes de la combustión de fuentes móviles, tanto del transporte de la materia prima, como de la distribución del producto, se obtuvieron mediante la solución de tres ecuaciones, las cuales difieren entre sí por el factor de emisión perteneciente a cada gas contaminante. La siguiente ecuación se utilizó para el cálculo de las emisiones de dióxido de carbono:

$$\text{Emisiones de } CO_2 \text{ [kg } CO_2 \text{ e]} = \sum_a(\text{Combustible}_a * EF_a) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

Emisión de  $CO_2$  = emisiones de  $CO_2$  [kg]

Combustible = combustible consumido [TJ]

EF = factor de emisión [kg/TJ]

a = tipo de combustible

Las unidades de los volúmenes de combustible consumidos se transformaron a energía, es decir, de galones a julios, utilizando el valor de la densidad del diésel de 0.840667 kg/L y el poder calorífico de  $4.3 \times 10^{-5}$  TJ/kg. Adicionalmente, para el cálculo de las emisiones de  $CO_2$ , se tomó el factor de emisión de diésel para fuentes móviles propuesto en las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero [74 100 kg/TJ].

Para determinar las emisiones de metano y óxido nitroso generadas se utilizaron las ecuaciones 2 y 3, respectivamente.

$$\text{Emisiones de } CH_4 \text{ [kg } CH_4] = \sum_a(\text{Combustible}_a * EF_a) \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

Emisión de CH<sub>4</sub> = emisiones de CH<sub>4</sub> [kg]

Combustible = combustible consumido [TJ]

EF = factor de emisión [kg/TJ]

a = tipo de combustible

$$Emisiones\ de\ N_2O\ [kg\ N_2O] = \sum_a (Combustible_a * EF_a) \quad (Ecuación\ 3)$$

Donde:

Emisión de N<sub>2</sub>O = emisiones de N<sub>2</sub>O [kg]

Combustible = combustible consumido [TJ]

EF = factor de emisión [kg/TJ]

a = tipo de combustible

El factor de emisión para ambas ecuaciones es 3.9 kg/TJ y fue tomado de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Una vez que se calcularon las emisiones de metano y óxido nitroso, siguiendo la metodología del PAS 2050, se procedió a multiplicar los valores obtenidos por el potencial de calentamiento global (GWP) de cada gas, este es una medida para determinar cuánto calor puede retener un gas en comparación con un valor de referencia, en este caso el dióxido de carbono cuyo GWP es 1 (BSI, 2011); a las emisiones de metano se las multiplicó por 28 y a las emisiones de óxido nitroso se las multiplicó por 265.

### 3.5.1.2. Emisiones por combustión de fuente estacionaria

La máquina de volteo mecánico se consideró como una fuente estacionaria de generación de gases de efecto invernadero. Al igual que en la obtención de las



emisiones de contaminantes por combustión de fuente móvil, se utilizó la herramienta PAS 2050, la cual plantea la determinación de las emisiones multiplicando el combustible consumido por el factor de emisión de cada gas. Para empezar se calcularon las emisiones de dióxido de carbono mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones de } CO_2 \text{ [kg } CO_2 \text{ e]} = \sum_a(\text{Combustible}_a * EF_a) \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

Emisión de  $CO_2$  = emisiones de  $CO_2$  [kg]

Combustible = combustible consumido [TJ]

EF = factor de emisión [kg/TJ]

a = tipo de combustible

El combustible consumido se representó en unidades de energía, se realizó la conversión utilizando la densidad del diésel de 0.840667 kg/L y el poder calorífico de  $4.3 \times 10^{-5}$  TJ/kg.

Según el documento “Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero”, la maquinaria móvil utilizada en la industria agrícola es catalogada como equipo todo terreno y su respectivo análisis se encuentra en el capítulo de fuentes móviles (IPCC, 2006c). El factor de emisión que plantea para emisiones de  $CO_2$  es 74 100 kg/TJ.

Para la determinación de emisiones de metano se utilizó la ecuación mostrada a continuación:

$$\text{Emisiones de } CH_4 \text{ [kg } CH_4\text{]} = \sum_a(\text{Combustible}_a * EF_a) \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

Emisión de  $CH_4$  = emisiones de  $CH_4$  [kg]

Combustible = combustible consumido [TJ]

EF = factor de emisión [kg/TJ]

a = tipo de combustible

De igual manera, como se realizó anteriormente, se transformó el volumen de combustible consumido a unidades de energía. El factor de emisión que se utilizó se obtuvo de las Directrices del IPCC de 2006 [4.15 kg/TJ]. Posteriormente se multiplicó el valor de emisiones obtenidas por 28, para obtener el equivalente en unidades de CO<sub>2</sub>e.

La ecuación 6 fue utilizada para calcular las emisiones de óxido nitroso.

$$\text{Emisiones de } N_2O \text{ [kg } N_2O] = \sum_a (\text{Combustible}_a * EF_a) \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

Emisión de N<sub>2</sub>O = emisiones de N<sub>2</sub>O [kg]

Combustible = combustible consumido [TJ]

EF = factor de emisión [kg/TJ]

a = tipo de combustible

Se siguió el mismo procedimiento que en la determinación de emisiones de metano, es decir, se transformaron las unidades de volumen de combustible consumido a unidades de energía. El factor de emisión se obtuvo de la misma fuente del IPCC con un valor de 28.6 kg/TJ. Y por último, para obtener el equivalente en unidades de dióxido de carbono equivalente, se multiplicaron los kilogramos obtenidos de emisión por 265.

### 3.5.1.3. Emisiones por tratamiento de materia orgánica

Según las directrices del IPCC, los lodos originados en plantas de tratamiento de aguas residuales se deben analizar dentro de las emisiones provenientes del tratamiento y eliminación de aguas residuales, a no ser que este lodo sea

transportado a otro lugar para su tratamiento; como es el caso del presente trabajo. Por esta razón se consideraron las emisiones en la categoría de desechos (IPCC, 2006b).

Para el cálculo de la huella de carbono proveniente de la descomposición de materia orgánica, el IPCC considera declarar sólo a las emisiones de metano y óxido nítrico, y no a las emisiones de dióxido de carbono por ser de origen biogénico (IPCC, 2006d).

Para determinar las emisiones de metano y óxido nítrico se utilizaron las ecuaciones 7 y 8, respectivamente.

$$\text{Emisiones de } CH_4 \text{ [Gg } CH_4] = \sum_a (M_a * EF_a) * 10^{-3} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

Emisión de  $CH_4$  = emisiones de  $CH_4$  [Gg de  $CH_4$ ]

M = masa de materia orgánica en tratamiento [Gg]

EF = factor de emisión [g de  $CH_4$ /kg de materia orgánica]

a = compostaje

$$\text{Emisiones de } N_2O \text{ [Gg } N_2O] = \sum_a (M_a * EF_a) * 10^{-3} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

Emisión de  $N_2O$  = emisiones de  $N_2O$  [Gg]

M = masa de materia orgánica en tratamiento [Gg]

EF = factor de emisión [g de  $N_2O$ /kg de materia orgánica]

a = compostaje

Se utilizaron los factores de emisión por defecto del IPCC para metano y óxido nítrico, 4 g/kg y 0.3 g/kg, respectivamente. Para obtener el equivalente de

dióxido de carbono, se multiplicaron los valores por su respectivo potencial de calentamiento global (metano: 28, óxido nitroso: 265).

#### 3.5.1.4. Emisiones de fuga

Durante el proceso de descarga y formación de las biopilas se identificó un 1% de la materia orgánica transportada que no formó parte de las biopilas, es decir que no recibió tratamiento. Por esta razón, se calcularon las emisiones procedentes de este 1% por medio de la metodología propuesta por la EPA para la eliminación de desechos sin tratamiento previo. Así, la ecuación 9 sirve para determinar las emisiones de metano.

$$Emisiones\ de\ CH_4\ [Mg\ CH_4] = \left[ \sum_{x=s}^{T-1} \{W_x * L_x * (e^{-k(T-X-1)} - e^{-k(T-X)})\} \right]$$

(Ecuación 9)

Donde:

Emisión de CH<sub>4</sub> = emisiones de CH<sub>4</sub> [Mg]

X= año en el que se dispuso la materia orgánica

S= año de inicio del inventario

T= año de inventario para el que se calculan las emisiones

W<sub>x</sub>= cantidad de materia orgánica depositada [Mg]

L<sub>x</sub>= potencial de generación [m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/Mg de materia orgánica]

k= constante de reacción [año<sup>-1</sup>]

La constante de reacción por defecto que plantea la EPA para lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales en climas templados es 0.185 año<sup>-1</sup>

El potencial de generación de metano se calculó siguiendo la ecuación 10.

$$L_x = 493 * DOC \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

$L_x$ = Potencial de generación [ $m^3$  de  $CH_4$ /Mg de materia orgánica]

DOC= carbono orgánico degradable [Mg de carbono en materia orgánica/  
Mg de materia orgánica]

La EPA propone un valor de 0.05 (Mg de carbono en materia orgánica / Mg de materia orgánica) para el carbono orgánico degradable (DOC) correspondiente a lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales.

A continuación se transformaron las emisiones de metano a dióxido de carbono mediante el respectivo equivalente.

Por otro lado, las emisiones de dióxido de carbono se calcularon de acuerdo a la ecuación 11.

$$\text{Emisiones de } CO_2 \text{ [kg } CO_2 \text{ e]} = \text{Emisiones de } CH_4 * \left( \frac{1 - F}{F} + OX \right) * \frac{44}{16} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

Emisión de  $CO_2$  = emisiones de  $CO_2$  [Mg]

Emisiones de  $CH_4$ = emisiones de  $CH_4$  [Mg] (ecuación 10)

F= fracción de volumen de  $CH_4$

OX= fracción de oxidación del suelo

44/16= pesos moleculares de  $CO_2$  y  $CH_4$  [kg/kg mol]

Par la solución de la ecuación 12 se utilizaron los valores que la EPA plantea por defecto para la fracción de volumen de CH<sub>4</sub> y para la fracción de oxidación del suelo, esto es 0.5 y 0.1, respectivamente.

### 3.5.2. Emisiones indirectas

Las emisiones indirectas son las que se generan por fuentes sobre las cuales la empresa no tiene control. En la empresa Abonos Chávez y Miño SCA se identificaron emisiones indirectas por la compra y uso del servicio de energía eléctrica.

#### 3.5.2.1. Emisiones por consumo de energía eléctrica

La EPA desarrolló un documento en el 2016 sobre emisiones indirectas, en el cual se explica el cálculo a seguir para la cuantificación de las emisiones generadas por el consumo de electricidad comprada. Se utilizó la ecuación 12.

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ [t CO}_2 \text{ e]} = \sum(\text{EC} * \text{EF}) \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde:

Emisión de CO<sub>2</sub> = emisiones de CO<sub>2</sub> [t]

EC = Energía eléctrica consumida [MWh]

EF = factor de emisión [t CO<sub>2</sub> / MWh]

El factor de emisión del dióxido de carbono se tomó del informe “Factor de emisión de CO<sub>2</sub> del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador” publicado por el Ministerio del Ambiente en el 2013, dicho valor es igual a 0.5076 t CO<sub>2</sub>/MWh.

### 3.5.3. Huella de carbono total

Una vez que se calcularon las emisiones provenientes de las fuentes directas e indirectas, y se transformaron los valores a toneladas de dióxido de carbono equivalente (t CO<sub>2</sub>e). Se procedió a calcular la huella de carbono total del ciclo de vida parcial del abono orgánico mediante la sustitución de los parámetros requeridos en la ecuación 13.

$$\text{Huella de Carbono [t CO}_2\text{ e]} = \text{EFF} + \text{EFE} + \text{ETMO} + \text{EF} + \text{ECE}$$

(Ecuación 13)

Donde:

Huella de carbono = emisiones de CO<sub>2</sub> [t CO<sub>2</sub> e]

EEF= emisiones por combustión de fuente fija [t CO<sub>2</sub> e]

EFE= emisiones por combustión de fuente estacionaria [t CO<sub>2</sub> e]

EDMO= emisiones por tratamiento de materia orgánica [t CO<sub>2</sub> e]

EF= emisiones de fuga [t CO<sub>2</sub> e]

ECE= emisiones por consumo de energía eléctrica [t CO<sub>2</sub> e]

### 3.6. Huella de carbono de la materia orgánica sin tratamiento

Para tener una perspectiva diferente, después de haber calculado las emisiones provenientes de las 1 268.84 toneladas de materia orgánica durante el proceso de compostaje; se calculó para el mismo volumen de materia orgánica, las emisiones que serían generadas en caso de que esta no reciba tratamiento alguno, es decir, que todo este material sea dispuesto directamente en un relleno sanitario. Los cálculos que se realizaron corresponden a las ecuaciones 9, 10 y 11 que se mostraron anteriormente.

### **3.7. Identificación del proceso que genera mayor emisión de contaminantes gaseosos**

Una vez que se calcularon las emisiones provenientes de cada fuente, se realizó el análisis de los resultados obtenidos, posteriormente se identificó el proceso donde se genera la mayor cantidad de gases de efecto invernadero.

## **4. Resultados**

### **4.1. Resultados de las emisiones directas**

Las emisiones directas de los gases de efecto invernadero identificadas son generadas por fuentes que son propiedad de la empresa Abono Chávez y Miño SCA, por lo cual se tiene control sobre ellas.

Así, las emisiones que fueron calculadas provienen de: combustión móvil, combustión estacionaria, tratamiento de la materia orgánica y descomposición de materia prima que se perdió durante las descargas en las biopilas.

#### **4.1.1. Resultados de las emisiones por combustión de fuente móvil**

Las emisiones provenientes de las actividades de transporte de materia prima y distribución del abono orgánico que se contabilizaron para el período de estudio fueron 9.804 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (t CO<sub>2</sub>e).

En la Tabla 15 se pueden observar los resultados correspondientes a la generación mensual de CO<sub>2</sub> equivalente.

Adicionalmente, en la Tabla 16 se presentan las emisiones generadas de acuerdo a los recorridos realizados, es decir, las toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente



que son emitidas durante el transporte de la materia prima desde el establecimiento de cada proveedor y durante la distribución del producto hasta el cliente.

Tabla 15

*Emissiones de CO<sub>2</sub> equivalente por combustión de fuente móvil*

Año	Mes	Consumo de combustible (TJ)	Emissiones CO <sub>2</sub> (t CO <sub>2</sub> e)	Emissiones CH <sub>4</sub> (t CO <sub>2</sub> e)	Emissiones N <sub>2</sub> O (t CO <sub>2</sub> e)	Total (t CO <sub>2</sub> e)
2015	Sep	1.16E-02	8.56E-01	1.26E-03	1.19E-02	<b>8.69E-01</b>
	Oct	1.00E-02	7.41E-01	1.09E-03	1.03E-02	<b>7.53E-01</b>
	Nov	1.08E-02	7.99E-01	1.18E-03	1.11E-02	<b>8.12E-01</b>
	Dic	1.01E-02	7.45E-01	1.10E-03	1.04E-02	<b>7.56E-01</b>
2016	En	1.11E-02	8.26E-01	1.22E-03	1.15E-02	<b>8.39E-01</b>
	Feb	1.16E-02	8.62E-01	1.27E-03	1.20E-02	<b>8.75E-01</b>
	Mar	1.04E-02	7.69E-01	1.13E-03	1.07E-02	<b>7.81E-01</b>
	Abr	1.15E-02	8.55E-01	1.26E-03	1.19E-02	<b>8.69E-01</b>
	May	1.01E-02	7.52E-01	1.11E-03	1.05E-02	<b>7.63E-01</b>
	Jun	1.14E-02	8.48E-01	1.25E-03	1.18E-02	<b>8.61E-01</b>
	Jul	1.10E-02	8.19E-01	1.21E-03	1.14E-02	<b>8.31E-01</b>
	Ag	1.06E-02	7.83E-01	1.15E-03	1.09E-02	<b>7.95E-01</b>
<b>Total</b>						<b>9.80</b>

Tabla 16

*Emissiones de CO<sub>2</sub> equivalente por recorrido de fuente móvil*

	Proveedor 1 (t CO <sub>2</sub> e)	Proveedor 2 (t CO <sub>2</sub> e)	Proveedor 3 (t CO <sub>2</sub> e)	Distribución del producto (t CO <sub>2</sub> e)	Total
Emissiones CO <sub>2</sub>	2.33	3.22	1.83E-02	4.09	
Emissiones CH <sub>4</sub>	3.44E-03	4.74E-03	2.69E-05	6.02E-03	<b>Total</b>
Emissiones N <sub>2</sub> O	3.25E-02	4.49E-02	2.55E-04	5.70E-02	
<b>Total</b>	<b>2.37</b>	<b>3.27</b>	<b>1.86E-02</b>	<b>4.15</b>	<b>9.8</b>

Se tomaron las emisiones totales por cada recorrido realizado y se determinó que el 42.32% de las emisiones corresponden al recorrido realizado para distribuir el producto, mientras que el 24.16%, 33.33% y 0.19% corresponden a los recorridos realizados desde los proveedores 1, 2 y 3, respectivamente.

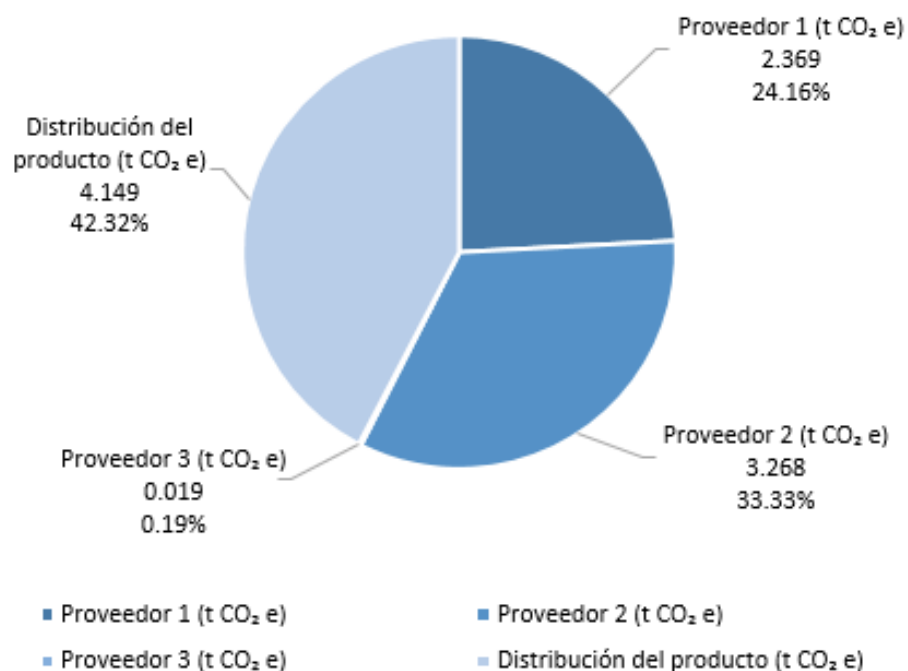


Figura 15. Porcentaje de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por recorrido.

#### 4.1.2. Resultados de las emisiones por combustión de fuente estacionaria

Se determinó que la combustión llevada a cabo durante el volteo mecánico generó 1.25 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente durante el año de inventario, como se puede visualizar en la Tabla 17.

En la Figura 16 se representan las toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente correspondientes a cada contaminante atmosférico. En este sentido, 1.13 toneladas de CO<sub>2</sub>e pertenecen a las emisiones de dióxido de carbono, 0.0018

toneladas de CO<sub>2</sub>e equivalen a las emisiones de metano y 0.121 toneladas de CO<sub>2</sub>e corresponden a las emisiones de óxido nitroso.

Tabla 17

*Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por combustión de fuente estacionaria*

Año	Mes	Consumo (gal)	Emisiones CO <sub>2</sub> (t CO <sub>2</sub> e)	Emisiones CH <sub>4</sub> (t CO <sub>2</sub> e)	Emisiones N <sub>2</sub> O (t CO <sub>2</sub> e)	Total (t CO <sub>2</sub> e)
2015	Sep	10.1	1.0E-01	1.6E-04	1.0E-02	<b>1.1E-01</b>
	Oct	9.6	9.7E-02	1.5E-04	1.0E-02	<b>1.1E-01</b>
	Nov	9.8	9.9E-02	1.6E-04	1.0E-02	<b>1.1E-01</b>
	Dic	9.9	1.0E-01	1.6E-04	1.0E-02	<b>1.1E-01</b>
2016	En	10	1.0E-01	1.6E-04	1.0E-02	<b>1.1E-01</b>
	Feb	9.7	9.8E-02	1.5E-04	1.0E-02	<b>1.1E-01</b>
	Mar	9.4	9.5E-02	1.5E-04	9.8E-03	<b>1.1E-01</b>
	Abr	10.2	1.0E-01	1.6E-04	1.1E-02	<b>1.1E-01</b>
	May	8.2	8.3E-02	1.3E-04	8.5E-03	<b>9.2E-02</b>
	Jun	7.5	7.6E-02	1.2E-04	7.8E-03	<b>8.4E-02</b>
	Jul	8.8	8.9E-02	1.4E-04	9.1E-03	<b>9.9E-02</b>
	Ag	7.9	8.0E-02	1.3E-04	8.2E-03	<b>8.9E-02</b>
<b>Total</b>		<b>111.1</b>	<b>1.13</b>	<b>1.8E-03</b>	<b>1.2E-01</b>	<b>1.21</b>

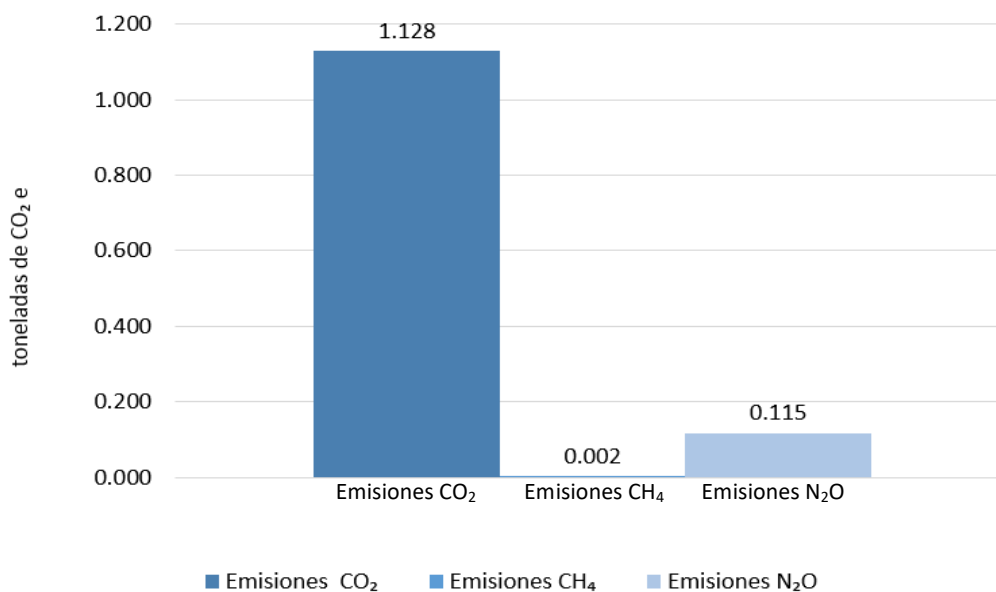


Figura 16. Emisiones por combustión de fuente estacionaria.

#### 4.1.3. Resultados de las emisiones por tratamiento de materia orgánica

Durante el período de inventario, se dio tratamiento a un total de 1 268.84 toneladas de materia orgánica, los cuales generaron 242.98 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente. La Tabla 18 enseña las emisiones por cada mes de tratamiento de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso transformados en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

Tabla 18

*Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por tratamiento de materia orgánica*

Año	Mes	Materia prima tratada (t)	Emisiones CH <sub>4</sub> (t CO <sub>2</sub> e)	Emisiones N <sub>2</sub> O (t CO <sub>2</sub> e)	Total (t CO <sub>2</sub> e)
2015	Sep	78.72	8.82	6.26	<b>15.07</b>
	Oct	126.92	14.22	10.09	<b>24.31</b>
	Nov	119.14	13.34	9.47	<b>22.81</b>
	Dic	114.45	12.82	9.09	<b>21.92</b>
2016	En	112.23	12.57	8.92	<b>21.49</b>
	Feb	94.37	10.57	7.50	<b>18.07</b>
	Mar	91.59	10.26	7.28	<b>17.54</b>
	Abr	121.27	13.58	9.64	<b>23.22</b>
	May	130.03	14.56	10.34	<b>24.90</b>
	Jun	85.37	9.56	6.79	<b>16.35</b>
	Jul	93.06	10.42	7.39	<b>17.82</b>
	Ag	101.70	11.39	8.08	<b>19.48</b>
<b>Total</b>		<b>1 268.84</b>	<b>142.11</b>	<b>100.87</b>	<b>242.98</b>

La Figura 17 muestra proporcionalmente las emisiones generadas por el tratamiento de la materia orgánica. Se puede observar que los meses con mayores emisiones son octubre del 2015 y mayo del 2016.

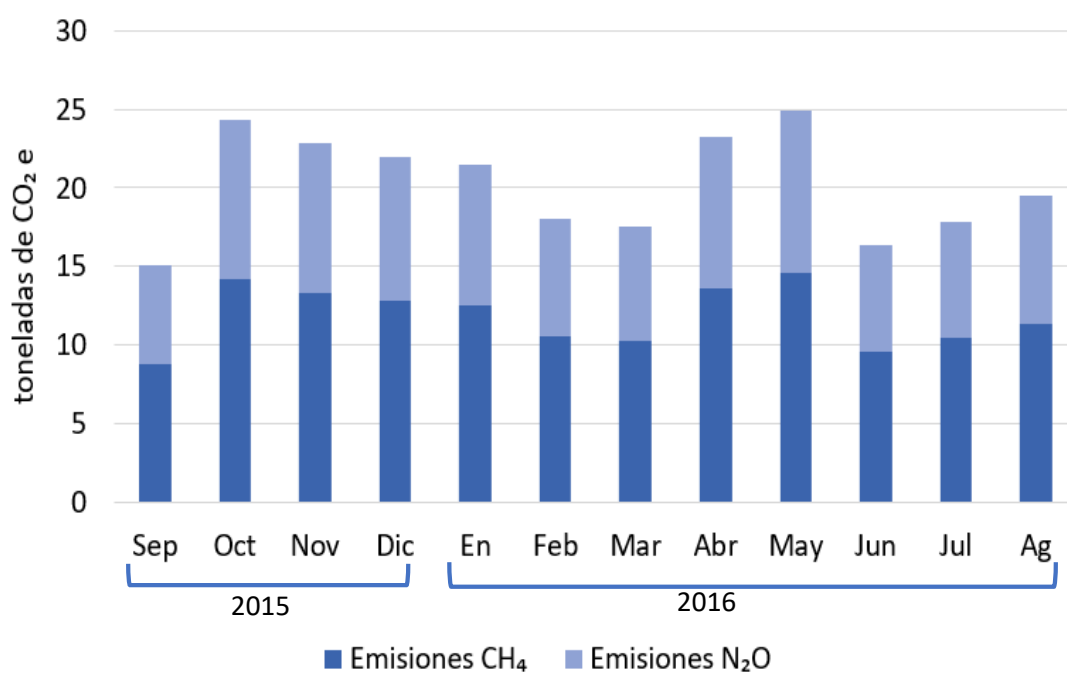


Figura 17. Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por tratamiento de materia orgánica.

#### 4.1.4. Resultados de las emisiones de fuga

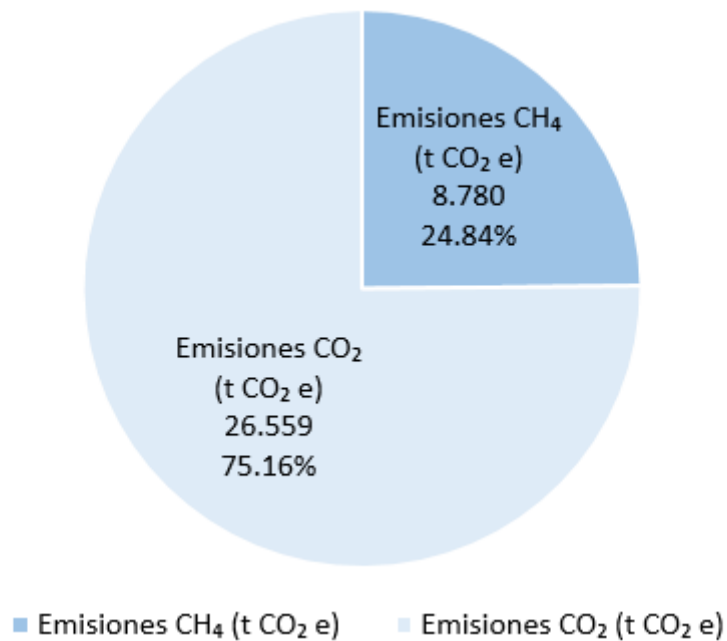
El peso de la materia orgánica que no recibió tratamiento durante el año de inventario fue 12.42 toneladas, los cuales generaron 35.34 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente como se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19

*Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por materia prima perdida*

Materia prima perdida (t)	Emisiones de CH <sub>4</sub> (t CO <sub>2</sub> e)	Emisiones de CO <sub>2</sub> (t CO <sub>2</sub> e)	<b>Total</b> (t CO <sub>2</sub> e)
12.429	8.78	26.56	<b>35.34</b>

En la Figura 18 se puede observar el porcentaje correspondiente a las emisiones de metano y dióxido de carbono que se generaron, donde las emisiones de dióxido de carbono son tres veces mayores a las de metano.



*Figura 18.* Porcentaje de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por materia prima perdida.

#### 4.1.5. Resultados de las emisiones directas

Al sumar las emisiones de las fuentes de emisión directa, se obtuvo un total de 289.37 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente. En la Tabla 20 se muestra el detalle de las emisiones generadas.

Tabla 20

*Sumatoria de emisiones directas de CO<sub>2</sub> equivalente*

	Emisiones CO <sub>2</sub> (t CO <sub>2</sub> e)	Emisiones CH <sub>4</sub> (t CO <sub>2</sub> e)	Emisiones N <sub>2</sub> O (t CO <sub>2</sub> e)	<b>Total</b> (t CO <sub>2</sub> e)
Combustión de fuente móvil	9.66	1.42E-02	0.14	<b>9.80</b>
Combustión de fuente estacionaria	1.13	1.77E-03	0.12	<b>1.25</b>
Tratamiento de materia orgánica	0.000	142.11	100.87	<b>242.98</b>
Pérdida de materia prima	26.56	8.78	0.000	<b>35.34</b>
<b>Total</b>	<b>37.34</b>	<b>150.91</b>	<b>101.12</b>	<b>289.37</b>

Nota. La metodología de la EPA que fue utilizada no considera a las emisiones de óxido nitroso cuando la materia orgánica se descompone sin pasar por algún tratamiento.

#### 4.2. Resultados de las emisiones indirectas

Las emisiones indirectas son generadas a causa de la generación de energía eléctrica que la empresa compra y consume, son emitidas por fuentes que no son propiedad de la empresa Abono Chávez y Miño SCA, por lo tanto, la empresa no tiene control sobre estas.

##### 4.2.1. Resultados de las emisiones por consumo de energía

La empresa consumió un total de 411.5 kWh durante el año de inventario, los mismos que generaron 208.88 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente. En la Tabla 21 se pueden observar los consumos mensuales de energía eléctrica con su respectivo valor de generación de emisiones. Estos consumos están representados gráficamente en la Figura 19.

Tabla 21

*Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por consumo mensual de energía eléctrica*

Año	Mes	Consumo de electricidad (kWh)	Total (t CO <sub>2</sub> e)
2015	Sep	38.20	<b>19.39</b>
	Oct	32.20	<b>16.34</b>
	Nov	30.90	<b>15.68</b>
	Dic	30.70	<b>15.58</b>
2016	En	30.20	<b>15.32</b>
	Feb	30.20	<b>15.33</b>
	Mar	31.90	<b>16.19</b>
	Abr	31.10	<b>15.79</b>
	May	38.90	<b>19.74</b>
	Jun	38.10	<b>19.34</b>
	Jul	38.70	<b>19.64</b>
	Ag	40.40	<b>20.51</b>
<b>Total</b>		<b>411.50</b>	<b>208.88</b>

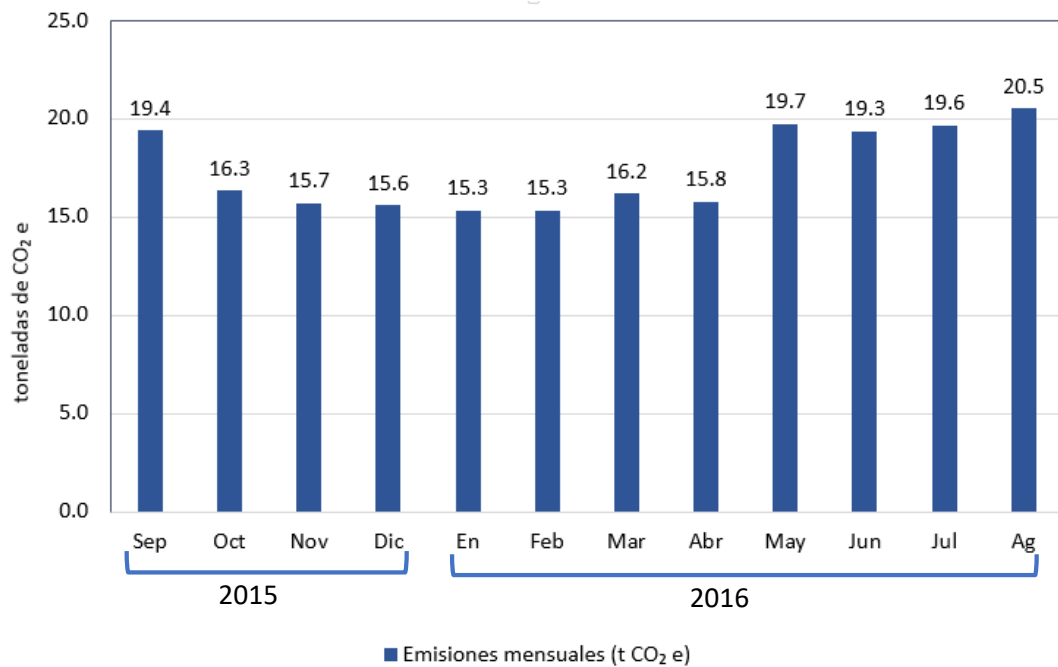


Figura 19. Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por consumo mensual de energía eléctrica.



En la empresa se identificaron tres áreas donde se utiliza energía eléctrica. A continuación, en la Tabla 22 se muestran los consumos por áreas y en la Figura 20 los porcentajes de generación de emisiones de cada una.

Tabla 22

*Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por de energía eléctrica por áreas*

Área	Consumo (kWh)	Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)
Bomba de agua	200.10	101.57
Oficina Malchinguí	35.60	18.07
Oficina Quito	175.80	89.24
<b>Total</b>	<b>411.50</b>	<b>208.88</b>

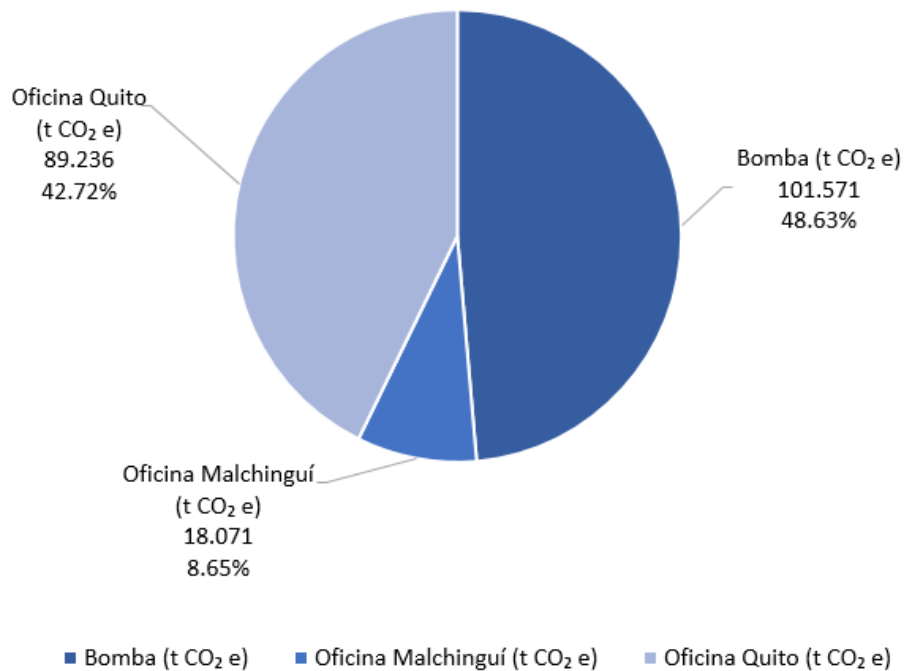


Figura 20. Porcentaje de emisiones por consumo de energía eléctrica por área.

### 4.3. Resultados de la huella de carbono del ciclo de vida parcial del abono orgánico

Una vez que se determinaron las emisiones directas e indirectas que generó la empresa durante el período de estudio, se procedió a sumar todos los valores y se obtuvo una huella de carbono del ciclo de vida parcial del abono orgánico de 498.25 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente como se puede visualizar en la Tabla 23.

Tabla 23

#### *Emisiones directas e indirectas de CO<sub>2</sub> equivalente*

	Emisiones CO <sub>2</sub> (t CO <sub>2</sub> e)	Emisiones CH <sub>4</sub> (t CO <sub>2</sub> e)	Emisiones N <sub>2</sub> O (t CO <sub>2</sub> e)	Huella de carbono (t CO <sub>2</sub> e)	%
<b>Emisiones directas</b>					
Combustión de fuente móvil	9.66	1.42E-02	0.14	9.80	1.97
Combustión de fuente estacionaria	1.13	1.77E-03	0.12	1.25	0.25
Tratamiento de materia orgánica	0.000	142.11	100.87	242.98	48.77
Pérdida de materia prima	26.56	8.78	0.000	35.34	7.09
	Total emisiones directas			<b>289.37</b>	
<b>Emisiones indirectas</b>					
Consumo de energía eléctrica	208.87	0.000	0.000	<b>208.87</b>	41.92
	Total			<b>498.25</b>	100.00

A continuación, la Figura 21 muestra los porcentajes correspondientes a las emisiones directas e indirectas mostrados en la tabla anterior, los cuales se calcularon en 58.08% y 41.92%, respectivamente.

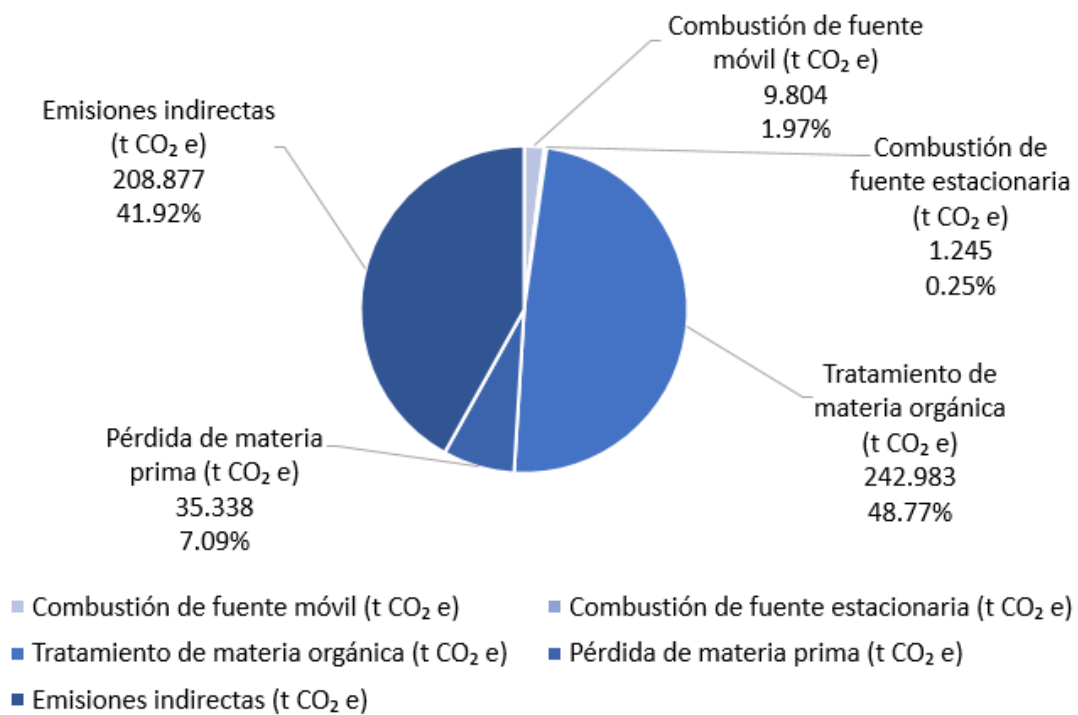


Figura 21. Porcentajes de emisiones directas e indirectas.

#### 4.4. Resultados de la huella de carbono de la disposición de la materia orgánica en un relleno sanitario

En el supuesto caso de que la materia prima no hubiese pasado por el proceso de compostaje, y en lugar de eso, haya sido dispuesta en un relleno sanitario, las emisiones que se generarían desde el año 2015 hasta el año 2025 son 545.66 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente como se puede observar en la Tabla 24.

Tabla 24

*Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente de materia orgánica dispuesta en un relleno sanitario*

Año	Emisiones CH <sub>4</sub> (t CO <sub>2</sub> e)	Emisiones CO <sub>2</sub> (t CO <sub>2</sub> e)	Huella de carbono (t CO <sub>2</sub> e)
2015	0.00	0.00	0.00
2016	99.59	9.76	109.35
2017	82.77	8.11	90.88
2018	68.79	6.74	75.53
2019	57.17	5.60	62.78
2020	47.52	4.66	52.17
2021	39.49	3.87	43.36
2022	32.82	3.22	36.04
2023	27.28	2.67	29.95
2024	22.67	2.22	24.89
2025	18.84	1.85	20.69
<b>Total</b>	<b>496.96</b>	<b>48.70</b>	<b>545.66</b>

Nota. A partir del año 2025 la generación de emisiones es relativamente baja.

## 5. Análisis y discusión de los resultados

### 5.1. Análisis de las emisiones directas

Las emisiones directas que se determinaron representan el 58.08% de la huella de carbono del ciclo de vida parcial del abono orgánico, con una generación de 289.38 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente. Se analizaron las cuatro emisiones directas que se identificaron.

#### 5.1.1. Análisis de las emisiones por combustión de fuente móvil

El transporte de la materia prima y la distribución del producto son realizados en los camiones de Multiservicios Técnicos Empresariales (MTE) Coronel Chávez

y CÍA, empresa aliada de Abonos Chávez y Miño SCA. La empresa de compostaje orgánico controla los recorridos realizados y facilita el combustible para su funcionamiento, por lo cual, estos vehículos fueron considerados dentro del desarrollo de la huella de carbono del presente trabajo.

Las emisiones generadas por la combustión de fuentes móviles corresponden al 3.39% de las emisiones directas y estas, a su vez, corresponden al 1.97% de la huella de carbono del ciclo de vida parcial del compost.

Las emisiones generadas durante el transporte de la materia prima del proveedor 3 hasta la planta de compostaje fueron 0.02 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente en el año de análisis. Este valor representó el 0.19% de las emisiones por la combustión de fuentes móviles, siendo el porcentaje más bajo y esto se debe a que el transporte de gallinaza se realiza trimestralmente y es el recorrido más corto, siendo este de 20 km.

Por otro lado, las emisiones generadas por los proveedores 1 y 2, representaron el 24.16% y 42.32%, respectivamente. El transporte de la materia prima de cada uno de los proveedores se realizó seis días a la semana, cada semana del año de inventario, resultando así que el proveedor 1 generó 2.37 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, mientras que el proveedor 2 generó 3.27 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente. Las emisiones mensuales son relativamente constantes pues no existió variación en la ruta de transporte. Adicionalmente, se puede observar que el proveedor 2 generó mayor cantidad de emisiones, esto se debe a que los recorridos realizados tienen 15 km de diferencia; la distancia desde el establecimiento del proveedor 1 hasta la planta de compostaje es de 40 km, mientras que la distancia para el proveedor 2 es de 55 km, en consecuencia, la diferencia anual de emisiones entre ambos recorridos es de 0.90 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

En lo que respecta a las emisiones generadas durante la distribución del producto, la tendencia es irregular. Esto se debe a que los recorridos que se realizan varían mes a mes; por ejemplo, en septiembre del 2015 y febrero, abril y junio del 2016 se realizaron entregas a Machachi, destino que se encuentra a 110 km de la empresa Abonos Chávez y Miño SCA, mientras que en octubre,

diciembre del 2015 y marzo, mayo y agosto del 2016 se realizaron entregas en Tabacundo, ubicado a 40 km de distancia.

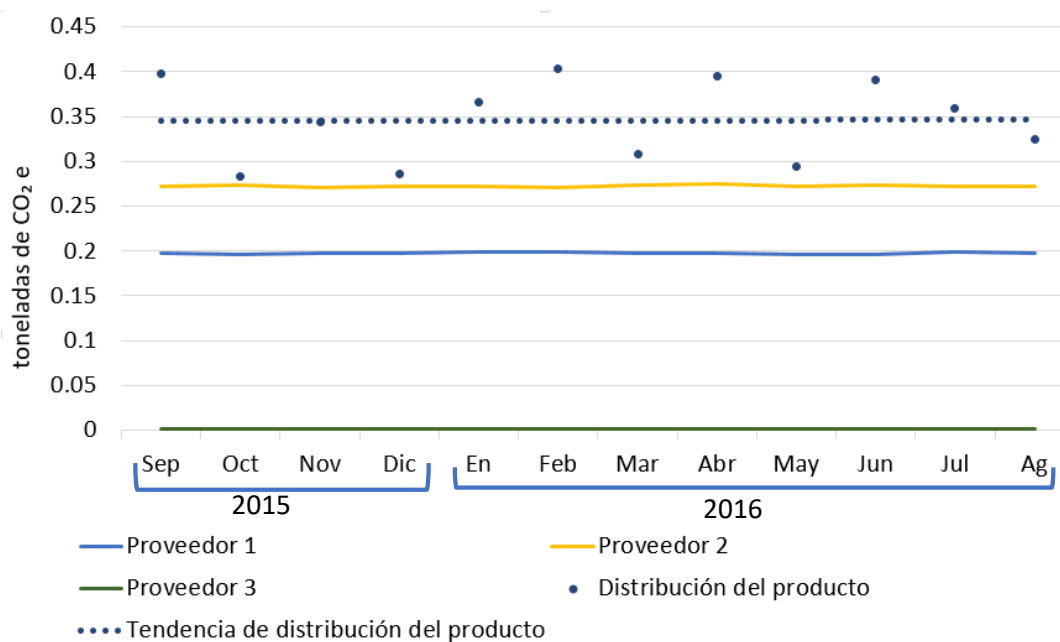


Figura 22. Emisiones generadas por combustión de fuentes móviles.

### 5.1.2. Análisis de las emisiones por combustión de fuente estacionaria

Durante el año de inventario, el total de emisiones generadas por combustión de fuente estacionaria fue de 1.25 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, que representaron el 0.43% de las emisiones directas y el 0.25% de la huella de carbono del ciclo de vida parcial del abono orgánico.

La variación en cuanto a la generación de CO<sub>2</sub> equivalente está en función del requerimiento de realizar volteos mecánicos a las biopilas; y la humedad y presencia de oxígeno en las biopilas depende de los volteos mecánicos que se realicen.

Según los monitoreos realizados por el INAMHI, la temporada con mayor presencia de precipitaciones en la zona ocurre desde octubre hasta abril (2015), lo cual tiene concordancia con los resultados que se obtuvieron.

En la Figura 23 se observa que los meses con mayor generación de CO<sub>2</sub> equivalente fueron desde septiembre hasta abril. Esto se debe a que la empresa realizó volteos mecánicos más consecutivos durante esta época con la finalidad de mantener la humedad y oxigenación dentro de los límites que sugieren la obtención de un abono de calidad. La humedad adecuada varía entre 45 y 55%, sin embargo, el exceso de humedad produce saturación en el compost, lo que impide la respiración de los microorganismos degradadores y consecuentemente disminuye la efectividad del proceso, además que disminuye la capacidad de movilización de los gases que se generan, provocando malos olores (FAO, 2013). Adicionalmente, los volteos mecánicos impiden que el material orgánico se compacte, y facilita la oxigenación del medio, cuya saturación debe estar entre 5 y 15% (FAO, 2013).

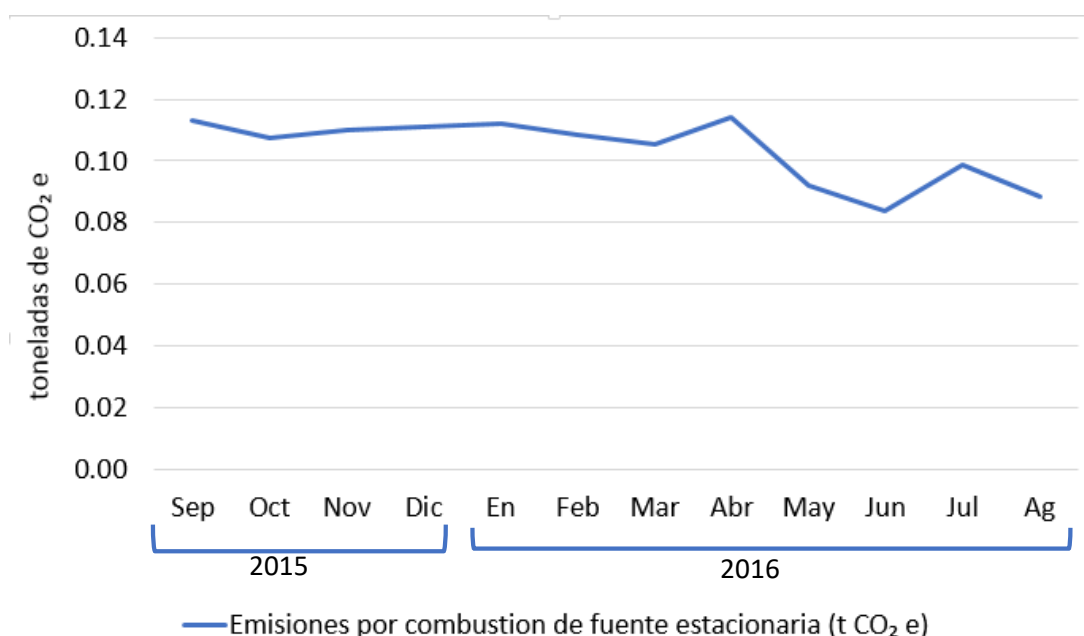


Figura 23. Emisiones generadas por combustión de fuente estacionaria.

### 5.1.3. Análisis de las emisiones por tratamiento de materia orgánica

La mayor contribución a la huella de carbono que se determinó proviene de las biopilas. Durante el año de inventario se generaron 242.98 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, lo que representa el 83.97% de las emisiones directas y, a su vez, el 48.77% de la huella de carbono del ciclo de vida parcial del compost.

Las emisiones tuvieron una variación directamente proporcional a la cantidad de materia prima que recibió la planta (Figura 24). Sin considerar la cantidad que se recibe de materia orgánica, esta tiene la misma composición y recibe el mismo tratamiento, es decir, que durante el proceso se añaden los mismos microorganismos a todas las biopilas, en las mismas concentraciones y los parámetros de humedad, temperatura y oxigenación son controlados constantemente, por lo que la actividad microbiana es similar en todas las biopilas, generando así cantidades proporcionales de gases de efecto invernadero.

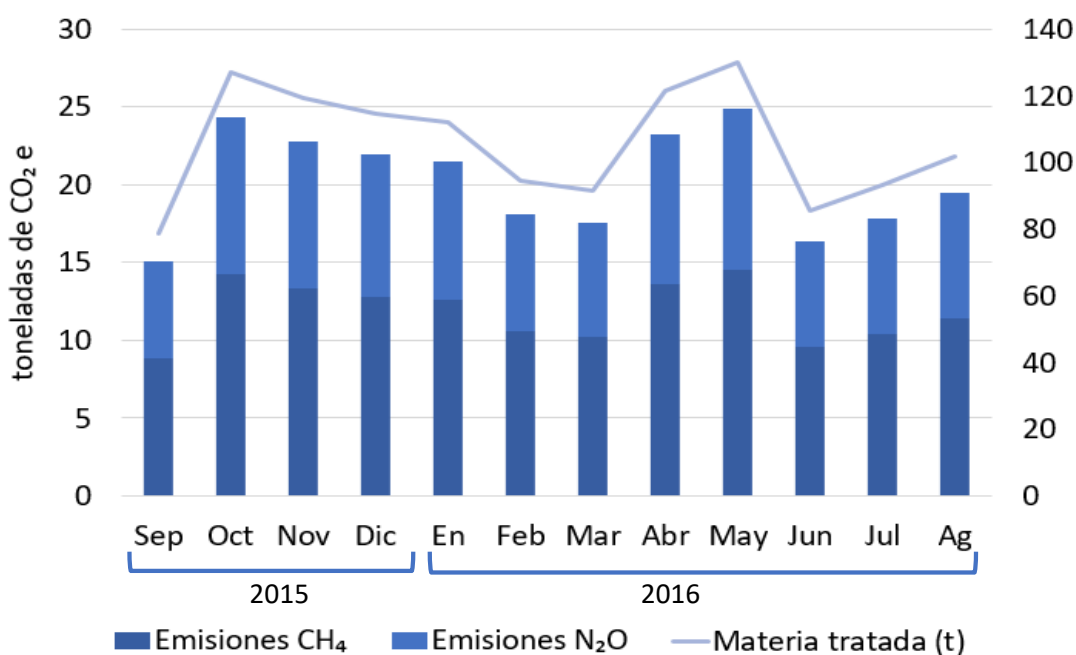


Figura 24. Emisiones generadas por el tratamiento de la materia orgánica.



Durante el proceso de compostaje ocurren una serie de reacciones que generan dióxido de carbono, óxido nitroso y metano. Los microorganismos utilizan fuentes de carbono presentes en la materia prima como energía, transformando el carbono en biomasa y dióxido de carbono. Por otro lado, el metano es formado en las zonas de la biopila donde la presencia de oxígeno es menor y el óxido nitroso se forma a causa de la nitrificación, donde el amonio se transforma en nitrato (FAO, 2013 y Bueno, Cabrera y Díaz, 2008). Entonces, al recibir el mismo tratamiento, las emisiones que se generan varían únicamente por la cantidad de materia que se está degradando.

#### **5.1.4. Análisis de las emisiones de fuga**

Las emisiones de fuga provienen de la descomposición de la materia prima que se perdió durante la descarga y la formación de las biopilas; corresponden al 12.21% de las emisiones directas y al 7.09% de la huella de carbono del ciclo de vida parcial del compost, con una generación de 35.34 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente durante el período de análisis.

En comparación con las emisiones provenientes de otras fuentes, la generación de metano en esta es mayor (8.78 t CO<sub>2</sub>e), lo cual se debe a que la materia orgánica permanece estática y al no recibir ningún tipo de tratamiento, la concentración de oxígeno es baja, el material se compacta y en consecuencia se forman zonas anaeróbicas donde se incrementa la producción de metano.

#### **5.2. Análisis de las emisiones indirectas**

El consumo de energía eléctrica fue la única fuente que se identificó en cuanto a emisiones indirectas. La generación durante el año en cuestión fue 208.88 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, que representan el 41.92% de la huella de carbono del ciclo de vida parcial del abono orgánico.

La tendencia de las emisiones en las oficinas fue constante, indirectamente se generaron 18.07 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente en la oficina de Malchinguí y 89.24 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente en la oficina de Quito. La mayoría de las actividades administrativas se llevaron a cabo en la oficina de Quito, por tal razón, las emisiones que genera el uso de equipos eléctricos en esta es mayor.

Por otro lado, el consumo eléctrico de la bomba de agua utilizada para el riego de las biopilas generó 101.57 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, que representan el 48.63% de las emisiones indirectas. En esta área ocurre una situación inversa a la del volteo mecánico, es decir, las mayores emisiones se dan en los meses más secos o con menos precipitaciones, desde mayo hasta septiembre, debido al uso frecuente de la bomba.

Como se mencionó anteriormente, es importante mantener la humedad, la temperatura y la oxigenación de las biopilas dentro de los límites óptimos para aumentar la eficacia del tratamiento y mejorar la calidad del abono.

Durante la época seca, la cantidad de agua tiende a disminuir, causando que los microorganismos degradadores se deshidraten y detengan su actividad, Por eso es importante mantener el porcentaje de humedad adecuado, así los microorganismos podrán cumplir sus funciones fisiológicas (FAO, 2013 y Bueno, Cabrera y Díaz, 2008).

La empresa controla constantemente los parámetros que determinan la calidad del proceso, y cuando identifican un déficit de humedad, incrementan la frecuencia de riego de las biopilas, por consiguiente, también incrementa el consumo de energía eléctrica.

En la Figura 25 se puede observar la variación de generación de gases contaminantes por el consumo eléctrico de las oficinas y la bomba.

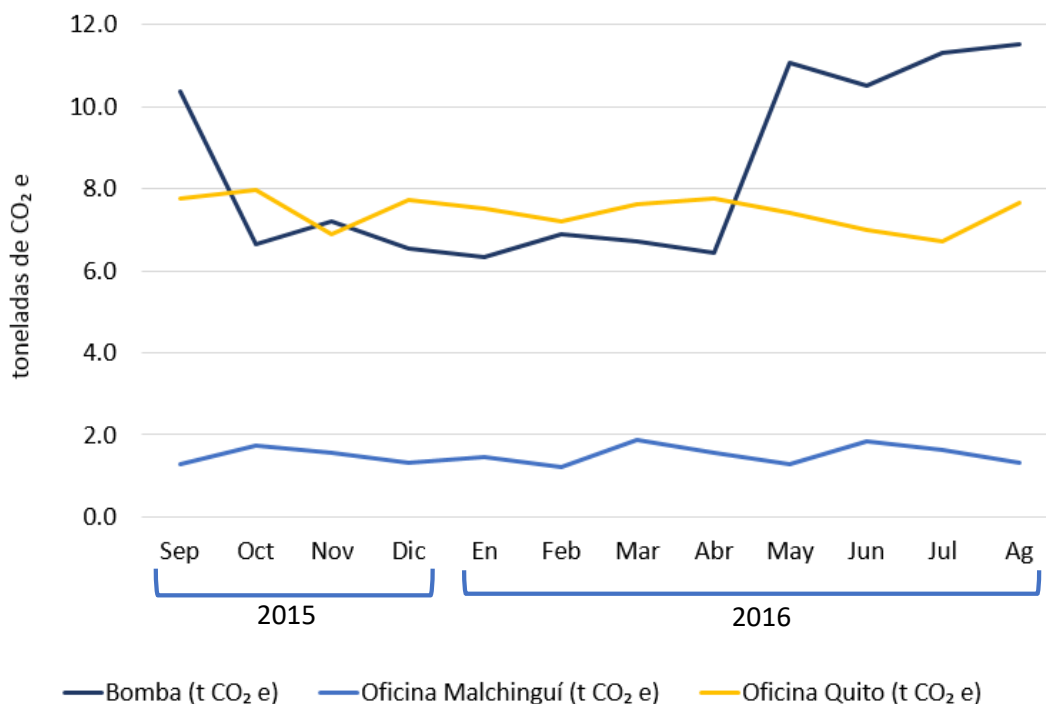


Figura 25. Emisiones generadas por el consumo de energía eléctrica.

### 5.3. Análisis de la huella de carbono del ciclo de vida parcial del abono orgánico

La huella de carbono del ciclo de vida parcial del compost en la empresa Abonos Chávez y Miño SCA en el año de inventario fue 498.25 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, y se produjeron 1 268.84 toneladas de abono orgánico, es decir, que por cada tonelada de producto que se obtuvo, se generaron 0.39 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

Sería adecuado realizar una comparación de los datos obtenidos en el presente trabajo con otros que se hayan realizado en empresas de las mismas características, sin embargo, no ha sido posible acceder a información referente a la huella de carbono que produce el compostaje en empresas nacionales. En consecuencia, se utilizaron datos internacionales para comparar con los resultados obtenidos.

El Ministerio del Medio Ambiente de Chile utilizó la metodología de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero para desarrollar la huella de carbono en los diferentes sectores identificados en la metodología desde el año 1990 hasta 2013. Así, en el sector de desechos a nivel nacional, se determinó que la huella de carbono generada por el tratamiento biológico de 90 260 toneladas de residuos sólidos fue de 57 000 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, es decir, por cada tonelada de materia orgánica que recibió tratamiento, se generaron 0.64 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

Al comparar los valores de generación de emisiones de los dos estudios, para la producción de una tonelada de abono orgánico, la empresa Abonos Chávez y Miño SCA emitió 0.39 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, y en el inventario nacional de Chile se determinó que se emite 0.64 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

La desigualdad entre los dos valores es de 0.24 toneladas y se debe a que en el caso de estudio de Chile, se consideraron las emisiones de dióxido de carbono de origen biogénico y abiogénico, metano y óxido nitroso, a diferencia del presente trabajo, en el cual no se consideraron las emisiones de dióxido de carbono por ser de origen biogénico y solo se trabajó con las emisiones de metano y óxido nitroso. La diferencia de emisiones representa la generación del dióxido de carbono; adicionalmente, el Ministerio del Medio Ambiente de Chile consideró únicamente las emisiones netas generadas en el tratamiento de los residuos sólidos, mientras que en la empresa de compostaje, se consideraron las emisiones de las fuentes que intervienen en el ciclo de vida parcial del compost, desde el transporte de la materia prima, hasta la distribución del producto. Además, se debe considerar que los residuos con los que se realizó cada tratamiento no tienen las mismas características.

La huella de carbono que se determinó en el supuesto caso de que la materia orgánica no reciba un tratamiento biológico, si no por el contrario, que solo sea dispuesta en un relleno sanitario fue de 545.66 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente en un período de diez años, a diferencia de las 242.98 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente que se generaron por el proceso de compostaje de la misma cantidad de materia, es decir 1 268.84 toneladas de residuos orgánicos. Se puede evidenciar

entonces que el tratamiento biológico la materia orgánica genera menor cantidad de gases de efecto invernadero y en un menor período de tiempo de descomposición, además de obtener un producto que es reutilizable.

#### **5.4. Identificación del proceso que genera mayor emisión**

El presente trabajo se realizó considerando el ciclo de vida parcial del abono orgánico. Se identificaron las siguientes etapas: transporte de la materia prima, descarga y formación de biopilas, tratamiento de materia orgánica, empaclado de producto final y distribución del mismo, de los cuales, el tratamiento de materia orgánica es el que generó la mayor cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente; la descomposición de la materia a causa de la actividad de los microorganismos generó 498.25 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, representando el 48.77% de la huella de carbono determinada.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

### 6.1. Conclusiones

La huella de carbono del ciclo de vida parcial del abono orgánico de la empresa Abonos Chávez y Miño SCA ha sido determinada como parámetro ambiental para el desarrollo de futuros inventarios en la planta, además de establecerse como una base para la implementación de medidas de reducción de emisiones y como referencia para el desarrollo de proyectos similares en el tratamiento biológico de residuos sólidos.

Los procesos del ciclo de vida parcial del compost se determinaron por medio de visitas a la planta de compostaje, entrevistas con el gerente y el desarrollo de diagramas de flujo. Estos procesos son: transporte de la materia prima, descarga y formación de biopilas, tratamiento de materia orgánica, empaclado del producto final y distribución del mismo, en los cuales se identificaron fuentes de emisión directa e indirecta. Las fuentes de emisión directa incluyen el transporte de la materia prima y la distribución del producto, el tratamiento de la materia orgánica y las emisiones de fuga a causa de la materia prima perdida, por otro lado, las emisiones indirectas son provocadas por la compra y consumo de energía eléctrica.

Para la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero se utilizó la especificación del PAS 2050, bajo el principio *cradle to gate*, el cual establece la evaluación desde la adquisición de la materia prima y el proceso de producción, hasta la entrega del producto al cliente. Además, se utilizaron las herramientas de cálculo establecidas en las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Los factores de emisión referentes a cada fuente y cada gas de efecto invernadero que se utilizaron fueron los establecidos por defecto en las mismas Directrices del IPCC ya que no se ha realizado la determinación de estos a nivel nacional, a excepción del

factor de dióxido de carbono para el cálculo de las emisiones indirectas del Sistema Nacional Interconectado que fue de 0.5076 toneladas de CO<sub>2</sub>/MWh. En conclusión, la huella de carbono del ciclo de vida parcial del compost fue 498.25 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, que provienen de emisiones directas e indirectas con porcentajes 58.08% y 41.92%, respectivamente.

En cuanto a las emisiones directas, las generadas por combustión de fuentes móviles durante el año de inventario fueron 9.80 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, por combustión de fuente estacionaria fueron 1.25 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, las emisiones fugitivas fueron 35.34 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente y las emisiones generadas por el tratamiento de la materia orgánica fueron 242.94 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, es decir que el total de emisiones directas fue 289.37 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente. Por otro lado, las emisiones indirectas (consumo de energía eléctrica) fueron 208.88 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente. En consecuencia, el proceso de tratamiento de materia orgánica es el que generó mayor cantidad de gases de efecto invernadero, representando así el 48.77% de la huella de carbono del ciclo de vida parcial del compost.

La huella de carbono generada por la descomposición de la materia prima en el supuesto caso de que sea dispuesta en un relleno sanitario, en lugar de llevarla a un proceso de compostaje, ayudó a determinar que un tratamiento biológico genera menor cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero, a diferencia de la disposición de la materia sin tratamiento. El proceso de compostaje de 1 268.84 toneladas de materia orgánica generó 242.98 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente durante el año de inventario, por otro lado, la descomposición de la materia prima sin tratamiento generó aproximadamente 545.66 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente en una proyección de diez años.

## 6.2. Recomendaciones

Utilizar los resultados obtenidos como base para el desarrollo de propuestas de mitigación o reducción de emisión de gases de efecto invernadero en los distintos procesos identificados en ciclo de vida de vida parcial del abono orgánico.

Exponer la información que resultó del trabajo entre empresas afines a actividades de compostaje con la finalidad de incentivar la determinación de la huella de carbono y de esta forma, concientizar la importancia de cuantificar los gases de efecto invernadero.

Determinar la huella de carbono en la empresa Abonos Chávez y Miño SCA cada año, aplicando la especificación PAS 2050, para llevar el registro de la contaminación atmosférica que genera el desarrollo de las actividades en la planta de compostaje.

Socializar los resultados obtenidos durante el presente trabajo para concientizar a las personas sobre la importancia de realizar tratamientos a los residuos generados y de esta manera minimizar la generación de gases de efecto invernadero.



## REFERENCIAS

- Abonos Chávez y Miño SCA. (2016a). Contáctenos. Recuperado el 3 de septiembre de 2016 de <http://www.abonoschm.com/cont%C3%A1ctenos.html>
- Abonos Chávez y Miño SCA. (2016b). Objetivos. Recuperado el 4 de septiembre de 2016 de <http://www.abonoschm.com/qui%C3%A9nes-somos.html>
- Abonos Chávez y Miño SCA. (2016c). Productos. Recuperado el 6 de octubre de 2016 de <http://www.abonoschm.com/productos.html>
- Abonos Chávez y Miño SCA. (2016d). Remediación ambiental de residuos orgánicos asimilables a domésticos para la producción de abono orgánico. Recuperado el 5 de septiembre de 2016 de <http://www.abonoschm.com/assets/presentaci%C3%B3n-abonos-chm.pdf>
- Aldaya, M., Llamas, M., Garrido, A., Varela, C. (2008). Importancia del conocimiento de la huella hidrológica para la política española del agua. Recuperado el 10 de septiembre de 2016 de [http://oa.upm.es/2239/1/INVE\\_MEM\\_2008\\_53807.pdf](http://oa.upm.es/2239/1/INVE_MEM_2008_53807.pdf)
- Amestoy, J. (2013). El planeta Tierra en peligro: Calentamiento global, cambio climático, soluciones. (1.º ed.). España: Editorial Club Universitario.
- British Standards Institution (BSI). (2011). *PAS 2050: 2011, Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services*. Recuperado el 1 de octubre de 2016 de <http://shop.bsigroup.com/upload/shop/download/pas/pas2050.pdf>
- Camargo, Y., y Vélez, A. (2009). Emisiones de biogás producidas en rellenos sanitarios. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Recuperado el 6 de noviembre de 2016 de <http://www.redisa.uji.es/artSim2009/TratamientoYValorizacion/Emisiones%20de%20biog%C3%A1s%20producidas%20en%20rellenos%20sanitarios.pdf>

- Cicerone, D., Sánchez, P. y Reich, S. (2007). Contaminación y Medio Ambiente. (1.º ed.). Buenos Aires, Argentina: Eudeba
- Environmental Protection Agency (EPA). (2010). *Greenhouse gas emissions estimation methodologies for biogenic emissions from selected source categories: solid waste disposal, wastewater treatment, ethanol fermentation*. Recuperado el 10 de noviembre de 2016 de [https://www3.epa.gov/ttnchie1/efpac/ghg/GHG\\_Biogenic\\_Report\\_draft\\_Dec1410.pdf](https://www3.epa.gov/ttnchie1/efpac/ghg/GHG_Biogenic_Report_draft_Dec1410.pdf)
- Environmental Protection Agency (EPA). (2016). *Indirect emissions from purchased electricity*. Recuperado el 2 de diciembre de 2016 de [https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/electricityemissions\\_3\\_2016.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/electricityemissions_3_2016.pdf)
- García, F. (2009). Caracterización y calidad de un abono orgánico fermentado aof preparado con residuos del proceso de industrialización de la papa (*Solanum tuberosum* L). (1.º ed.). [versión electrónica]. Recuperado el 24 de septiembre de 2016 de <http://site.ebrary.com/bibliotecavirtual.udla.edu.ec/lib/udlasp/detail.action?docID=10625582>
- González, B., Bernal, A. (2007). Impacto social del uso de los plaguicidas químicos en el mundo. (1.º ed.). [versión electrónica]. Recuperado el 18 de octubre de 2016 de <http://site.ebrary.com/bibliotecavirtual.udla.edu.ec/lib/udlasp/reader.action?docID=10175014>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2015). Anuario Meteorológico. Recuperado el 6 de noviembre de 2016 de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am%202012.pdf>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006a). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Generalidades. Recuperado el 22 de noviembre de 2016 de <http://www.ipcc->

[nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/0\\_Overview/V0\\_0\\_Cover.pdf](http://nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/0_Overview/V0_0_Cover.pdf)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006b). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Tratamiento biológico de los desechos sólidos. Recuperado el 5 de octubre de 2016 de [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/5\\_Volume5/V5\\_4\\_Ch4\\_Bio\\_Treat.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/5_Volume5/V5_4_Ch4_Bio_Treat.pdf)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006c). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Combustión móvil. Recuperado el 24 de octubre de 2016 de [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2\\_Volume2/V2\\_3\\_Ch3\\_Mobile\\_Combustion.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006d). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Desechos. Introducción. Recuperado el 20 de noviembre de 2016 de [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/5\\_Volume5/V5\\_1\\_Ch1\\_Introduction.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/5_Volume5/V5_1_Ch1_Introduction.pdf)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014a). Cambio climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Recuperado el 10 de octubre de 2016 de [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5\\_wgII\\_spm\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_es.pdf)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014b). Quinto Informe de Evaluación (AR5). Recuperado el 20 de noviembre de 2016 de [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_Chapter08\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf)

Investigación y Tecnología Agroalimentarias (IRTA). (2016). El cultivo de arroz en el Delta del Ebro produce 10.500 toneladas de metano anuales.

Recuperado el 4 de diciembre de 2016 de [http://www.irta.cat/es-ES/RIT/Noticies/Paginas/Arros\\_delta\\_meta.aspx](http://www.irta.cat/es-ES/RIT/Noticies/Paginas/Arros_delta_meta.aspx)

Meléndez, G. y Soto, G. (2003). Conociendo los abonos orgánicos. Recuperado el 10 de octubre de 2016 de [http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/brochure\\_gloria.pdf](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/brochure_gloria.pdf)

Méndez, M. y Viteri, S. (2007). Alternativas de biofertilización para la producción sostenible de cebolla de bulbo (*Allium cepa*) en Cucaita, Boyacá. Recuperado el 30 de septiembre de 2016 de <http://search.proquest.com.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/docview/1677586798/8252986BB6724D06PQ/2?accountid=33194>

Ministerio del Ambiente (MAE). (2013). Factor de emisión de CO<sub>2</sub> del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador. Informe 2013. Recuperado el 29 de octubre de 2016 de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/03/Factor-de-emisi%C3%B3n-2013-PUBLICADO.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente, Chile. (2016). Segundo Informe Bienal de Actualización de Chile sobre Cambio Climático. Recuperado el 13 de noviembre de 2016 de [http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/11/2016\\_2IBA\\_CL.pdf](http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/11/2016_2IBA_CL.pdf)

Moreno, B. (2015). Rendimientos de arroz en cáscara en el Ecuador, primer cuatrimestre del 2015. Recuperado el 8 de noviembre de 2016 de [http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/estudios\\_agroeconomicos/rendimiento\\_arroz\\_2015.pdf](http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/rendimiento_arroz_2015.pdf)

National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), (2016). *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide*. Recuperado el 2 de diciembre de 2016 de <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/monthly.html>

Oceana, Protecting the World's Oceans. (2016). Gases de efecto invernadero. Recuperado el 3 de noviembre de 2016 de <http://eu.oceana.org/es/node/46897>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2003). ¿Es la certificación algo para mí? - Una guía práctica sobre productos agrícolas para la exportación. (1.º ed.). [versión electrónica]. Recuperado el 7 de octubre de 2016 de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/ad818s/ad818s00.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2015). Código Internacional de Conducta para la Gestión de Plaguicidas. [versión electrónica]. Recuperado el 19 de noviembre de 2016 de [http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests\\_Pesticides/Code/Code\\_Spanish\\_2015\\_Final.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/Code/Code_Spanish_2015_Final.pdf)

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2014). *Agriculture, Forestry and Other Land Use Emissions by Sources and Removals by Sinks*. Recuperado el 20 de septiembre de 2016 de <http://www.fao.org/docrep/019/i3671e/i3671e.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2013). Manual de compostaje del agricultor, experiencias en América Latina. Recuperado el 4 de octubre de 2016 de <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD. (2015). Objetivos de desarrollo sostenible. Recuperado el 8 de septiembre de 2016 de [file:///C:/Users/Dell/Downloads/SDGs\\_Booklet\\_Web\\_Sp.pdf](file:///C:/Users/Dell/Downloads/SDGs_Booklet_Web_Sp.pdf)

Quiroga, R. (2007). Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe. Recuperado el 14 de noviembre de 2016 de <http://www.cepal.org/deype/publicaciones/xml/4/34394/lcl2771e.pdf>

Ramírez, V. y Duque, N. (2010). Respuesta del lulo La Selva (*Solanum quitoense* x *Solanum hirtum*) a la aplicación de fermentados aeróbicos tipo bocashi y fertilizante químico. Recuperado el 5 de octubre de 2016 de <file:///C:/Users/Dell/Documents/Documents/UDLA/DECIMO/Methodolo>

g%C3%ADa%20de%20titulaci%C3%B3n/Bibliografia/Bocashi%20re  
spuesta%20del%20lulo.pdf

Research Institute of Organic Agriculture (FiBL). (2015). *Organic Agriculture Worldwide: Current Statistics*. Recuperado el 8 de septiembre de 2016 de <http://orgprints.org/28216/7/willer-lernoud-2015-02-11-global-data.pdf>

Restrepo, J. (1998). Abonos orgánicos fermentados experiencias de agricultores en Centroamérica y Brasil. Recuperado el 9 de noviembre de 2016 de <http://www.motril.es/fileadmin/areas/medioambiente/ae/ABONOSORGANICOSFERMENTADOS.pdf>

Sanchis, E. (2014). Emisiones de gases en el cultivo del arroz: efecto de la gestión de la paja. (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado el 9 de octubre de 2016 de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/47780/01-Memoria.pdf?sequence=1>

Scheider, H., y Samaniego, J. (2010). La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. Recuperado el 2 de noviembre de 2016 de [http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3753/S2009834\\_es.pdf?sequence=1](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3753/S2009834_es.pdf?sequence=1)

Schneider, H., Samaniego, J. (2009). La huella de carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. Recuperado el 7 de septiembre de 2016 de <http://ingenieros.es/files/proyectos/La%20huella%20del%20carbono%20en%20la%20producci%C3%B3n,%20distribuci%C3%B3n%20y%20consumo.pdf>

Wackernagel, M., Rees, W. (2001). Nuestra huella ecológica. Reduciendo el impacto humano sobre la Tierra. [versión electrónica] Recuperado el 9 de septiembre de 2016 de [https://books.google.com.ec/books?id=ljpRXhe5pygC&printsec=frontcover&dq=huella+ecologica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwighs\\_86sH](https://books.google.com.ec/books?id=ljpRXhe5pygC&printsec=frontcover&dq=huella+ecologica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwighs_86sH)

PAhVCdR4KHSJbDxEQ6AEIJjAC#v=onepage&q=huella%20ecologica&f=false

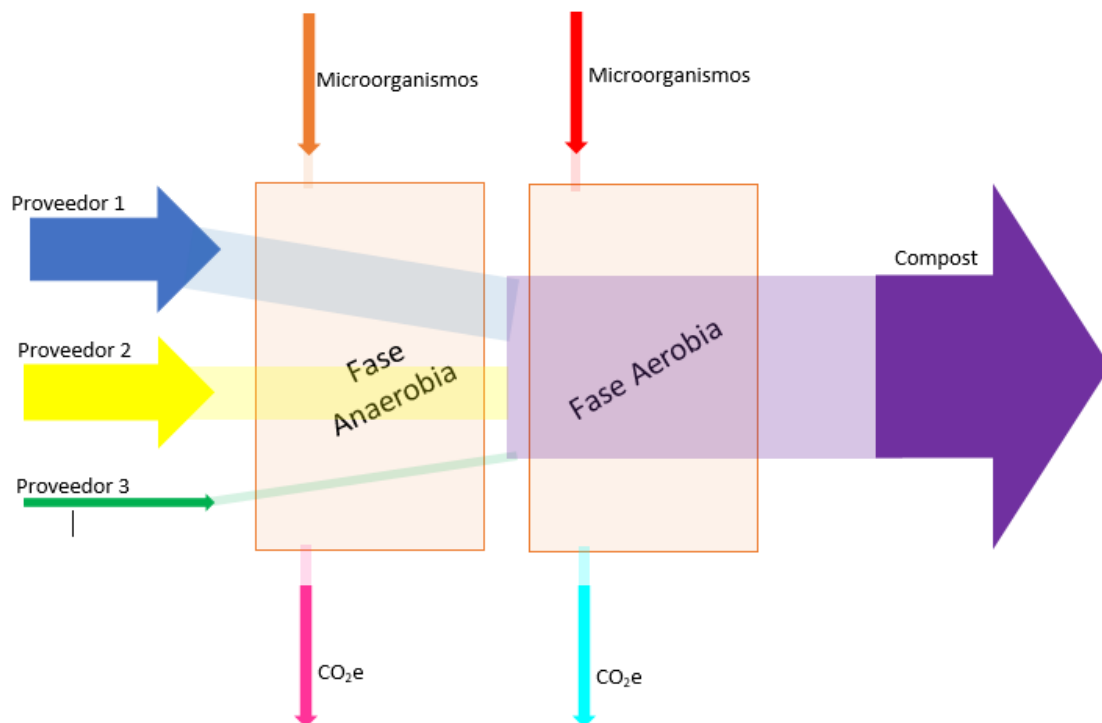
Winograd, M. (1995). Indicadores ambientales para Latinoamérica y el Caribe: Hacia la Sustentabilidad en el uso de tierras. (5.º ed.). [versión electrónica] Recuperado el 11 de octubre de 2016 de <https://books.google.com.ec/books?id=wsrDzRWXDo8C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Zumárraga, H. (2009). Plaguicidas: verdades, evidencias y alternativas de cambio. (1.º ed.). [versión electrónica]. Recuperado el 19 de septiembre de 2016 de <http://site.ebrary.com.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/lib/udlasp/reader.action?docID=11162409>

## **ANEXOS**



**ANEXO 1.** Diagrama de Sankey del proceso de compostaje de materia orgánica en la empresa Abonos Chávez y Miño SCA.



**ANEXO 2.** Factores de emisión y constantes propuestas por el IPCC.

Combustión de fuente móvil		
Constantes	Valor	Unidades
Densidad del diésel	0.840667	kg/lt
Poder calorífico	$4.3 \times 10^{-5}$	TJ/kg
Factor CO <sub>2</sub>	74100	kg/TJ
Factor CH <sub>4</sub>	3.9	kg/TJ
Factor N <sub>2</sub> O	3.9	kg/TJ
GWP CH <sub>4</sub>	28	CO <sub>2</sub> e
GWP N <sub>2</sub> O	265	CO <sub>2</sub> e
Combustión de fuente estacionaria		
Constantes	Valor	Unidades
Densidad del diésel	0.840667	kg/lt
Poder calorífico	$4.3 \times 10^{-5}$	TJ/kg
Factor CO <sub>2</sub>	74100	kg/TJ
Factor CH <sub>4</sub>	4.15	kg/TJ
Factor N <sub>2</sub> O	28.6	kg/TJ
GWP CH <sub>4</sub>	28	CO <sub>2</sub> e
GWP N <sub>2</sub> O	265	CO <sub>2</sub> e
Tratamiento de materia orgánica		
Constantes	Valor	Unidades
Factor CH <sub>4</sub>	0.004	kg/kg
Factor N <sub>2</sub> O	0.0003	kg/kg
GWP CH <sub>4</sub>	28	CO <sub>2</sub> e
GWP N <sub>2</sub> O	265	CO <sub>2</sub> e
Materia orgánica en tratamiento		
Constantes	Valor	Unidad
K, constante de reacción	0.185	año <sup>-1</sup>
DOC	0.05	Mg/Mg
F, fracción de volumen	0.5	
OX, fracción de oxidación	0.1	
GWP CH <sub>4</sub>	28	CO <sub>2</sub> e
Consumo de energía eléctrica		
Constantes	Valor	Unidades
Factor CO <sub>2</sub>	0.5076	t CO <sub>2</sub> / MWh

