

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN EL CULTIVO Y
PROCESAMIENTO DEL CAFÉ Y ESTRATEGIAS PARA SU REDUCCIÓN”**

Realizado por:

KATHERINE ESTEPHANIA GARAY CÁRDENAS

Director del proyecto:

ING. ALBERTO AGUIRRE, Ph.D.

Como requisito para la obtención del título de:

MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

Quito, febrero del 2021

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, KATHERINE ESTEPHANIA GARAY CÁRDENAS, con cédula de identidad # 172418804-8, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



Katherine Estephania Garay Cárdenas

C.I. 1724188048

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN EL CULTIVO Y
PROCESAMIENTO DEL CAFÉ Y ESTRATEGIAS PARA SU REDUCCIÓN”**

Realizado por:

KATHERINE ESTEPHANIA GARAY CÁRDENAS

Como Requisito para la Obtención del Título de:

MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

Ha sido dirigido por el profesor

Ing. ALBERTO AGUIRRE, Ph.D.

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor



FIRMA

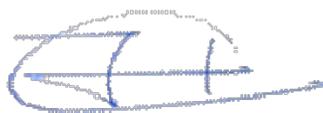
LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

Ing. KATTY CORAL, MSc

JESÚS LOPEZ, Ph.D.

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'JL', with a horizontal line extending to the right.

FIRMA

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Katty Coral', with a horizontal line extending to the right.

FIRMA

Quito, febrero de 2021

DEDICATORIA

A mi amado hijo Karlos Raphael.

Katherine

AGRADECIMIENTO

Siempre sueña y apunta más alto de lo que sabes que puedes lograr.

William Faulkner

A mi familia por brindarme el apoyo necesario para este logro académico.

A mi tutor de tesis por la orientación y ayuda que me brindó para la realización de este proyecto de tesis.

A la empresa en estudio que me abrió sus puertas para poder obtener la información necesaria para el desarrollo de la investigación.

Para someter a:
To be submitted:

**“DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN EL CULTIVO Y
PROCESAMIENTO DEL CAFÉ Y ESTRATEGIAS PARA SU REDUCCIÓN”**

Katherine Garay¹ & Alberto Aguirre²

¹Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito,
Ecuador. Email: kegaray.mga@uisek.edu.ec

²Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito,
Ecuador. Email: alberto.aguirre@uisek.edu.ec

AUTOR DE RESPONSABILIDAD PRINCIPAL: Katherine Estephania Garay Cárdenas

AUTOR DE CORRESPONDENCIA: Ing. Alberto Aguirre Ph.D.

AUTOR APORTANTE DE RESPONSABILIDAD UNO: Ing. Katty Coral, MSc
Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales. Quito,
Ecuador.

AUTOR APORTANTE DE RESPONSABILIDAD DOS: Jesús López Ph.D.
Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales. Quito,
Ecuador.

Título corto o Runningtitle: Determinación de la Huella de Carbono en el cultivo y procesamiento del café y estrategias para su reducción

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	3
1.1	Café en Ecuador	4
1.2	Huella de Carbono	4
1.2.1	Fuentes de emisión.....	5
1.2.2	Metodologías para el cálculo de la Huella de Carbono.....	6
2	HIPÓTESIS	7
3	OBJETIVOS.....	8
3.1	Objetivo General.....	8
3.2	Objetivos Específicos.....	8
4	MATERIALES Y MÉTODOS	8
4.1	Inventario de emisiones de GEI.....	8
4.1.1	Límites de la organización.....	9
4.1.2	Límites operacionales.....	9
4.1.3	Año base para el cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero	9
4.1.4	Estimación de la Huella de Carbono	9
4.1.5	Huella De Carbono Total.....	10
4.2	Estrategias de minimización de la Huella de Carbono	10
5	RESULTADOS	10
5.1	Emisiones directas por el cambio de uso de suelo.....	10
5.2	Emisiones directas por el uso de fertilizantes	11
5.3	Emisiones directas por el uso de combustibles fósiles	12
5.3.1	Combustible	12
5.3.2	Gas licuado de petróleo	14
5.4	Emisiones directas por la disposición de residuos sólidos para su conversión en compost 15	
5.5	Emisiones directas por el uso de compostaje como fertilizante	16
5.6	Emisiones directas por aguas residuales del proceso.....	16
5.7	Emisiones indirectas por energía eléctrica.....	17
5.8	Emisiones indirectas por residuos sólidos	17
5.8.1	Fundas plásticas	17
5.8.2	Fundas de papel	18
5.8.3	Bolsas trilaminadas	19
5.9	Emisiones indirectas por exportaciones.....	20
5.10	Remociones.....	20

5.11	Estrategias de reducción de Huella de Carbono.....	22
5.11.1	Medidas de mitigación para el uso de fertilizantes nitrogenados	22
5.11.1.1	Análisis técnico y estimación de costos	24
5.11.2	Medida de mitigación para el uso de combustibles fósiles	25
5.11.2.1	Análisis técnico y estimación de costos	27
5.11.3	Medida de mitigación para el uso de GLP.....	27
5.11.3.1	Análisis técnico y estimación de costos	31
5.11.4	Medida de mitigación para la generación de residuos orgánicos.....	31
5.11.4.1	Análisis técnico y estimación de costos	33
5.11.5	Medida de mitigación para el cambio de uso del suelo.....	33
5.11.5.1	Análisis técnico y estimación de costos	35
5.11.6	Medida de mitigación para las exportaciones.	35
5.11.6.1	Estimación de costos	36
5.11.7	Análisis general de las medidas de mitigación.....	36
5.11.8	Análisis de factibilidad económica de las estrategias planteadas	38
5.11.9	Plan estratégico de reducción de huella de carbono	39
6	DISCUSIÓN.....	40
7	CONCLUSIONES	44
8	RECOMENDACIONES	45
9	BIBLIOGRAFÍA	46
10	ANEXOS.....	55
	ANEXO A. Metodologías más comunes para la determinación de la Huella de Carbono	55
	ANEXO B. Emisiones directas de la organización.....	57
	ANEXO C. Emisiones indirectas provenientes de la utilización de energía eléctrica de la organización.....	58
	ANEXO D. Otras emisiones indirectas de la organización	59
	ANEXO E. Proceso productivo del café	60
	ANEXO F. Diagrama del proceso productivo de café	63
	ANEXO G. Potenciales de calentamiento global.....	64
	ANEXO H. Registro de datos por en la etapa de producción del café	65
	ANEXO I. Estrategia de minimización de la Huella de Carbono	66
	ANEXO J. Resumen de las emisiones y remociones en la producción de café.....	67
	ANEXO K. Costos del sistema solar fotovoltaico	68
	ANEXO L. Proyectos de créditos de carbono recomendados.....	69

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en una empresa productora de café de especialidad del Noroccidente de Pichincha, con el objetivo de proponer estrategias para la reducción de la huella de carbono en procesos productivos de café, a través de herramientas de gestión ambiental, para posicionar al sector cafetalero ecuatoriano dentro del marco de sustentabilidad.

La empresa no cuenta con informes que determinen las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), razón por la que se estableció el Inventario de Emisiones de GEI con la metodología estipulada por la Norma ISO 14064-1:2018 donde se determinaron los procesos que se desarrollan a lo largo de la producción del café.

El estudio permitió conocer que la empresa emitió durante el año 2019 en total 21,663 tCO₂e, el 77,46% de CO₂ es generado por las exportaciones que utilizan transporte aéreo seguidas por un 11,75% de CO₂ del cambio de uso de suelo, 3,91% de CO₂ de combustible, 3% CO₂ de fertilizante nitrogenado, 2,59% de CO₂ de la disposición de residuos sólidos para la producción de compostaje, 0,62% de CO₂ de la utilización del compostaje como fertilizante y 0,67% de CO₂ correspondiente al uso de fundas plásticas, fundas de papel, bolsas trilaminadas, energía eléctrica y la generación de aguas mieles.

Partiendo de estos resultados se propuso un Plan Estratégico con medidas de mitigación, en donde se determinó que mediante la compra de Bonos de Carbono se logra reducir la mayor cantidad de emisiones que son generadas por las exportaciones. Además, se propuso la producción de biofertilizantes, implementación de un sistema fotovoltaico y un digestor anaerobio con captura de metano y cultivos de cobertura.

Como conclusión del trabajo se lograron generar estrategias de mitigación para las emisiones de carbono en el cultivo y procesamiento del café de especialidad, lo cual representa un paso inicial hacia la obtención de la certificación de carbono neutral.

Palabras clave: Huella de carbono, Gases de efecto invernadero, Medidas de mitigación, Carbono Neutro, CO₂equivalente (CO₂e)

ABSTRACT

This research work was carried out in a specialty coffee producing company in the Northwest of Pichincha, the aim was to proposing strategies for reduction the carbon footprint in coffee production processes, through environmental management tools, to position to the ecuadorian coffee sector within the framework of sustainability.

The company does not have reports that determine the emissions of Greenhouse Gases (GHG), which is why the GHG Emissions Inventory was established with the methodology stipulated by ISO 14064-1:2018 where the processes that it develops throughout the coffee production.

The study allowed to know that the company emitted a total of 21,663 tCO₂e during 2019, 77,46% of CO₂ is generated by exports that use air transport followed by 11,75% of CO₂ from land use change, 3,91% of CO₂ from fuel, 3% CO₂ from nitrogen fertilizer, 2,59% CO₂ from solid waste disposal for the production of composting, 0,62% CO₂ from the use of compost as fertilizer and 0,67% CO₂ corresponding to the use of plastic covers, paper covers, trilaminate bags, electrical energy and waste water.

Based on these results, a Strategic Plan with mitigation measures was proposed, where it was determined that by purchasing Carbon Bonds it is possible to reduce the greatest amount of emissions that are generated by exports. In addition, the production of biofertilizers, implementation of a photovoltaic system and an anaerobic digester with methane capture and cover crops were proposed.

As a conclusion of the work, it was possible to generate mitigation strategies for carbon emissions in the cultivation and processing of specialty coffee, which represents an initial step towards obtaining the carbon neutral certification.

Key words: Carbon footprint, Greenhouse gases, Mitigation measures, Carbon Neutral, CO₂ equivalent (CO₂e).

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente, la acumulación de gases de efecto invernadero ha generado muchos problemas al planeta; entre los principales gases de efecto invernadero tenemos el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) y los clorofluorocarbonos.

La degradación del medio ambiente causado por las actividades económicas y la sostenibilidad del desarrollo ha llevado a una preocupación mundial, considerando el impacto que tienen sobre el entorno natural la producción de diferentes artículos, materiales y servicios; de esta manera, se debe considerar todos los componentes involucrados desde, la extracción de materias primas hasta la disposición de los productos (Arias et al., 2018).

El impacto que tiene sobre el ambiente un producto y las actividades relacionadas a su producción se puede medir a través de varios métodos, por ejemplo: Análisis de Ciclo de Vida, huella hídrica, huella corporativa, huella del comercio y huella de carbono (Albornoz, 2017).

Las prácticas agrícolas generan gases de efecto invernadero; el CO₂ está vinculado a la conversión de la tierra, el manejo del suelo y el uso de energía, el N₂O debido al uso de fertilizantes, y el CH₄ relacionado principalmente con la gestión de los residuos de los productos (Killian et al., 2013).

El café es el producto agrícola tropical más comercializado en el mundo, el cual es cultivado en más de 10 millones de hectáreas. Un promedio de 125 millones de personas depende del café para su sustento; dichas personas están involucradas desde el cultivo hasta el procesamiento y venta (Killian et al., 2013).

La producción de café en América Latina ha contribuido con las emisiones de gases de efecto invernadero por el cambio de uso del suelo, malas prácticas en el manejo de recursos tanto naturales como manufacturados (combustibles, plásticos, vehículos, etc) (Killian et al., 2013).

1.1 Café en Ecuador

La caficultura en Ecuador tiene una importancia económica, social y ambiental; genera ingresos para los caficultores, acopiadores, transportistas y comercializadores, así como ingresos de divisas que contribuyen a dinamizar la economía rural en los territorios productores (Café de Ecuador, 2020).

En Ecuador el café se cultiva básicamente en sistemas agroforestales en 23 de las 24 provincias, en una amplia diversidad de suelos y climas, contribuyendo a la conservación de la fauna y flora nativas. Se cultivan las dos principales especies comerciales en el contexto mundial, *Coffea arabica* L (café arábica) y *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (robusta).

El Gobierno Nacional a través del MAGAP ejecuta desde el año 2012 el Proyecto "Reactivación de la Caficultura Ecuatoriana", cuya meta es sembrar 135.000 hectáreas de café, de las cuales 78 % corresponden a café arábica, y 22 % a robusta (Ponce et al., 2018).

1.2 Huella de Carbono

La huella de carbono es una medida de los gases de efecto invernadero (GEI) que están directa e indirectamente generados y emitidos por una empresa o producto durante su cadena de producción o ciclo de vida. Para realizar el cálculo se toma en cuenta los seis gases identificados en el Protocolo de Kioto: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

La unidad para expresar la huella de carbono está definida como toneladas equivalentes de dióxido de carbono (tCO₂), esta se obtiene multiplicando las emisiones de cada GEI por su respectivo potencial de calentamiento global con el fin de expresar las distintas emisiones en una unidad común (Frohmann y Olmos, 2013).

La huella de carbono varía notablemente en función del desarrollo alcanzado por los países, regiones y áreas dentro de un mismo país. Se detecta que entre economías desarrolladas y economías en desarrollo existen diferencias significativas que dejan los distintos procesos de la cadena agroalimentaria, producción primaria, transporte, procesamiento y distribución. (Viglizzo, 2010).

Una vez cuantificadas las emisiones, se pueden identificar las fuentes importantes y se pueden priorizar las áreas de reducción de emisiones y aumento de la eficiencia. Esto brinda la oportunidad para la eficiencia ambiental y la reducción de costos. La notificación de la huella de carbono o la divulgación al público es necesaria en respuesta a los requisitos legislativos, al comercio de carbono o como parte de la responsabilidad social corporativa, o para mejorar la imagen de la marca (Pandey, Agrawal & Pandey, 2010).

1.2.1 Fuentes de emisión

Para medir la huella de carbono es necesario identificar las fuentes de emisión que serán consideradas; entre ellas tenemos a las emisiones directas e indirectas:

Emisiones directas: son emisiones que están controladas o provienen de fuentes que son propiedad de la entidad que reporta como por ejemplo, las emisiones de vehículos utilizados por la organización, emisiones derivadas de la combustión de combustibles por equipos dentro de la organización para la producción de calefacción, energía eléctrica, refrigeración, entre otros.

Emisiones indirectas: son emisiones consecuencia derivadas de la adquisición y consumo de energía de la organización, pero producidas físicamente fuera de los límites de la organización

Otras emisiones indirectas: son emisiones que proceden como consecuencia de las actividades de la organización, pero que ocurren en fuentes que no son propiedad y que no están controladas por

la organización como, las vinculadas a los proveedores de materias primas y el uso y fin de vida de los productos generados.

Es necesaria la exclusión u omisión de fuentes de emisión que no sean pertinentes o su cálculo es inviable técnica o económicamente (De Toro et al., 2014).

1.2.2 Metodologías para el cálculo de la Huella de Carbono

Actualmente, a nivel mundial no existe una legislación obligatoria para calcular la huella de carbono en las instituciones del sector público o privado. En principio, las organizaciones pueden decidir por sí mismas si informan las emisiones relacionadas con sus actividades, y si lo hacen, determinan cómo calcularlos y monitorearlos.

Para calcular la huella de carbono, se debe estimar y agregar las fuentes y sumideros de GEI en el ciclo de vida del producto. El ciclo de vida de un producto incluye todas las etapas involucradas, como su fabricación desde la entrega de la materia prima hasta el empaque final, distribución, consumo/uso, y las etapas finales de eliminación. Por lo tanto, el análisis del ciclo de vida también se denomina "análisis de la cuna a la tumba".

En el ANEXO A se realiza un resumen de las metodologías más comunes.

1.2.2.1 Norma ISO 14064-1:2018

Los principios fundamentales para asegurarse de que la información relacionada con los GEI es cierta e imparcial son, pertinencia, integridad, coherencia, exactitud y transparencia.

De acuerdo a estos principios, la norma considera los siguientes aspectos:

1 Límites del inventario de GEI

1.1 Límites de la Organización

1.2 Límites Operativos

2 Cuantificación de emisiones y remociones de GEI

2.1 Identificación de fuentes y sumideros de GEI

2.2 Selección de la metodología de cuantificación

2.3 Selección y recopilación de datos de la actividad de GEI

2.4 Selección o desarrollo de los factores de emisión o remoción de GEI

2.5 Cálculo de las emisiones y remociones de GEI

2.6 Selección y establecimiento del año base

3 Actividades de mitigación

En el presente estudio se determinará la huella de carbono y se propondrán estrategias para su reducción en el cultivo y procesamiento de café en Ecuador, tomando como modelo de estudio una finca de café de especialidad del Noroccidente de Pichincha para lo cual se ha propuesto la siguiente hipótesis.

2 HIPÓTESIS

“A través de la implementación de estrategias de gestión ambiental, es posible reducir la huella de carbono del proceso productivo de café”.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Proponer estrategias para la reducción de la huella de carbono en procesos productivos de café, a través de herramientas de gestión ambiental, para posicionar al sector cafetalero ecuatoriano dentro del marco de sustentabilidad.

3.2 Objetivos Específicos

- Determinar la huella de carbono de las distintas etapas del proceso productivo de café, a través de aproximaciones teóricas (uso de factores de emisión), para sentar las bases para la generación de estrategias de minimización de la misma.
- Proponer estrategias de minimización de la huella de carbono y evaluar la factibilidad técnica y económica de su implementación en el proceso productivo de café, en base a herramientas de gestión ambiental, como aproximación inicial para establecer el plan estratégico de reducción de emisiones de carbono.
- Diseñar un plan estratégico de reducción de huella de carbono sugerido para la industria del café, a partir del proceso de evaluación previo, para promover en esta industria un cambio hacia procesos sustentables.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Límites del inventario de emisiones de GEI

Para el inventario de emisiones de gases de efecto invernadero será necesaria la revisión de la información de consumos, así como también del sistema operativo durante un año base establecido.

Los lineamientos que se van a seguir en el inventario de emisiones para el cálculo de la huella de carbono, de acuerdo a la ISO 14064-1, son las siguientes:

4.1.1 Límites de la organización

La Empresa es propietaria absoluta de todas sus operaciones desde la producción hasta la distribución de sus productos, por lo tanto, es económicamente independiente. Para el cálculo de la huella de carbono se considerará el enfoque de control y se contabilizará el 100% de las emisiones de GEI.

4.1.2 Límites operacionales

De acuerdo a la Norma ISO14064-1:2018 y Vallejo et.al. (2017), los límites operacionales dentro del proceso de producción del café se dividen en emisiones directas e indirectas como se menciona en los ANEXOS B, C y D.

4.1.3 Año base para el cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero

Los datos e inventario que se utilizarán para calcular las emisiones GEI serán las del año 2019, debido a que se cuenta con todos los ingresos mensuales de los diferentes productos utilizados por la organización.

4.1.4 Estimación de la Huella de Carbono

La metodología más común consiste en combinar la información sobre las emisiones hasta la cual tiene lugar cada una de las actividades, con los coeficientes que cuantifican las emisiones o sumideros por actividad unitaria. Se los denomina factores de emisión. Por consiguiente, la ecuación básica es:

$$\text{Emisiones} = \text{AD} \times \text{EF} \times \text{PCG} \quad (1)$$

Donde:

AD, datos de la actividad; kW/h, kg, gal, m³

EF, factor de emisión supone la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos por cada unidad del parámetro “dato de actividad”. Estos factores varían en función de la actividad que se trate.

PCG, Potencial de Calentamiento Global (ANEXO G)

Como resultado de esta fórmula obtendremos una cantidad (g, kg, ton) determinada de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) (Enríquez, 2012).

4.1.5 Huella De Carbono Total

De acuerdo al ANEXO F, se generarán los formatos de registro adecuados para las fuentes de emisión tanto directas como indirectas.

La recolección de los datos será realizada a través de la revisión de documentación de respaldo de los administradores.

4.2 Estrategias de minimización de la Huella de Carbono

De acuerdo a Vallejo et al. (2017), como primer paso debemos establecer los objetivos de reducción y establecer los pasos para definir las estrategias de reducción de emisiones, como se observa en el ANEXO I.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se aplicará la metodología descrita anteriormente para los resultados de CO₂e más altos y que requieran un plan de mitigación.

5 RESULTADOS

5.1 Emisiones directas por el cambio de uso de suelo

En la ecuación 2, 3 y 4 se indica el cálculo y resultado para las emisiones directas por el cambio de uso de suelo, donde se utilizó el factor de emisión de bosque natural 848,650 kg CO₂/ha propuesto por Ministry for the Environment (2019), este factor de emisión es una aproximación debido a que bibliográficamente no está disponible un factor de emisión para bosques húmedos.

$$Emisión_{CUS} = \text{hectareas taladas} \times \text{factor de emisión} \times PCG \quad (2)$$

$$Emisión_{CUS} = 3ha \times 848,650kg \text{ CO}_2/\text{ha} \times 1kg\text{CO}_2 \text{ e}/kgC \text{ O}_2 \quad (3)$$

$$Emisión_{CUS} = 2545,95kgCO_2e = 2,545tCO_2e \quad (4)$$

5.2 Emisiones directas por el uso de fertilizantes

De acuerdo a Vallejo et al (2017), se aplica la ecuación 5 para el cálculo de la huella de carbono para el uso de fertilizantes sintéticos y orgánicos:

$$E_{Fe} = (Fe \times N) \times FE_{Fe} \times 44/28 \times PCG_{N_2O} \quad (5)$$

Donde:

E_{Fe} = Emisiones de CO₂ equivalente por aplicación de fertilizantes (kg CO₂e)

Fe = Cantidad total de fertilizante aplicado durante el año en estudio kg_{total fert}

N = Razón de Nitrógeno contenida en el total del fertilizante (kg N/kg_{total fert})

FE_{Fe} = Factor de Emisión en aplicación de Nitrógeno (kg N₂OxN/ kg N) = 0,01 (IPCC, 2015).

44/28 = Razón de conversión de emisiones de N₂O-N en emisiones de N₂O

PCG_{N_2O} = Potencial de Calentamiento Global del N₂O (kg CO₂e/kg N₂O) = 265

Nota: En caso de que el valor de N esté en %, este deberá dividirse entre 100.

El fertilizante utilizado en este caso es NPK CTU ABOTEK, de acuerdo a la ficha de datos de seguridad (YaraMila, 2019):

Se manejó una unidad funcional de 3ha para los cálculos correspondientes, debido a que esta es la extensión de sembrío en la finca.

Tabla 1. Contenido de nitrógeno del fertilizante.

NPK CTU ABOTEK	%	Tasa de aplicación	%N
Nitrato de amonio	≥35-<45	405 kg/3ha	33-34,5*
Sulfato de amonio	≥3-<5	45 kg/3ha	21*
Dihidrogenoortofosfato de amonio (fosfato monoamónico)	≥5-<7	63 kg/3ha	11*

Fuente: *Vallejo et al (2017)

Se utilizó las ecuaciones 6, 7 y 8 para determinar de contenido de N de los diferentes compuestos del fertilizante NPK CTU ABOTEK, donde:

$$\text{Nitrato de amonio: } N_{NH_4NO_3} = \frac{405kg}{3ha} \times \frac{34,5}{100} = 139,73kgN/3ha \quad (6)$$

$$\text{Sulfato de amonio: } N_{(NH_4)_2SO_4} = \frac{45kg}{3ha} \times \frac{21}{100} = 9,45kgN/3ha \quad (7)$$

$$\text{Fosfato monoamónico: } N_{NH_4H_2PO_4} = \frac{63kg}{3ha} \times \frac{11}{100} = 6,93kgN/3ha \quad (8)$$

En la ecuación 9 se muestra el resultado de la suma del contenido total de N del fertilizante

$$\text{Nitrógeno total en fertilizante (N)} = (139,73 + 9,45 + 6,93) \frac{kg N}{3ha} = 156,11 \frac{kg N}{3ha} \quad (9)$$

En la ecuación 10 se reemplazaron los valores determinados anteriormente, para obtener el resultado de las emisiones por el uso de fertilizantes nitrogenados (ecuación 11).

$$\text{Emisión} = 156,11 \frac{kgN}{3ha} \times 0,01 \frac{kg N_2O-N}{kgN} \times \frac{44}{28} \times 265 \frac{kg CO_2e}{kg N_2O} \quad (10)$$

$$\text{Emisión} = 650,08kgCO_2e = 0,65tCO_2e \quad (11)$$

5.3 Emisiones directas por el uso de combustibles fósiles

5.3.1 Combustible

Debido a que Ecuador no tiene factores de emisión propios para los combustibles fósiles, se ha buscado diferentes factores de emisión para poder compararlos; en la tabla 2 se muestran algunos factores internacionales:

Tabla 2. Factores de emisión para combustión móvil de diferentes regiones.

Combustible	Factor de emisión	Región	Referencia
Gasolina genérica	2,34 kg CO ₂ /l	Bogotá	(Cámara de Comercio de Bogotá, 2015)
Gasolina	2,231 kg CO ₂ /l	Costa Rica	(Instituto Meteorológico Nacional, 2017)
Gasolina	2,272 kg CO ₂ /l	Global	(IPCC, 2015)
Gasolina regular	2.45 kg CO ₂ /l	New Zealand	(Ministry for the Environment, 2019)

Por las características de la región se ha tomado en consideración para el estudio el factor de emisión propuesto por Cámara de Comercio de Bogotá (2015), por lo tanto:

De acuerdo al ANEXO H, en el año 2019 se utilizaron 360 litros de gasolina. En las ecuaciones 12, 13 y 14 se muestra el cálculo y resultado para la determinación del uso de combustibles.

$$\text{Emisión Combustible } CO_2 = \text{Consumo de combustible} \times FeCO_2 \times PCG_{CO_2} \quad (12)$$

$$\text{Emisión Combustible } CO_2 = 360l \times 2,34 \frac{kgCO_2}{l} \times 1 \frac{kgCO_2e}{kgCO_2} \quad (13)$$

$$\text{Emisión Combustible } CO_2 = 842,4kgCO_2e = 0,842tCO_2e \quad (14)$$

Sin embargo, de acuerdo a Vallejo (2017), la quema de combustibles produce emisiones tanto de CO_2 como de N_2O y CH_4 , en la tabla 3 se muestran los factores de emisión propuestos por el Instituto Meteorológico Nacional (2017).

Tabla 3. Factores de emisión N_2O y CH_4 .

Factor de emisión	Valor
N_2O	0,02211g N_2O /l
CH_4	0,346g CH_4 /l

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional, 2017.

El cálculo y resultado de las emisiones de N_2O producidos por el uso de combustible se muestran en las ecuaciones 15, 16 y 17.

$$\text{Emisión Combustible } N_2O = \text{Consumo de combustible} \times FeN_2O \times PCG_{N_2O} \quad (15)$$

$$\text{Emisión Combustible } N_2O = 360l \times \frac{0,02211}{1000} \frac{kgN_2O}{l} \times 265 \frac{kgCO_2e}{kgN_2O} \quad (16)$$

$$\text{Emisión Combustible } N_2O = 2,1kgCO_2e = 0,0021tCO_2e \quad (17)$$

El cálculo y resultado de las emisiones de CH_4 producidos por el uso de combustible se muestran en las ecuaciones 18, 19 y 20.

$$\text{Emisión Combustible } CH_4 = \text{Consumo de combustible} \times FeCH_4 \times PCG_{CH_4} \quad (18)$$

$$\text{Emisión Combustible } CH_4 = 360l \times \frac{0.346 \text{ kg}CH_4}{1000} \times \frac{1}{l} \times 28 \frac{\text{kg}CO_2e}{\text{kg}CH_4} \quad (19)$$

$$\text{Emisión Combustible } CH_4 = 3,49 \text{ kg}CO_2e = 0,0034 \text{ t}CO_2e \quad (20)$$

La suma total de las emisiones producidas por el uso de combustibles se muestra en la ecuación 21, y su resultado en ecuación 22.

$$\text{Emisión Total de Combustible} = 0,842 \text{ t}CO_2e + 0,0021 \text{ t}CO_2e + 0,0034 \text{ t}CO_2e \quad (21)$$

$$\text{Emisión Total de Combustible} = 0,847 \text{ t}CO_2e \quad (22)$$

5.3.2 Gas licuado de petróleo

Como en el caso del combustible, Ecuador no tiene un factor de emisión para el GLP, en la tabla 4., se muestran los diferentes factores estudiados.

Tabla 4. Factores de emisión para GLP de diferentes regiones.

Combustible	Factor de emisión	Región	Referencia
GLP	1.611 kg CO ₂ /l	Costa Rica	(Instituto Meteorológico Nacional, 2017)
	1,588 kg CO ₂ /l	Global	(IPCC, 2015)
	1,64 kg CO ₂ /l	New Zealand	(Ministry for the Environment, 2019)

Para el cálculo de las emisiones generadas por el uso de GLP se utilizará el factor de emisión propuesto por el Instituto Meteorológico Nacional (2017) como se muestra en la ecuación 23.

Además, es necesario conocer la densidad del gas, se ha tomado como referencia al Instituto Ecuatoriano de Normalización (2013), la densidad del gas propano a 15 °C es de 507,6 kg/m³.

En la ecuación 24 y 25 se muestran los valores y resultado de la emisión por GLP.

$$\text{Emisión GLP } CO_2 = \text{Consumo de GLP} \times \text{densidad} \times FeCO_2 \times PCG_{CO_2} \quad (23)$$

$$\text{Emisión GLP } CO_2 = 45 \text{ kg} \times \frac{1}{1000 \times 507,6 \text{ kg}} \times \frac{1}{l} \times 1,611 \frac{\text{kg}CO_2}{l} \times 1 \frac{\text{kg}CO_2e}{\text{kg}CO_2} \quad (24)$$

$$\text{Emisión GLP } CO_2 = 147,26 \text{ kg}CO_2e = 0,147 \text{ t}CO_2e \quad (25)$$

Al igual que los combustibles el GLP emite tanto CO₂ como N₂O y CH₄, en la tabla 5 se muestran los factores de emisión.

Tabla 5. Factores de emisión N₂O y CH₄.

Factor de emisión	Valor
N ₂ O	0,002745gN ₂ O/l
CH ₄	0,139g CH ₄ /l

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional, 2017

La ecuación 26, 27 y 28 muestran los cálculos y resultado de la emisión de N₂O por el uso de GLP.

$$\text{Emisión GLPN}_2\text{O} = \text{Consumo de GLP} \times \text{densidad} \times \text{FeN}_2\text{O} \times \text{PCG}_{\text{N}_2\text{O}} \quad (26)$$

$$\text{Emisión GLP N}_2\text{O} = 45\text{kg} \times \frac{1}{507,6 \times 1000 \text{ kg}} \times \frac{1}{1000} \times \frac{0,002745 \text{ kgN}_2\text{O}}{\text{l}} \times 265 \frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{kgN}_2\text{O}} \quad (27)$$

$$\text{Emisión GLP N}_2\text{O} = 0,0644\text{kgCO}_2\text{e} = 0,0000644\text{tCO}_2\text{e} \quad (28)$$

Para la determinación de la emisión de CH₄ por la utilización de GLP se muestran los cálculos y resultados en las ecuaciones 29, 30 y 31.

$$\text{Emisión GLP CH}_4 = \text{Consumo de GLP} \times \text{densidad} \times \text{FeCH}_4 \times \text{PCG}_{\text{CH}_4} \quad (29)$$

$$\text{Emisión GLP CH}_4 = 45\text{kg} \times \frac{1}{507,6 \times 1000 \text{ kg}} \times \frac{1}{1000} \times \frac{0,139 \text{ kgCH}_4}{\text{l}} \times 28 \frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{kgCH}_4} \quad (30)$$

$$\text{Emisión GLP CH}_4 = 0,345\text{kgCO}_2\text{e} = 0,000345\text{tCO}_2\text{e} \quad (31)$$

La ecuación 32 y 33 muestran la suma total de las emisiones generadas por el uso de GLP tanto de CO₂, N₂O y CH₄.

$$\text{Emisión Total de GLP} = 0,147\text{tCO}_2\text{e} + 0,0000644\text{tCO}_2\text{e} + 0,000345\text{tCO}_2\text{e} \quad (32)$$

$$\text{Emisión Total de GLP} = 0,147\text{tCO}_2\text{e} \quad (33)$$

5.4 Emisiones directas por la disposición de residuos sólidos para su conversión en compost

En la ecuación 34, 35 y 36 se muestran los cálculos y resultado de las emisiones que se generan por la disposición de los residuos sólidos generados en la finca de café para su transformación por

medio del compostaje. De acuerdo al Instituto Meteorológico Nacional (2017), el factor de emisión para el compost es de 4g CH₄/kg.

$$\text{Emisión Compost} = \text{Compost} \times \text{factor de emisión} \times \text{PCG} \quad (34)$$

$$\text{Emisión Compost} = 5000 \text{kg} \times \frac{0,004 \text{kgCH}_4}{\text{kg}} \times 28 \frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{kgCH}_4} \quad (35)$$

$$\text{Emisión Compost} = 560 \text{kgCO}_2\text{e} = 0,56 \text{tCO}_2\text{e} \quad (36)$$

5.5 Emisiones directas por el uso de compostaje como fertilizante

Para el cálculo de las emisiones asociadas al empleo de compost como fertilizante (ecuaciones 37, 38 y 39) se utilizó el factor de emisión de 26,8 kg CO₂e/t compost (Montejano, 2018).

$$\text{Emisión de compost/fertilizante} = \text{Compost} \times \text{factor de emisión} \times \text{PCG} \quad (37)$$

$$\text{Emisión de compost/fertilizante} = \frac{5000 \text{kg}}{1000 \text{kg}} \times 1 \text{ t} \times \frac{26,8 \text{kgCO}_2}{\text{t}} \times 1 \frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{kgCO}_2} \quad (38)$$

$$\text{Emisión de compost/fertilizante} = 134 \text{kgCO}_2\text{e} = 0,134 \text{tCO}_2\text{e} \quad (39)$$

5.6 Emisiones directas por aguas residuales del proceso

Para obtener el valor de emisiones por aguas residuales del proceso (ecuación 40, 41 y 42) llamadas aguas mieles se utilizó factor de emisión en función del DQO (Vallejo et al, 2017) y el factor de emisión propuesto por el Instituto Meteorológico Nacional (2017) de 0,025 kg CH₄/DQO.

En función de este factor de emisión se debe estimar la cantidad promedio de DQO de las aguas mieles vertidas durante el año de estudio; según Paredes et al., (2018) la carga de contaminación evaluada en función de la demanda química de oxígeno (DQO) de las aguas residuales del procesamiento del café se encuentra entre 6420 y 8480 mg DQO/L.

$$\text{Emisión aguas mieles} = \text{DQO promedio} \times \text{agua generada} \times \text{factor emisión} \times \text{PCG} \quad (40)$$

$$\text{Emisión aguas mieles} = \frac{0,00848 \text{kgDQO}}{\text{l}} \times 1000 \text{l} \times \frac{0,025 \text{kgCH}_4}{\text{DQO}} \times 28 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kgCH}_4} \quad (41)$$

$$\text{Emisión aguas mieles} = 5,936 \text{kgCO}_2\text{e} = 0,005936 \text{tCO}_2\text{e} \quad (42)$$

5.7 Emisiones indirectas por energía eléctrica

En la tabla 6 se muestra el factor de emisión correspondiente a las emisiones indirectas de GEI por energía eléctrica.

Tabla 6. Factor de emisión por consumo de Energía Eléctrica.

Año	Factor de Emisión tCO ₂ /MWh
2019	0,2255

Fuente: (Comisión Técnica de determinación de Factores de Emisión de Gases de efecto invernadero, 2020).

Para el cálculo de emisiones indirectas de energía se obtuvo información del consumo de energía eléctrica (KWh) proporcionado por la administración de la empresa (tabla 7). En las ecuaciones 43, 44 y 45 se muestran los cálculos y resultados.

Tabla 7. Consumo de Energía Eléctrica.

Consumo promedio mensual	60 KWh
Consumo anual	720 kWh / 0,72 MWh

$$\text{Emisión} = \text{Consumo anual} \times \text{factor de emisión} \times \text{PCG} \quad (43)$$

$$\text{Emisión} = 0,72\text{MWh} \times 0,2255 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{MWh}} \times 1 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kgCO}_2} \quad (44)$$

$$\text{Emisión} = 0,16\text{tCO}_2 \quad (45)$$

5.8 Emisiones indirectas por residuos sólidos

5.8.1 Fundas plásticas

Para determinar las emisiones generadas por la utilización de fundas plásticas, fue necesario obtener la masa de las fundas para lo cual se muestra en las siguientes ecuaciones los cálculos.

A partir de las dimensiones de las fundas de plástico utilizadas (8x8x12 cm) se calcula el volumen como se muestra en las ecuaciones 46 y 47.

$$\text{Volumen} = \text{área base} \times \text{altura} \quad (46)$$

$$\text{Volumen} = 8 \times 8 \times 12 = 768 \text{cm}^3 \quad (47)$$

En las ecuaciones 48 y 49 se muestra el cálculo y resultado del volumen de una funda de plástico de dimensiones 21,75x31x12 cm que tiene una masa de 2,77 g.

$$\text{Volumen} = \text{área base} \times \text{altura} \quad (48)$$

$$\text{Volumen} = 21,75 \times 31 \times 12 = 8091 \text{cm}^3 \quad (49)$$

Con una regla de tres se determinó la masa de la funda plástica a partir del resultado obtenido en las ecuaciones 47 y 49. Los cálculos y resultados se muestran en las ecuaciones 50, 51 y 52.

$$8091 \text{ cm}^3 \rightarrow 2,77 \text{g} \quad (50)$$

$$768 \text{ cm}^3 \rightarrow x \quad (51)$$

$$x = 0,2629 \text{g} \quad (52)$$

En las ecuaciones 53, 54 y 55 se muestra el cálculo para las emisiones por fundas plásticas donde se utilizó el factor de emisión de 2700 kgCO₂/t PE bags/films (James, 2010).

$$\text{Emisión fundas plásticas} = \text{fundas plásticas} \times \text{factor de emisión} \times \text{PCG} \quad (53)$$

$$\text{Emisión fundas plásticas} = 3000 \times 0,00000026 \text{t} \times 2700 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{t}} \times 1 \frac{\text{kgCO}_2 \text{e}}{\text{kgCO}_2} \quad (54)$$

$$\text{Emisión fundas plásticas} = 2,129 \text{kgCO}_2 \text{e} = 0,0021 \text{tCO}_2 \text{e} \quad (55)$$

5.8.2 Fundas de papel

Para el cálculo de las emisiones por fundas papel se utilizó el factor de emisión de 0,05kgCO₂/piezas propuesto por openco2.net de Emission factor data Paper bag, upper limit (s.f.) (ecuaciones 56, 57 y 58).

$$\text{Emisión fundas papel} = \text{fundas papel} \times \text{factor de emisión} \times \text{PCG} \quad (56)$$

$$\text{Emisión fundas papel} = 1000 \text{piezas} \times 0,05 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{piezas}} \times 1 \frac{\text{kgCO}_2 \text{e}}{\text{kgCO}_2} \quad (57)$$

$$\text{Emisión fundas papel} = 50 \text{kgCO}_2 \text{e} = 0,05 \text{tCO}_2 \text{e} \quad (58)$$

5.8.3 Bolsas trilaminadas

Las bolsas para café se componen de tres láminas de elementos termoplásticos, Tereftalato de polietileno (PET), PET metalizado (Met PET) y Polietileno (PE) (Bolsasparacafé, s.f.), (Proyosolin S.A.S, s.f). De acuerdo a esto, se han identificado los factores de emisión como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Factores de emisión de PET, PE y Met PET.

Termoplástico	Factor de emisión	Referencia
PET	4,0323925 kgCO ₂ /t	UK Government (2020)
PE bags/films	2,7 kgCO ₂ /t	(James, 2010)
Met PET	0,197 kg CO ₂ /t	(Bayus, 2015)

De acuerdo a la información proporcionada por la empresa, cada bolsa trilaminada tiene un peso de 17 g.

A partir de estos datos, se calcularon las emisiones para cada uno de los componentes de las bolsas como se muestran en las siguientes ecuaciones:

$$\text{Emisión PET} = \text{fundas trilaminada} \times \text{peso funda} \times \text{factor de emisión} \times \text{PCG} \quad (59)$$

$$\text{Emisión PET} = 800 \times 17\text{kg} \times \frac{1}{1000} \times 4,03925 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kg}} \times 1 \frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{kgCO}_2} \quad (60)$$

$$\text{Emisión PET} = 54,9338\text{kgCO}_2\text{e} = 0,0549\text{tCO}_2\text{e} \quad (61)$$

$$\text{Emisión PE} = \text{fundas trilaminada} \times \text{peso funda} \times \text{factor de emisión} \times \text{PCG} \quad (62)$$

$$\text{Emisión PE} = 800 \times 17\text{kg} \times \frac{1}{1000} \times 2,7 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kg}} \times 1 \frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{kgCO}_2} \quad (63)$$

$$\text{Emisión PE} = 36,72\text{kgCO}_2\text{e} = 0,03672\text{tCO}_2\text{e} \quad (64)$$

$$\text{Emisión Met PET} = \text{fundas trilaminada} \times \text{peso funda} \times \text{factor de emisión} \times \text{PCG} \quad (65)$$

$$\text{Emisión Met PET} = 800 \times 17\text{kg} \times \frac{1}{1000} \times 0,197 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kg}} \times 1 \frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{kgCO}_2} \quad (66)$$

$$\text{Emisión Met PET} = 2,6792\text{kgCO}_2\text{e} = 0,002679\text{tCO}_2\text{e} \quad (67)$$

En la ecuación 68 se sumaron todas las emisiones generadas por cada componente de las bolsas trilaminadas para obtener el valor total.

$$\text{Emisión total} = 0,0549tCO_2e + 0,03672tCO_2e + 0,002679tCO_2e = 0,094tCO_2e \text{ (68)}$$

5.9 Emisiones indirectas por exportaciones

La empresa en el año 2019 realizó exportaciones de café mediante la empresa Caravela Coffe. De acuerdo a la información proporcionada por la página web de la empresa en su Impact Report 2019 indica que produjeron 962tCO₂e durante el 2019 por transportación y distribución/carga. (Caravela Coffe, 2020).

Con la utilización de una regla de tres se calcularon las emisiones por exportaciones (ecuaciones 69, 70 y 71), de acuerdo a la información proporcionada por la empresa, indica que en el año de estudio se exportaron 172000 kg de café. Por lo tanto, las emisiones serían las siguientes:

$$172000 \text{ kg} \rightarrow 962 \text{ tCO}_2e \text{ (69)}$$

$$3000 \text{ kg} \rightarrow x \text{ (70)}$$

$$\text{Emisión total} = 16,78 \text{ tCO}_2e \text{ (71)}$$

5.10 Remociones

De acuerdo a los datos recopilados en las 3 hectáreas de sembríos de café el 30% (ecuación 72 y 73) fue reforestado con árboles frutales para tener cultivos mixtos. Para determinar las remociones se utilizó el factor de emisión de bosques plantados -33,807 kg CO₂/ha propuesto por Ministry for the Environment (2019).

$$\text{Hectareas reforestadas} = 3ha \times 30/100 \text{ (72)}$$

$$\text{Hectareas reforestadas} = 0,9ha \text{ (73)}$$

En las ecuaciones 74, 75 y 76 se muestra el cálculo y resultado para las remociones del área reforestada.

$$\text{Remociones} = \text{hectareas reforestadas} \times \text{factor de emisión} \times \text{PCG} \quad (74)$$

$$\text{Remociones} = 0,9\text{ha} \times -33,807\text{kgCO}_2/\text{ha} \times 1\text{kgCO}_2\text{e}/\text{kgCO}_2 \quad (75)$$

$$\text{Remociones} = -30,426\text{kgCO}_2\text{e} = -0,03\text{tCO}_2\text{e} \quad (76)$$

De igual forma, las plantas de café deben ser tomadas en cuenta para las remociones que representan el 70% de la plantación total (ecuaciones 77 y 78).

$$\text{Hectareas plantadas} = 3\text{ha} \times 70/100 \quad (77)$$

$$\text{Hectareas reforestadas} = 2,1\text{ha} \quad (78)$$

Al igual que el caso anterior se realizó el cálculo de las remociones para el área de sembrío con las plantas de café (ecuaciones 79, 80 y 81).

$$\text{Remociones} = \text{hectareas reforestadas} \times \text{factor de emisión} \times \text{PCG} \quad (79)$$

$$\text{Remociones} = 2,1\text{ha} \times -33,807\text{kgCO}_2/\text{ha} \times 1\text{kgCO}_2\text{e}/\text{kgCO}_2 \quad (80)$$

$$\text{Remociones} = -70,99\text{kgCO}_2\text{e} = -0,07\text{tCO}_2\text{e} \quad (81)$$

En la ecuación 82 se calcularon las remociones totales.

$$\text{Remociones totales} = -0,1\text{tCO}_2\text{e} \quad (82)$$

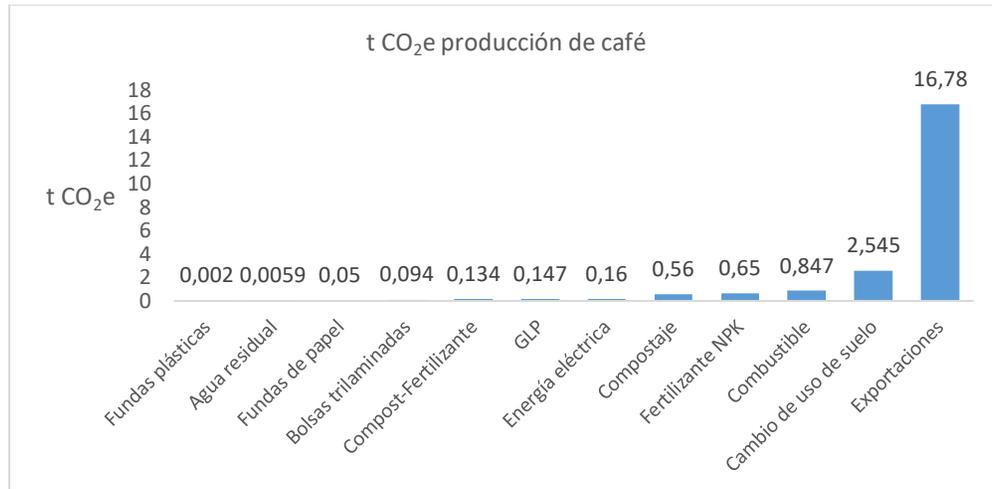
En el ANEXO J., se resumen las emisiones detectadas en la producción de café durante el año 2019.

En la figura 1., podemos identificar en orden ascendente los procesos que generan la mayor cantidad de CO₂e, de acuerdo a la clasificación propuesta los residuos sólidos compuestos por fundas plásticas, fundas de papel y bolsas trilaminadas generan 0,002, 0,05 y 0,094 tCO₂e respectivamente.

Por otro lado, observamos que las actividades o procesos con valores más altos y para los cuales se propondrán medidas de mitigación son: compost-fertilizante 0,134 tCO₂e, GLP 0,147 tCO₂e,

Energía eléctrica 0,16 tCO₂e, Fertilizantes 0,65 tCO₂e, compostaje 0,56 tCO₂e, combustible 0,847 tCO₂e, cambio de uso de suelo 2,545 tCO₂e y las exportaciones 16,78 tCO₂e.

Figura 1. Resultados del cálculo de tCO₂e en el proceso productivo de café.



5.11 Estrategias de reducción de Huella de Carbono

5.11.1 Medidas de mitigación para el uso de fertilizantes nitrogenados

En la tabla 9 se presentan las medidas de mitigación propuestas para la reducción de las emisiones generadas por el uso de fertilizantes nitrogenados.

Tabla 9. Medidas de mitigación para el uso de fertilizantes nitrogenados.

Objetivo de reducción	Límites	Indicadores	Acciones
Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, generadas como consecuencia de la aplicación de fertilizantes sintéticos (NPK CTU ABOTEK)	Se espera reducir en un 40%	KgCO ₂ eq/kg _{total fert}	Aplicación de microorganismos que ayuden en la fijación de nitrógeno atmosférico en el suelo.
			Pruebas de nitrógeno del suelo combinado con la optimización del tiempo de fertilización

Los microorganismos fijadores de nitrógeno forman una parte importante en la composición del suelo, debido a que producen enzimas que toman el nitrógeno en su forma gaseosa de la atmósfera y con los azúcares que obtienen de la planta, fijan el nitrógeno dentro de la biomasa bacteriana. Las bacterias que han tenido gran acogida en plantas de café es el género *Azospirillum*, que se caracterizan por fijar nitrógeno, producir auxinas, giberelinas y citoquininas (a una concentración suficiente para provocar cambios morfológicos y fisiológicos), así como también sideróforos y bacteriocinas. En las plantaciones donde se ha utilizado *Azospirillum* se observa un mayor desarrollo del sistema radical, teniendo como consecuencia una mayor superficie de absorción de nutrientes, así como también un gran desarrollo de la parte aérea de las plantas. Además, se han observado incrementos en el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio y otros minerales en las plantas inoculadas (Santana et al, 2017).

De acuerdo a las recomendaciones de Vallejo et al. (2017), se puede reducir la sobrefertilización al programar y llevar a cabo periódicamente pruebas de laboratorio para determinar la cantidad de nitrógeno del suelo y así disminuir las emisiones de N₂O. Esta medida en combinación con la optimización en el tiempo de fertilización puede disminuir en gran cantidad las emisiones debido a que, el fertilizante únicamente se colocaría en las etapas en que el cultivo requiere de nutrientes.

Con estas alternativas se ha visto que se logra reducir hasta en un 40% la utilización de fertilizantes químicos sin efectos significativos en la productividad (Vallejo et al., 2017).

En el estudio de Reis et al., (2011) se señalan varios ensayos probados en diferentes plantas con la utilización de microorganismos fijadores de nitrógeno, por ejemplo, se identificó un 70% de acumulación biológica de nitrógeno en caña de azúcar. Por otro lado, se ha identificado alrededor del 50-75% de fijación de nitrógeno con la inoculación de *Azospirillum* en leguminosas siendo lo normal alrededor del 50%.

Con estas alternativas se ha visto que se logra reducir hasta en un 40% (ecuaciones 83, 84 y 85) la utilización de fertilizantes químicos sin efectos significativos en la productividad (Vallejo et al., 2017).

$$0,65 \text{ tCO}_2e \rightarrow 100\% \text{ (83)}$$

$$x \rightarrow 40\% \text{ (84)}$$

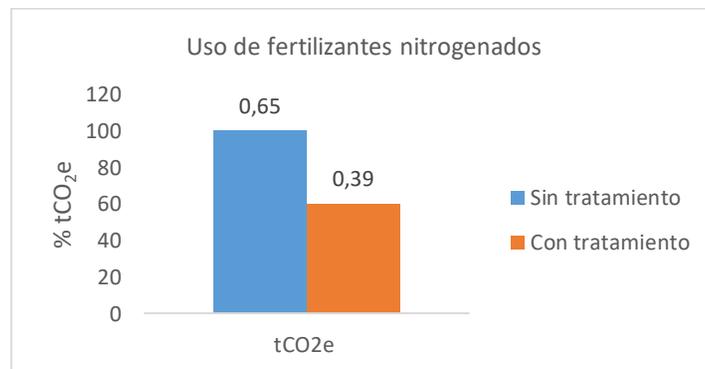
$$x = 0,26 \text{ tCO}_2e \text{ (85)}$$

Por lo tanto, se lograría reducir con estas medidas de 0,65tCO₂e a 0,39 tCO₂e como se muestra en las ecuaciones 86 y 87 en cada año de producción.

$$\text{Reducción} = 0,65\text{tCO}_2e - 0,26\text{tCO}_2e \text{ (86)}$$

$$\text{Reducción} = 0,39 \text{ tCO}_2e \text{ (87)}$$

Figura 2. Reducción de tCO₂e aplicando las medidas de mitigación para el uso de fertilizantes nitrogenados.



5.11.1.1 Análisis técnico y estimación de costos

Para un rendimiento óptimo de la medida propuesta, se debería realizar un aislamiento de los microorganismos endémicos de la tierra de cultivo de las plantas de café, utilizando medios de cultivo selectivo, una vez aislados los microorganismos objetivo deben ser reproducidos en caldos de cultivo para posteriormente realizar ensayos a escala de laboratorio.

Una vez que estos ensayos hayan sido los óptimos se pueden llevar a escala de campo y comprobar su rendimiento. Este proceso se lo puede realizar en convenio con alguna universidad para la investigación y así contribuir equitativamente a la educación y desarrollo de nuevas tecnologías agrícolas para un uso sostenible y amigable con el medio ambiente reduciendo las emisiones de GEI.

Tomando como referencia los datos de Haberland y Riquelme (2015) se prevé que la empresa sea la encargada de suministrar al equipo investigador de las materias primas para la puesta en marcha de los equipos para la producción del biofertilizante previamente desarrollado con una inversión inicial de 3000 USD.

5.11.2 Medida de mitigación para el uso de combustibles fósiles

El uso de vehículos alimentados por combustibles fósiles es limitado, por lo cual se ha propuesto la aplicación de diferentes medidas mecánicas para la optimización del combustible como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Medidas de mitigación para el uso de combustibles fósiles.

Objetivo de reducción	Límites	Indicadores	Acciones
Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, generadas como consecuencia del uso de combustibles fósiles	Se espera reducir en un 13%	KgCO ₂ eq/gal.combustible	Realizar revisiones periódicas del vehículo
			Comprobar el estado de los neumáticos

Vallejo et al. (2017) nos da como ejemplo que un filtro de aire en mal estado puede llegar a reducir en un 10% el rendimiento de un vehículo, por lo cual es importante realizar mantenimientos preventivos y periódicos para mantener la eficiencia y rendimiento del combustible. Por otro lado, el mal estado de los neumáticos provoca pérdidas de presión y un desgaste diferenciado lo que desencadena una resistencia a la rotación generando un mayor consumo de combustible hasta del 3%.

Estas medidas reducirían en total un 13% de las emisiones, el cálculo se muestra en las ecuaciones 88, 89 y 90.

$$0,847 \text{ tCO}_2\text{e} \rightarrow 100\% \text{ (88)}$$

$$x \rightarrow 13\% \text{ (89)}$$

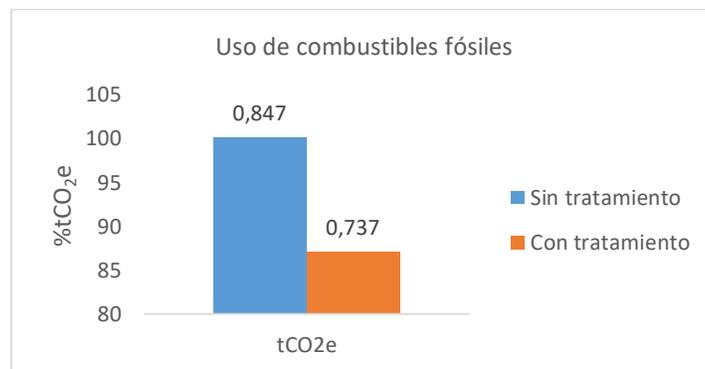
$$x = 0,11 \text{ tCO}_2\text{e} \text{ (90)}$$

Con esta medida de mitigación se esperaría reducir de 0,847 tCO₂e a 0,737 tCO₂e (ecuaciones 91 y 92).

$$\text{Reducción} = 0,847\text{tCO}_2\text{e} - 0,11\text{tCO}_2\text{e} \text{ (91)}$$

$$\text{Reducción} = 0,737 \text{ tCO}_2\text{e} \text{ (92)}$$

Figura 3. Reducción de tCO₂e aplicando las medidas de mitigación para el uso de combustibles fósiles.



5.11.2.1 Análisis técnico y estimación de costos

El mantenimiento preventivo de un vehículo se lo realiza para reducir la probabilidad de fallo de un elemento sistema y para maximizar el rendimiento operativo, este tiene un valor entre 70 a 120 USD, el cual es realizado por personal capacitado.

5.11.3 Medida de mitigación para el uso de GLP y energía eléctrica.

En la tabla 11 se presentan las medidas de mitigación propuestas para la reducción de las emisiones generadas por el uso de GLP.

Tabla 11. Medidas de mitigación para el uso de GLP y energía eléctrica.

Objetivo de reducción	Límites	Indicadores	Acciones
Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, generadas como consecuencia del uso de GLP para secado	Se estima una reducción del 100%	kgCO ₂ eq/kg de GLP	Implementación de energía fotovoltaica
Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, generadas como consecuencia del uso de energía eléctrica		kgCO ₂ eq/kg de energía eléctrica	

Con la finalidad de disminuir el porcentaje de emisiones de GEI por el consumo de GLP, se ha considerado el analizar la implementación de un sistema fotovoltaico para el secado del café. Actualmente se utiliza un sistema de secado solar tipo invernadero el cual tiene buenas ventajas y es uno de los más utilizados por las empresas productoras de café que ya no utilizan el método tradicional del secado directo al sol. Sin embargo, cuando las condiciones climáticas no son las apropiadas, es necesaria la utilización de GLP para lograr llegar a la temperatura óptima para que el café pierda la humedad característica y pueda tener las propiedades adecuadas.

Con el sistema actual de secado (tipo invernadero), se toma alrededor de 21 días de secado para obtener 5 quintales de granos de café.

Para obtener una estimación de la producción de energía térmica, de acuerdo a Global Solar Atlas (2020), en la región de Ecuador se registra 2,58 a 4,67 kWh/kWp con un promedio de radiación diaria de 3,46 kWh/día/kWp (energía en kWh, por día, por potencia pico instalada).

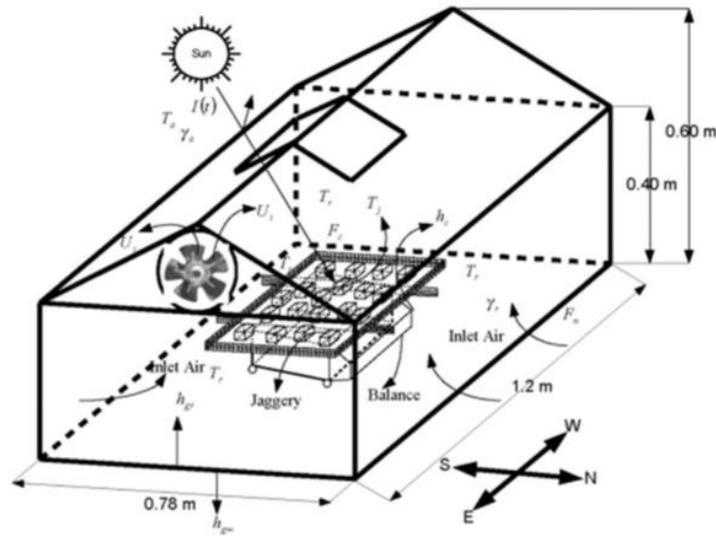
En el mercado existe gran variedad de paneles; los paneles monocristalinos tienen una eficiencia que es del 19% al 20% (esto depende de los fabricantes), su costo es más elevado si se compara con un panel policristalino que tiene una eficiencia entre 7% al 13% (Paneles de energía solar fotovoltaica, 2020).

Prada et al., (2019) recomiendan utilizar dos paneles solares policristalinos de 150 Wp para impulsar un ventilador que proporcione el movimiento de un flujo continuo de aire dentro del invernadero, con esto se estima que se genere 519 Wh/día de energía (en la ecuación 93 se muestra el cálculo y resultado) además de una batería seca 12V, un inversor y un controlador que permita monitorear las condiciones para un secado eficiente de los granos de café.

$$Energía = 150Wp \times \frac{1}{1000} \frac{kWp}{Wp} \times 3,46 \frac{kWh}{kWp} = 519Wh/día \quad (93)$$

En la figura 4, se puede observar un esquema del funcionamiento de la convección forzada mediante la cual el sistema es capaz de secar el café con la ayuda del movimiento del aire impulsada por el ventilador. En la investigación citada se determinó un secado eficiente de los granos de café en un período de 5 días.

Figura 4. Esquema del secador solar por convección forzada.



Fuente: Prashant et al., 2017.

Los sistemas solares fotovoltaicos no producen gases de efecto invernadero durante su funcionamiento y no emiten otros contaminantes. Sin embargo, la evaluación del ciclo de vida de un panel solar fotovoltaico indica que se emiten 39 tCO₂/GWh de electricidad; por lo tanto, es necesario realizar una evaluación de la huella de carbono que se originaría si se implementa la utilización de paneles solares fotovoltaicos (Chandrasekharam y Pathegama, 2020).

En las ecuaciones 94, 95 y 96 se determinó el cálculo de las emisiones por la utilización de paneles fotovoltaicos.

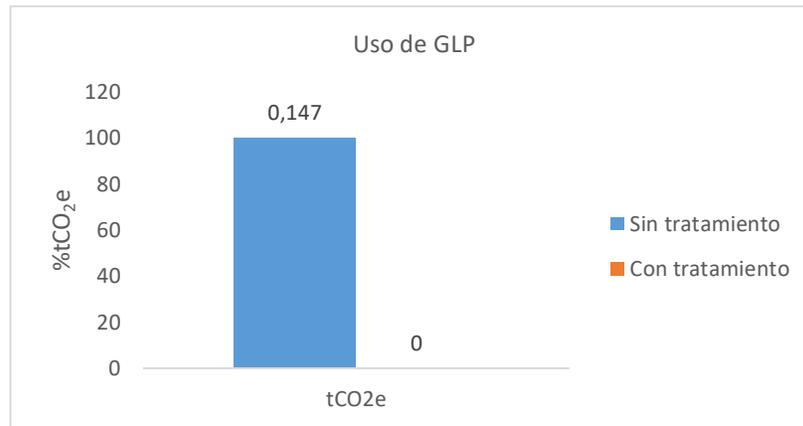
$$\text{Emisión} = \text{Producción de energía} \times \text{factor de emisión} \times \text{PCG} \quad (94)$$

$$\text{Emisión} = 519 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} \times 39 \frac{\text{tCO}_2}{\text{GWh}} \times \frac{1 \text{GWh}}{1 \times 10^9 \text{Wh}} \times 1000 \frac{\text{kgCO}_2}{1 \text{tCO}_2} \times 1 \frac{\text{kgCO}_2 \text{e}}{\text{kgCO}_2} \quad (95)$$

$$\text{Emisión} = 0,00002 \text{ tCO}_2 \text{e} \quad (96)$$

En consecuencia, el CO₂e que se emitiría por la implementación es imperceptible, de esta manera, la energía cubriría la demanda total de GLP reduciendo el 0,147 tCO₂e que se generan por la utilización de GLP.

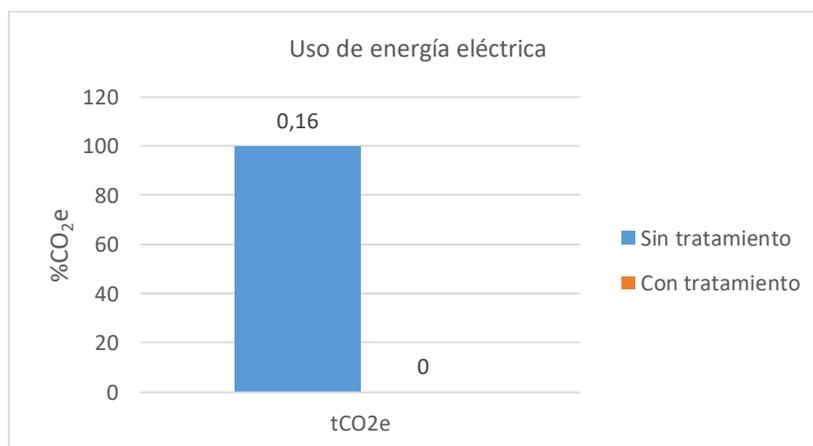
Figura 5. Reducción de tCO₂e aplicando las medidas de mitigación para el uso de GLP.



Por otro lado, tenemos que en promedio se utilizan 60 kWh de energía eléctrica mensualmente en la finca, lo que equivale a 2kWh/día. Por lo tanto, para que la energía producida sea la necesaria para mover tanto el ventilador dentro del invernadero como para generar energía para los procesos de post-cosecha se propone la instalación de 4 paneles de 200 Wp para obtener 2,77 kWh/día y así poder cubrir la demanda total.

De esta manera se reducirán las 0,16 tCO₂e emitidas por la utilización de energía eléctrica en la empresa.

Figura 6. Reducción de tCO₂e aplicando las medidas de mitigación para el uso de energía eléctrica.



5.11.3.1 Análisis técnico y estimación de costos

Para la implementación de sistema solar fotovoltaico se necesitan varios elementos que se muestran en el ANEXO K, los cuales son de fácil acceso en el mercado local, además, las empresas que proveen los artículos cuentan con el personal técnico capacitado para una instalación adecuada.

5.11.4 Medida de mitigación para la generación de residuos orgánicos.

En la tabla 12 se presentan las medidas de mitigación propuestas para la reducción de residuos sólidos generados.

Tabla 12. Medidas de mitigación para la generación de residuos orgánicos.

Objetivo de reducción	Límites	Indicadores	Acciones
Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, por la generación de residuos orgánicos	Se espera reducir 100%	kgCO ₂ eq/kg de residuos orgánicos	Implementación de un biorreactor anaerobio con captura de metano
Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, generadas como consecuencia del uso de compost como fertilizante		kgCO ₂ eq/kg de compost	

La digestión anaerobia viabiliza la degradación de la fracción orgánica biodegradable que se encuentra presente en los residuos sólidos obtiene un residuo final estabilizado que puede ser utilizado como fertilizante, además se produce la transformación en biogás que tiene un alto contenido de metano. El mismo que puede ser aprovechado para uso energético. De acuerdo a esta premisa, la digestión anaerobia da como resultado un balance energético positivo, reduciendo la cantidad de residuos sólidos, así como la recuperación sostenible de energía. Además, en Ecuador el uso del biogás está dirigido al reemplazo del consumo de GLP (Reyes, 2017).

El biogás contiene alrededor de un 60% de concentración de gas metano (CH₄), el metano puede ser utilizado para generar energía térmica, energía eléctrica o ser consumido como combustible reemplazando así el uso de combustibles fósiles. El metano entra en combustión produciendo dióxido de carbono (CO₂), un gas con menor potencial de calentamiento global.

El biodigestor que se recomienda es de tipo batch, el biogás generado será recolectado y posteriormente quemado para producir calor para el secado del café utilizando el sistema que se tiene incorporado para la utilización de GLP.

La utilización de biodigestores en relación con las practicas artesanales de compostaje representa una diferencia en cuanto a la generación de GEI ya el producto final obtenido en el compostaje se ha calculado un factor de emisión de 4 g CH₄/kg mientras que el biofertilizante producto de los biodigestores es de 2 g CH₄/kg (Instituto Meteorológico Nacional 2017).

Por lo tanto, si realizamos la comparación de t CO₂e generados en la producción de residuos orgánicos tenemos (ecuación 97):

$$\text{Biodigestor} = 5000\text{kg compost} \times \frac{0,002\text{kgCH}_4}{\text{kg}} \times 28 \frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{kgCH}_4} = 0,28 \text{ tCO}_2\text{e} \text{ (97)}$$

0,56 tCO₂e compostaje (ecuación 36)

0,28 tCO₂e biodigestor

Podemos observar que se reducen a la mitad las emisiones producidas por el procesamiento de los residuos sólidos para la generación de compostaje con el uso de biodigestores, además debemos considerar las emisiones que se generan por la utilización del biofertilizante que se calcularon anteriormente.

Figura 7. Reducción de tCO₂e aplicando las medidas de mitigación para la generación de residuos orgánicos.



5.11.4.1 Análisis técnico y estimación de costos

Para este análisis se tomó como referencia el estudio realizado por Arce (2011) donde se implementa un biodigestor anaerobio tipo batch para un ingreso de 30 kg de residuos orgánicos, tiempo de digestión de 30 días, generación de 15psi de biogás. Para este proyecto los gastos económicos fueron de 900,00 USD tomando en cuenta el personal técnico, además de tanques de acero y tubos de pvc.

Es importante mencionar que para la construcción y puesta en funcionamiento del biodigestor sería óptima la colaboración de estudiantes como proyecto de investigación, como se mencionó anteriormente estos estudios de implementación de nuevas tecnologías apoyan de forma funcional tanto a la empresa como al desarrollo de investigaciones.

5.11.5 Medida de mitigación para el cambio de uso del suelo.

En la tabla 13 se presentan las medidas de mitigación propuestas para la reducción de las emisiones generadas por el cambio de uso de suelo.

Tabla 13. Medida de mitigación para el cambio de uso de suelo.

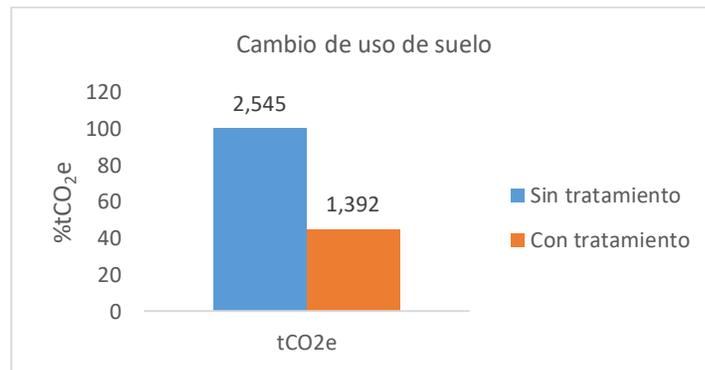
Objetivo de reducción	Límites	Indicadores	Acciones
Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero generadas como consecuencia del cambio de uso de suelo	Se estima una reducción del 55%	kgCO ₂ eq	Implementación de cultivos de cobertura

Tanto la agricultura de conservación como la orgánica se caracterizan por el uso de cultivos de cobertura, debido a sus beneficios para el suministro de nutrientes, el aporte de carbono orgánico y para la reducción de la erosión del suelo y riesgos de lixiviación de nitratos. La inclusión de cultivos de cobertura de cultivos puede mitigar las emisiones de GEI del suelo gracias a un aumento en el secuestro de carbono, una reducción de fertilizantes minerales y una disminución en las pérdidas de N (Bosco et al., 2019).

Los cultivos de cobertura leguminosos y no leguminosos mitigan el calentamiento climático a través de cambios en los procesos biogeoquímicos. La mitigación total estimada de gases de efecto invernadero es de 116 y 135 gCO₂e/m²/año para las no leguminosas y las leguminosas, respectivamente (Kaye y Quemada, 2017).

Con una inclusión de estos cultivos en el 40% del área cultivada se estimaría una disminución de 2,545 tCO₂e a 1,392tCO₂e como se muestra en la figura 6 lo que equivaldría a una reducción del 55% de las emisiones generadas en este proceso, esto tomando el mínimo valor reportado por la literatura que es de 116 gCO₂e/m²/año.

Figura 8. Reducción de tCO₂e aplicando las medidas de mitigación para el cambio de uso de suelo.



5.11.5.1 Análisis técnico y estimación de costos

La implementación de esta medida de mitigación sería factible realizarlo mediante un proyecto de investigación para sentar bases científicas y verídicas sobre su funcionamiento óptimo.

5.11.6 Medida de mitigación para las exportaciones.

Las emisiones de CO₂e generadas por las exportaciones son las más altas, la empresa que brinda este servicio realiza los viajes hacia el exterior utilizando transporte aéreo, el cual es uno de los mayores generadores de GEI a nivel mundial. Es importante señalar que este servicio está fuera de los alcances de la productora de café debido a que la empresa vende a la exportadora cierta cantidad de quintales de café y ellos se encargan de toda la logística para vender el producto fuera de Ecuador; razón por la cual no es posible proponer medidas de mitigación directas.

Para reducir las emisiones generadas como consecuencia de las exportaciones, se propone adquirir créditos de carbono en el mercado voluntario, en donde se denominan Reducción Verificada de las Emisiones; esto generará a la empresa una certificación, reputación y beneficios tanto ambientales como sociales (Seeberg, 2010).

Existen diversas plataformas como por ejemplo United Nations Carbon offset platform, la cual tiene una serie de proyectos que se implementan en países en desarrollo y son recompensados con Reducciones Certificadas de Emisiones (CER), un tipo de compensación de carbono medido en

toneladas de CO₂ equivalente. Los CER están disponibles para que todos los compren para compensar y mitigar las emisiones producidas en diferentes regiones del planeta o en apoyo de los proyectos en los cuales se puede invertir. En la zona de América Latina y el Caribe los proyectos van desde 1 USD hasta 5USD por tonelada de CO₂e y dependiendo de cada proyecto se muestra la cantidad de toneladas de carbono que se pueden mitigar al invertir en estos proyectos que reducen, evitan o eliminan las emisiones de gases de efecto invernadero de la atmósfera (Take climate action by supporting green projects, 2020).

Con esta medida es factible la reducción total de las emisiones producidas por las exportaciones. En el ANEXO L podemos observar algunos proyectos que se han seleccionado para que la empresa pueda invertir, estos proyectos fueron escogidos por el impacto social y ambiental que tienen.

5.11.6.1 Estimación de costos

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, para que la empresa pueda mitigar las 16,78 tCO₂e se propone adquirir bonos de carbono, en la tabla 16, se puede observar el valor económico que se tendría que invertir a partir del ANEXO L.

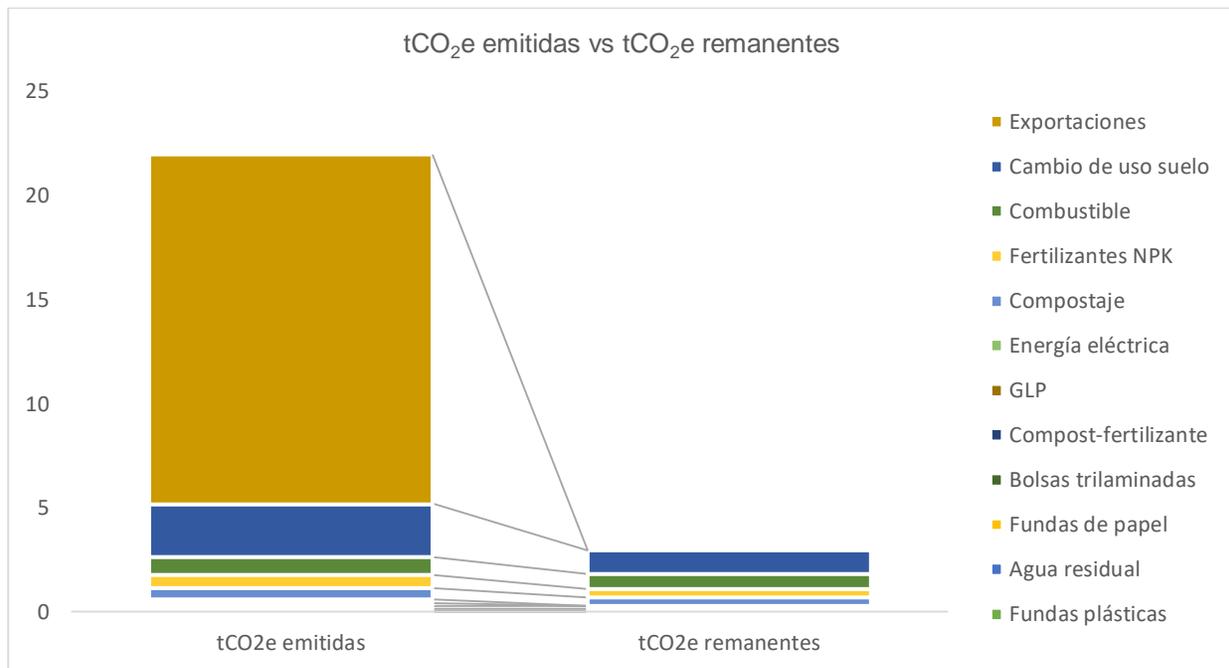
Tabla 14. Costo total de los proyectos de bonos de carbono seleccionados.

Proyecto	Costo	tCO ₂ e a mitigarse	Costo total
Upgradation, Operation and Maintenance of 200 TPD Composting facility at Okhla, Delhi	5USD/tCO ₂ e	17	85USD
Reforestation of degraded land by MTPL in India	1USD/tCO ₂ e	17	17USD
Ratchaburi Farms Biogas Project at SPM Farm	1,50 USD/tCO ₂ e	17	25,5 USD
San Antonio El Sitio Wind Power Project	1,80 USD/tCO ₂ e	17	30,6 USD

5.11.7 Análisis general de las medidas de mitigación

En la figura 9, se puede observar las diferencias que existirían de adoptarse las medidas de mitigación propuestas en el presente estudio llegando a mitigarse hasta el 86.5%.

Figura 9. tCO₂e emitidas vs tCO₂e remanentes.



De acuerdo al Ministerio de Ambiente, “*Carbono Neutral es el estado en el que la emisión neta de gases efecto invernadero es cero, es decir, la cantidad de emisiones de gases contaminantes equivalen a la cantidad de gases efecto invernadero removidos*” (Acuerdo Ministerial Nro. 0141).

La certificación de Carbono Neutral brinda a la empresa beneficios como; mejorar su competitividad e imagen, reduce la generación de desechos, acceso a incentivos tributarios (Carbono Neutral, empresas líderes en cuidado ambiental comparten sus experiencias, s.f.).

Además de ser reconocido a nivel internacional por su compromiso y ética con el medio ambiente, oportunidad de acceder a nuevos mercados, anticiparse a regulaciones ambientales, entre otros (Ordoñez, 2012).

Por lo tanto, para lograr llegar a ser una empresa que pueda acceder a la certificación de Carbono Neutro, se deben mitigar todas las emisiones como se muestra en la figura 10, las medidas

propuestas no cubren el 100% por lo tanto se analiza la adquisición de bonos de carbono adicionales para que se compense en su totalidad las emisiones de CO₂.

Figura 10. Resultado de la obtención de carbono neutro.



De acuerdo a la figura 9, faltarían 2,97 tCO₂e que quedaría por mitigarse dentro del proceso de producción del café, lo que equivaldría a 3 tCO₂e que la empresa tiene que invertir extra al adquirir los bonos de carbono para completar en su totalidad las compensaciones. Sin embargo, se propone la compra de 10 bonos de carbono extra para así también contribuir de manera positiva con estos proyectos que buscan el bienestar de las poblaciones y del medio ambiente.

Además, se debe tener en cuenta que la compra de bonos de carbono para la obtención del certificado se lo debe realizar cada año.

El costo total de inversión para las medidas de mitigación sería de 5,966.36 USD tomando como referencia la compra de bonos de carbono más económica y las 10 tCO₂e extra para llegar a la neutralidad de las emisiones y comprometer a la empresa con las 7 tCO₂e para contribuir de manera voluntaria con el medio ambiente. Este cálculo va a ser evaluado para cinco años.

5.11.8 Análisis de factibilidad económica de las estrategias planteadas

Para determinar la rentabilidad de la inversión de estas medidas de mitigación para la empresa se realizó un análisis de Valor actual neto (VAN) y la Tasa interna de retorno (TIR), se ha tomado en

cuenta la tasa de interés de la banca privada para créditos productivos que es 11,23% (Banco Pichincha, 2021).

La empresa ha tenido una utilidad promedio de 25.000 USD en los últimos años por lo tanto se ha tomado este valor como referencia para establecer el valor del flujo neto de efectivo para cinco años como se mencionó anteriormente, se prevé que si la empresa obtiene el certificado de carbono neutral sus utilidades vayan incrementando en un 2%.

Tabla 15. Utilidad esperada en los cinco años a partir de la inversión.

AÑO	CANTIDAD (USD)
1	19.000
2	19.380
3	19.767,60
4	20.162,95
5	20.566,21

Con la utilización de la herramienta online Calcuvio se obtiene:

VAN: 66.882,27 USD

TIR: 348,51 %

De acuerdo a este análisis se concluye que desde el punto de vista económico es adecuada la inversión de implementar las medidas de mitigación de la huella de carbono en la empresa.

5.11.9 Plan estratégico de reducción de huella de carbono

En la tabla 16 se muestran las medidas de mitigación propuestas a lo largo de este estudio para que la empresa productora de café pueda certificarse como Carbono Neutral y así poder adquirir los

beneficios antes mencionados. Además, se indica el tiempo estimado para el establecimiento de cada medida de mitigación.

Tabla 16. Medidas de mitigación para obtener la Certificación ser Carbono Neutral.

Medida de mitigación	Tiempo estimado de establecimiento
Aplicación de microorganismos que ayuden en la fijación de nitrógeno atmosférico en el suelo.	2 años
Pruebas de nitrógeno del suelo combinado con la optimización del tiempo de fertilización	1 año
Realizar revisiones periódicas del vehículo	Inmediato
Comprobar el estado de los neumáticos	Inmediato
Implementación de un secador solar impulsado por energía fotovoltaica	3 años
Implementación de un biorreactor anaerobio con captura de metano	3 años
Implementación de cultivos de cobertura	5 años
Créditos de carbono	Inmediato

6 DISCUSIÓN

De acuerdo al análisis desarrollado se han propuesto diferentes medidas de mitigación para los procesos que tienen los valores más altos de emisiones de CO₂ en el cultivo y procesamiento del café. Los fertilizantes sintéticos producen emisiones de GEI directos e indirectos, por un lado, tenemos la nitrificación y desnitrificación en el sitio de deposición y por otro, proceso de volatilización/redeposición y lixiviación de N₂O (Tubiello et al., 2015).

Ariza, González y López, (2020) indican que la especie *Azospirillum brasilense* produce una alta fijación de nitrógeno a pH 6,8 y 35 °C en pastos. Por otro lado, en el estudio realizado por da Silva et al., (2020) se observó la inoculación de plántulas de café con bacterias de la especie *Azospirillum*

brasiliense promueve un mayor crecimiento de la raíz pivotante, así como la materia fresca de todo el sistema radicular de las plántulas de café.

Las tecnologías basadas en el uso de microorganismos que promuevan procesos naturales, como la fijación biológica de nitrógeno, permiten usar tanto el nitrógeno atmosférico como también revertir o mitigar la degradación del suelo evitando el uso de productos químicos que degrada el ambiente y elevan las emisiones de GEI.

El aislamiento de microorganismos fijadores de nitrógenos propios de cada plantación es una alternativa que genera grandes ventajas a los productores ya que estos al ser propios de la zona no necesitan un acondicionamiento y se puede aprovechar al máximo su potencial, como es el caso del estudio de Borda et al., (2009) donde se aisló *Azotobacter nigricans* del suelo de cultivo de *Stevia*, para posteriormente producir un biofertilizante en medio de leche, el inóculo se lo reprodujo en un biorreactor, obteniéndose un aumento en la producción del sembrío del 15% con la aplicación del biofertilizante producido.

García, Méndez y Rivas (2015) dan a conocer los beneficios de la aplicación del género *Azotobacter* en la producción de biofertilizantes para la fijación de nitrógeno en plantas de café.

Así mismo, en el ensayo valorado por Rojas y Moreno (2008) se determinó la viabilidad de la formulación de un biofertilizante con el aislamiento de microorganismos en el cual el uso de bacterias fijadoras de nitrógeno aumentó el rendimiento de los cultivos, pasando de 7500 kg de arroz/ha en el testigo a 9000 kg de arroz/ha. Además, los microorganismos en determinadas condiciones tienen la capacidad de sintetizar vitaminas y hormonas que intervienen directamente sobre el desarrollo de las plantas.

Por lo tanto, la utilización de biofertilizantes elaborados a base de bacterias fijadoras de nitrógeno aisladas de los cultivos representa una alternativa viable y con buenos resultados para el reemplazo de los fertilizantes químicos.

La cantidad de CO₂e emitido por la utilización de combustible fósiles se debe al consumo de gasolina para la movilización en automóvil hacia la finca y este recorrido se lo realiza cada quince días. El cambio por un vehículo eléctrico en este caso no representa una alternativa adecuada para la empresa desde el punto de vista económico y se ha propuesto realizar mantenimiento preventivos y periódicos para mejorar el rendimiento del automóvil que se está utilizando actualmente Vallejo et al., (2017).

El uso de energía solar en el sector agrícola va aumentando debido a que facilita obtener una calidad aceptable del producto con un impacto ambiental bajo. Se propuso mejorar la eficiencia de secado del secador solar que se utiliza actualmente (invernadero), éste depende en su totalidad del sol, razón por la cual en los meses de lluvia es necesaria la utilización de GLP para el reemplazo de la energía térmica solar.

El secado del café consiste en bajar el contenido de humedad presente desde 55% aproximadamente hasta un 12 %, ya que, para ser almacenado, el grano de café debe contener alrededor de 12% de humedad. Prada et al., (2019) encontraron resultados positivos al utilizar un sistema de flujo de aire continuo impulsado por energía fotovoltaica obteniendo granos de café con un 12.29% de humedad.

La utilización de sistemas fotovoltaicos puede proveer la cantidad de calor adecuada para un correcto secado de café, como en el estudio realizado por Paes et al., (2020) donde se obtuvieron

21,3°C dentro del invernadero la cual es una temperatura aceptable e ideal para el proceso de secado.

La implementación de tecnologías de digestión anaerobia en el sector agrícola puede permitir obtener importantes beneficios económicos, ambientales y energéticos; dando como resultado un mejor aprovechamiento de nutrientes, reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la captura y uso del biogás (Varnero, 2011).

El metano es un potente gas de efecto invernadero ya que atrapa 85 veces más calor que el dióxido de carbono. A pesar de este alto potencial de efecto invernadero el metano tiene una ventaja natural sobre el carbón ya que cuando se quema produce solo un sexto de CO₂ en comparación con el producido en combustión de carbón (Muller, 2013).

De acuerdo a Varnero (2011) la relación C/N óptima de la materia prima para iniciar la digestión anaeróbica debe ser 30/1, esto se pudo evidenciar en el estudio de Du et al. (2020) con la utilización de cáscaras de café para la digestión anaerobia donde se alcanza la máxima producción de biogás y metano con una relación C/N de 30. Corro et al. (2013) obtuvo resultados similares donde la relación óptima del rango C/N para la digestión anaeróbica está entre 25 y 35.

Se tiene evidencias de que la adopción de cultivos de cobertura puede mitigar las emisiones de GEI debido a las altas tasas de secuestro de C del suelo y la minimización de las pérdidas de N. Su potencial de mitigación es comparable al de otras prácticas, por ejemplo, labranza cero (Kaye y Quemada, 2017).

Como se mencionó anteriormente, la empresa tiene procesos que no están dentro de su alcance (exportaciones). Debido a esta razón, la compensación mediante la adquisición de bonos de carbono voluntario es una acción climática que permite a las personas y organizaciones compensar

las emisiones que no pueden evitarse, apoyando proyectos que han sido desarrollados bajo estrictos controles para otorgar beneficios hacia la comunidad involucrada y sobre todo beneficiosa con el ambiente al crear nuevas tecnologías amigables sin la emisión de GEI (Take climate action by supporting green projects, 2020).

Los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran la importancia de la adopción de medidas de mitigación tanto para la empresa como para el ambiente, el beneficio económico para la empresa se evidencia en los valores obtenidos mediante VAN y TIR una vez que se haya obtenido la certificación de Carbono Neutral. Por otro lado, el beneficio para el ambiente viene dado por la emisión neta de CO₂ equivalente a cero que se logra obtener al adoptar las estrategias sugeridas en este trabajo

Además, las medidas de mitigación propuestas pueden ser adoptadas por empresas productoras de café dentro y fuera del Ecuador.

7 CONCLUSIONES

- De acuerdo al análisis de Huella de Carbono se obtuvieron los valores para fundas plásticas, fundas de papel y bolsas trilaminadas generan 0,002, 0,05 y 0,094 tCO₂e respectivamente; así como también compost-fertilizante 0,134 tCO₂e, GLP 0,147 tCO₂e, energía eléctrica 0,16 tCO₂e, fertilizantes 0,65 tCO₂e, compostaje 0,56 tCO₂e, combustible 0,847 tCO₂e, cambio de uso de suelo 2,545 tCO₂e y las exportaciones 16,78 tCO₂e.
- Se determinó la Huella de Carbono del proceso productivo de café de especialidad en Ecuador a través del Inventario de Emisiones de GEI evidenciándose las actividades o procesos con valores más altos y para los cuales se propusieron medidas de mitigación:

compost-fertilizante, GLP, fertilizantes, compostaje, combustible, cambio de uso de suelo y exportaciones.

- La compra de bonos de carbono demostró ser la medida de mitigación con más aporte para la reducción de las emisiones de CO₂e en el cultivo y procesamiento del café.
- Se ha propuesto un plan con medidas de mitigación que reducen en su totalidad las emisiones de CO₂e que la empresa productora de café está emitiendo, permitiéndole así poder adquirir una certificación de Carbono Neutral y generando de esta forma varias ventajas a la misma.
- La investigación realizada es un aporte importante para la empresa productora de café debido a que al momento de realizar la certificación de Carbono Neutral van a estar implementadas las medidas de mitigación y la certificación será obtenida en un tiempo menor.

8 RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los pequeños y medianos productores de café la implementación de medidas de mitigación para la reducción de las emisiones de CO₂e para acceder a una certificación de Carbono Neutral para así aumentar su utilidad y aprovechar al máximo los recursos que poseen.
- Se recomienda proponer proyectos para la reducción de las emisiones de GEI, para desarrollar en pequeños y medianos productores tecnología amigable con el medio ambiente.

- Realizar charlas informativas a los pequeños y medianos productores de café sobre las ventajas que genera la obtención de un certificado de Carbono Neutral.
- Las tecnologías propuestas en este trabajo deben ser validadas en laboratorio y en campo, por lo que este proceso de validación podría formar parte de futuros trabajos de investigación.

9 BIBLIOGRAFÍA

Albornoz, A. (2017). Huella de Carbono del café (*Coffea arabica*) en Empresa Asociativa Campesina Aruco en Copán, Honduras para el año 2016-2017 (tesis de pregrado), Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras.

Arce, J. (2011). Diseño de un biodigestor para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos de animales aplicable en las zonas agrarias del litoral. Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil.

Arias, J., Riaño, N., Riaño, A., Ariza, W., Posada, H., Valenzuela, J., Vega, M., Murgueitio, Y. y Castro, J. (2018). Determinación de la Huella de Carbono en el sistema de producción de café pergamino seco de cuatro Municipios del Sur del Departamento de Huila (Colombia). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. Vol. 9, Núm. 2 (2018).

Ariza, S., González, O. y López, J. (2020). Evaluación de fijadores biológicos de nitrógeno libres sobre el crecimiento de gramíneas en suelo degradado. *Rev. Colomb. Biotecnol.* 22(1), 87-97.

Banco Pichincha. Tarifario de cargos asociados a crédito. Recuperado el 13 de enero de 2021, de: <https://www.pichincha.com/portal/Portals/0/Transparencia/tarifario-unificado-informativo-agencia-01-01-2021.pdf?ver=2021-01-04-093655-763>

Bayus, J. (2015). Environmental Life Cycle Comparison of Aluminum-based High Barrier Flexible Packaging Laminates. (tesis de posgrado). Rochester Institute of Technology. Rochester, New York.

Bolsas Trilaminadas para café. (s.f.). Recuperado de <https://www.bolsasparacafe.com/bolsas-trilaminadas-para-cafe/>

Borda, D., García, J., Martínez, M. y Montaña, J. (2009). Producción de un biofertilizante a partir de un aislamiento de *Azotobacter nigricans* obtenido en un cultivo de *Stevia rebaudiana* Bert. Universitas Scientiarum, (14) 10. Doi: 10.111144/Javeriana.SC14-1.pdub

Bosco, S., Volpi, I., Antichi, D., Ragolini, G. y Frascioni, C. (2019). Greenhouse Gas Emissions from Soil Cultivated with Vegetables in Crop Rotation under Integrated, Organic and Organic Conservation Management in a Mediterranean Environment. Agronomy 9(8). <https://doi.org/10.3390/agronomy9080446>

Café de Ecuador. (2020). Recuperado de <https://www.revistaforumcafe.com/el-cafe-en-ecuador>.

Calculadora de VAN y TIR. (9 de enero de 2021). Calcuvio. Recuperado de: <https://www.calcuvio.com/van-tir>

Cámara de Comercio de Bogotá. (2015). Factores de Emisión considerados en la Herramienta de cálculo de la Huella de Carbono Corporativa. Recuperado de https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/informe_gei/6_anexo_3Factores_Emision_Herramienta_Inventario_GEI_EAB_2014.pdf

Caravela Coffe. (2020). Impact Report 2019. Recuperado de <https://caravela.coffee/our-impact/>

Castillo, M., Ordoñez, M. y Engler, F. (2016). Manual básico de buenas prácticas para el tostado del café. Recuperado de https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Ecuador/Documents/Content/ManualTuesteCafe.pdf

Chandrasekhar, D. y Ranjith, G. (2020). CO₂ emissions from renewables: solar pv, hydrothermal and EGS sources. *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources*. (6) 13, <https://doi.org/10.1007/s40948-019-00135-y>

Comisión Técnica de determinación de Factores de Emisión de Gases de efecto invernadero. (2020). FACTOR DE EMISIÓN DE CO₂ DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE ECUADOR. Recuperado de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/11/factor_de_emision_de_co2_del_sistema_nacional_interconectado_de_ecuador_-_informe_2019.pdf

Córdova, M., Carrasco, M., Padilla, P. y Garcés, E. (2018). Estudio de la Huella de Carbono en Unidades Desconcentradas de Terminales Terrestres. *Revista Politécnica* - Abril 2018, 41(1)

Corro, G., Paniagua, L., Pal, U., Bañuelos, F. y Rosas, M. (2013). Generation of biogas from coffee-pulp and cow-dung co-digestion: Infrared studies of postcombustion emissions. *Energy Conversion and Management*. 74(2013). 471-481. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.07.017>

Da Silva, L., Reis, C. y Franco, K. (2020). Evaluation of the effect of *Azospirillum brasilense* inoculation on arabic coffee seedlings. *Coffee Science*. 15(2020). <https://doi.org/10.25186/cs.v15i.1678>

De Toro, A., Gomera, A., Aguilar, J., Guijarro, C., Antúnez, M. y Vaquero, M. (2014). La huella de Carbono de la Universidad de Córdoba. Servicio de Protección Ambiental (SEPA-UCO).

Du, N., Li, M., Zhang, Q., Dananto, M., Xu, R. y Huang, W. (2020). Study on the biogas potential of anaerobic digestion of coffee husks wastes in Ethiopia. *Waste Management & Research* 1–11. <https://doi.org/10.1177/0734242X20939619>

Ecuador. Acuerdo Ministerial del Ambiente Nro. 0141/2014, de 20 de mayo. Normativa y regulación vigente para alcanzar el carbono neutral.

Emission factor data Paper bag, upper limit. (s.f.). Recuperado de <https://www.openco2.net/en/emission-factors/product/paper-bag-upper-limit/1414>

Enríquez, O. (2012). Aplicación de la metodología de cálculo de la huella de carbono a la Empresa Eléctrica Quito 2012. (tesis de pregrado). Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador.

Ernesto, V. (2010). Huella de Carbono, ambiente y agricultura en el Cono Sur de Sudamérica. Montevideo: Procisur.

Frohmann, A. y Olmos, X. (2013). Huella de carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al cambio climático. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Santiago de Chile, Chile.

García, P., Méndez, E. y Rivas, R. (2015). Role of bacterial biofertilizers in agriculture and forestry. *Bioengineering* (2) 3 183-205. Doi: 10.3934/bioeng.2015.3.183

Greenhouse Gas Protocol. (2016). Global Warming Potential Values. Recuperado de <http://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values>

Geoempaques. (s.f). Especificaciones Técnicas Bolsas Polietileno. Recuperado de <http://geoempaques.com/pdf/Hoja%20Tecnica%20Bolsas.pdf>

Global Solar Atlas. (21 de diciembre de 2020). PV SYSTEM DATA. Obtenido de Global Solar Atlas: <https://globalsolaratlas.info/detail?c=-0.016701,-78.555817,10&r=ECU>

Haberland, C. y Riquelme, J. (2015). Estudio de la pre factibilidad técnico-económica de instalar una planta roductora de microorganismos para su uso en agricultura en Chile. (tesis de pregrado) Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2013). Gas Licuado de Petróleo. Determinación de la densidad relativa. Primera edición. Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 684:2013.

Instituto Meteorológico Nacional [IMN]. (2017). Factores de emisión gases efecto invernadero. Costa Rica. Recuperado de <https://www.recope.go.cr/wp-content/uploads/2018/11/Factores-de-emsi%C3%B3n-gases-de-efecto-invernadero.pdf>

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2015). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Japan: Institute for Global Environmental Strategies [IGES]. Recuperado de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef.php?reset=

Kaye, J. y Quemada, M. (2017). Using cover crops to mitigate and adapt to climate change. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 37(4). <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0410-x>

Killian, B., Rivera, L., Soto, M. y Navichoc, D. (2013). Carbon Footprint across the Coffe Supply Chain: The Case of Costa Rican Coffee. *Journal of Agricultural Science and Technology B* 3 (2013) 151-170.

James, K. (2010). Methodology for assessing the climate change impacts of packaging optimisation under the Courtauld Commitment Phase 2. Recuperado de http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Carbon_Methodology_-_Nov_2010_V101.f1571b4f.10324.pdf

Carbono Neutral, empresas líderes en cuidado ambiental comparten sus experiencias. (s.f.). Ministerio del Ambiente y Agua.

Ministry for the Environment. 2019. Measuring Emissions: A Guide for Organisations. 2019 Summary of Emission Factors. Wellington: Ministry for the Environment.

Montejano, E. (2018). Comparación de distintos escenarios de tratamiento de residuos urbanos en la ciudad de Madrid mediante la metodología de la Huella de Carbono. (tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

Muller, R. (8 de enero de 2013). Fugitive Methane and Greenhouse Warming. Recuperado el 8 de enero de 2021, de Berkeley Earth: <https://static.berkeleyearth.org/memos/fugitive-methane-and-greenhouse-warming.pdf>

Norma Internacional ISO. (2018). Gases de efecto invernadero - Parte 1: Especificaciones con orientaciones, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remisiones de gases de efecto invernadero.

Ordoñez, Y. (2012). Carbono Neutral, empresas líderes en cuidado ambiental comparten sus experiencias. (Tesis de posgrado) Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil.

Paes, J., Vargas, B., Cunha, J., Silva, S, D., Ferraz, G., Braz, M., Ferraz, P., Conti, L. y Rossi, G. (2020). Thermal performance of a solar hybrid dryer for Conilon coffee (*Coffea canephora*). *Agronomy Research* 18(3), 2166-2184. <https://doi.org/10.15159/AR.20.164>

Pandey, D., Agrawal, M. y Pandey, J. (2010). Carbon footprint: current methods of estimation. *Environmental Monitoring and Assessment*. doi: 10.1007/s10661-010-1678-y.

Paneles de energía solar fotovoltaica. (2020). Recuperado el 21 de diciembre de 2020, de Energía Solar: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/tipos-de-paneles-fotovoltaicos>

Paredes, C., Rivadeneira, F. y García, S. (2018). Digestión anaerobia de las aguas residuales de la industria del café instantáneo. *ESPAMCIENCIA* 9(1): 23-32.

Ponce, L., Orellana, K., Acuña, I., Alemán, J. y Figueroa, T. (2018). Situación de la caficultura ecuatoriana: perspectivas. *Estudios del Desarrollo Social* vol.6 no.1 La Habana jan.-abr. 2018.

Prashant, C., Anil, K. y Bhupendra, G. (2017). A review on thermal models for greenhouse dryers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 548–558. doi:10.1016/j.rser.2016.11.023

Proysolin S.A.S. (s.f.). Recuperado de <http://www.catalogodeempaques.com/ficha-producto/Bolsas-para-empaque-de-cafe+101373>

Quiliguango, R. (2013). Influencia de cuatro métodos de beneficio sobre la calidad física y organoléptica del café arábigo (*Coffea arabica l.*) en dos pisos altitudinales del noroccidente de Pichincha. (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

Reis, V., Teixeira, K. y Pedraza, R. (2011). What Is Expected from the Genus *Azospirillum* as a Plant Growth-Promoting Bacteria? *Bacteria in Agrobiolgy: Plant Growth Responses*, 123–138. doi:10.1007/978-3-642-20332-9_6

Reyes, E. (2017). Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. e FAREM-Estelí. Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano. Año 6. N° 24.

Rojas J, y Moreno, N. (2008). Producción y formulación de prototipos de un biofertilizante a partir de bacterias nativas asociadas al cultivo de arroz (*Oryza sativa*). Revista Colombiana de Biotecnología. (10)2, 50-62. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77610207>

Salazar, S. (2013). Adopción de un modelo productivo bajo en emisiones de carbono, el caso del café carbono neutral de Coopedota R.L. (tesis de pregrado). Universidad de Costa Rica. San Jose, Costa Rica.

Santacruz, A. (2017). Análisis y Perspectivas de las empresas ecuatorianas exportadoras de productos industrializados de café, periodo 2009-2015. (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.

Santana, D., Colina, E., Castro, C., Cadena, D. y Sotomayor, A. (2017). Microorganismos fijadores de nitrógeno y su acción complementaria a la fertilización química en el cultivo de *Coffea arabica* L. European Scientific Journal January 2017 edition vol.13, No.3 ISSN: 1857 – 7881.

Seeberg, C. (2010). Recuperado el 21 de diciembre de 2020, de Las posibilidades de financiación del carbono para la agricultura, la actividad forestal y otros proyectos de uso de la tierra en el contexto del pequeño agricultor: Environmental and Natural Resources Management. <http://www.fao.org/3/i1632s/i1632s02.pdf>

Take climate action by supporting green projects. (2020). Recuperado el 21 de diciembre de 2020, de United Nations Carbon offset platform. <https://offset.climateneutralnow.org/>

Thogersen, J. y Nielsen, K. (2016). A better carbon footprint label. *Journal of Cleaner Production* 125 86-94. doi:10.1016/j.jclepro.2016.03.098

Tubiello, F., Córdor, R., Salvatore, M., Piersante, A., Federici, S., Ferrara, A., Rossi, S., Flammini, A., Cardenas, P., Biancalani, R., Jacobs, H., Prasula, P. y Prospero, P. 2015. Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura Un manual para abordar los requisitos de los datos para los países en desarrollo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia.

UK Government. 2020. Greenhouse gas reporting: conversion factor 2020. Recuperado de <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2020>

Vallejo, A., Vallejo, M., Nájera, J. y Garnier, L. (2017). Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

Varnero, M. (2011). Manual de Biogás. MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF. Santiago de Chile, Chile.

Viglizzo, E. (2010). Huella de carbono, ambiente y agricultura en el Cono Sur de Sudamérica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Montevideo, Uruguay.

YaraMila. (2019). Fertilizante NPK CTU ABOTEK. Recuperado de <https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/productos/>

10 ANEXOS

ANEXO A. Metodologías más comunes para la determinación de la Huella de Carbono.

1 GHG protocol of World Resource Institute (WRI)/World Business Council on Sustainable Development (WBCSD), aquí se presentan dos tipos de estándares de acuerdo a:

- Estándar de contabilidad e informes del ciclo de vida del producto.
- Estándar de contabilidad e informes corporativos: pautas para la cadena de valor (nivel III) contabilidad e informes.

Proporciona herramientas generales y específicas de cálculo del sector y se ocupa de la cuantificación de las reducciones de GEI resultantes de la adopción de métodos de mitigación. Forma la base para la mayoría de las pautas de contabilidad de GEI, incluida la ISO 14064 (partes 1 y 2).

2 ISO 14064 (partes 1 y 2): es un estándar internacional para la determinación de límites y cuantificación de fuentes y sumideros de GEI. También proporciona estándares para el diseño de proyectos de mitigación de GEI.

3 Publicly Available Specifications-2050 (PAS 2050) of British Standard Institution (BSI): especifica los requisitos para evaluar el ciclo de vida de las emisiones de GEI de bienes y servicios.

4 2006 IPCC directrices para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero: todas las fuentes antropogénicas de emisiones de GEI se clasifican en cuatro sectores: energía, procesos industriales y uso de productos, agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, y desechos. Todos los países que conforman la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio

Climático están comprometidos a preparar, actualizar y comunicar sus inventarios nacionales de fuentes/sumideros de. Por lo tanto, los inventarios de fuentes/sumideros de estos países son comparables.

- 5 ISO 14025: es un estándar para llevar a cabo la evaluación del ciclo de vida de un producto/servicio (Pandey, Agrawal & Pandey, 2010).

ANEXO B. Emisiones directas de la organización.

Fuentes de emisión de GEI	Definición operacional	GEI generado
Emisiones fugitivas directas provenientes del proceso productivo del café		
Aplicación de fertilizantes	Fertilizantes sintéticos	CO ₂ CH ₄ N ₂ O
Aplicación de residuos orgánicos	Fertilizantes orgánicos, adición de restos vegetales al suelo	CO ₂ CH ₄ N ₂ O
Emisiones directas provenientes del uso del suelo, cambios en el uso del suelo		
Cambio en el uso directo del suelo	Conversión de bosque en tierras de cultivo	CO ₂
Emisiones fugitivas directas provenientes de la postcosecha		
Residuos orgánicos	Boyado	CO ₂
Residuos orgánicos	Despulpado	
Emisiones directas provenientes de la combustión móvil		
Consumo de combustibles fósiles	Vehículo para transporte de productos elaborados (automóvil)	CO ₂ CH ₄ N ₂ O

ANEXO C. Emisiones indirectas provenientes de la utilización de energía eléctrica de la organización.

Fuentes de emisión de GEI	Definición operacional	GEI generado
Emisiones indirectas provenientes de energía importada		
Energía eléctrica importada	Tostado	CO ₂
	Molienda	
	Sistema eléctrico planta procesadora	

ANEXO D. Otras emisiones indirectas de la organización.

Fuentes de emisión de GEI	Definición operacional	GEI generado
Emisiones indirectas provenientes consumo de gas LP		
Gas LP	Secado del café	CO ₂ CH ₄ N ₂ O
Emisiones indirectas provenientes de los suministros utilizados en la producción de café		
Envases plásticos	Almacenamiento de agua	CO ₂
Emisiones indirectas provenientes de los residuos sólidos generados en la venta de café		
Fundas plásticas	Consumo de producto de café	CO ₂
Envases plásticos	Almacenamiento de agua	
Fundas de papel	Consumo de producto de café	
Bolsas trilaminadas	Envoltura de las cajas de cartón	
Emisiones indirectas provenientes de la exportación de café		
Transportación y distribución/carga	Exportación	CO ₂

ANEXO E. Proceso productivo del café.

El proceso de siembra del café, debe reunir ciertas condiciones para la obtención de un producto de calidad:

- Germinado: consiste en la preparación de la semilla en un sustrato de adecuado para la germinación de la misma. Este proceso dura aproximadamente seis meses
- Almacigo: esta etapa de aproximadamente dos meses, ayuda en el desarrollo adecuado y la selección de las plántulas. Es posible el uso de nematicidas en esta etapa.
- Preparación del terreno: aquí se adecua el terreno y se determina el sistema de siembra y trazado de los terrenos. Se pueden utilizar fertilizantes químicos y abonos orgánicos.

Existen dos tipos de sistemas de producción:

- Sol: en suelos de cenizas volcánicas, en surcos o hileras a través de la pendiente en relieve ondulado.
- Sombra: compuesto por especies productivas y protectoras (frutales, maderables). estos ayudan a conservar el suelo y aumentar la materia orgánica con la hojarasca, además evitan los procesos erosivos.
- Fertilización: nutrimento del suelo con materia orgánica o fertilizantes químicos tratando de conservar el suelo y la capa orgánica.
- Control de plagas: la plaga más importante en los cultivos de café es la broca, su control se maneja de manera biológica o química.
 - Biológico: con la ayuda del hongo *Beauveria bassiana* y avispas como *Prorops nasuta*, *Cephalonomia stephanoderis* y *Phymatichus coffea*.

- Químico: se realiza por focos o puntos calientes con el análisis de porcentaje de infestación y posición. Los insecticidas deben pertenecer a las categorías toxicológicas III o IV de bajo riesgo en la salud humana y ambiente.
- Manejo de enfermedades: la roya del cafeto es la principal enfermedad del cultivo, en esta etapa se utilizan fungicidas (Santacruz, 2017).
- Recolección: este proceso se realiza de forma manual una vez que los frutos están maduros.

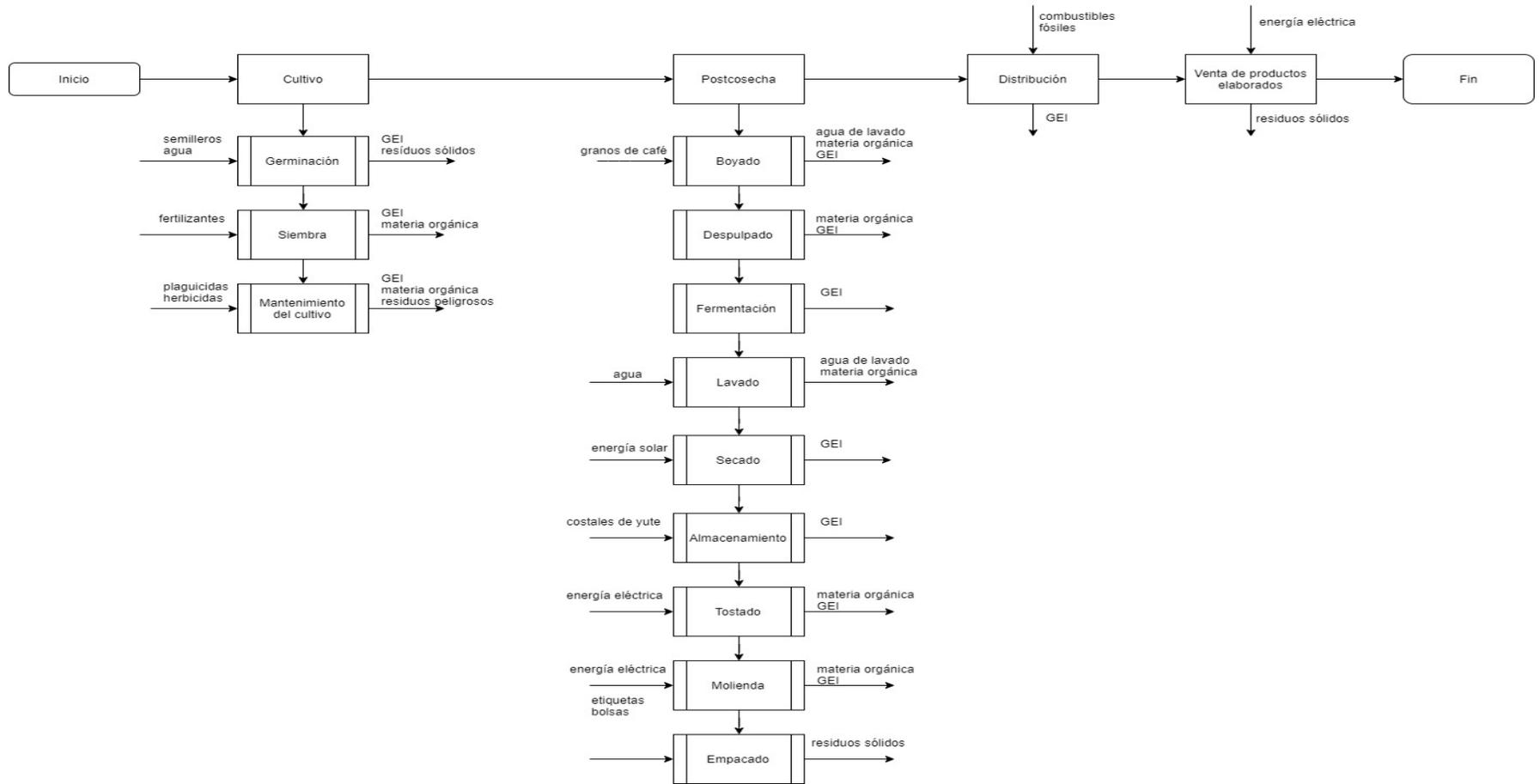
La postcosecha es el procedimiento de preparación del grano a partir de los frutos maduros, mediante la eliminación de todas las envolturas, usando diversos métodos.

- Boyado: consiste en sumergir las cerezas de café en recipientes con agua para eliminar hojas, pedazos de palos, o cualquier otro material. Además, los frutos inmaduros flotan y se los pueden separar.
- Despulpado: en este proceso se elimina la cáscara y parte de la pulpa con la ayuda una máquina conocida como despulpadora.
- Fermentación: con la ayuda de los microorganismos naturales del café se produce la fermentación del mucílago que cubre el grano. Este proceso dura entre 12 a 20 horas dependiendo de la temperatura ambiental, madurez del café y diseño de los tanques fermentadores.
- Lavado: para desprender completamente el mucílago y las sustancias solubles que se producen en la fermentación, los granos son restregados en el tanque con agua hasta que queden completamente limpios.

- Secado: para disminuir la humedad del grano de café se realiza el secado al sol en tendales, entablillados de madera, zarandas o marquesinas, este proceso toma alrededor de 40 a 50 horas y se debe remover constantemente.
- Almacenamiento: se lo realiza en sacos de yute nuevos y limpios en bodegas con las condiciones apropiadas como ambiente seco, ventilado y libre de contaminación (Quiliguango, 2013).
- Tostado: una vez escogidos los granos de café adecuados, se realiza el tostado en máquinas eléctricas o a gas; es necesario que el quipo cuente con una adecuada evacuación de humos y residuos originados del proceso de tueste.
- Molienda: en este proceso se introducen en un molino los granos tostados para obtener la consistencia deseada (Castillo, Ordoñez & Engler, 2016).
- Empaquetado: de acuerdo a cada empresa el café es empacado en bolsas de papel, plástico o aluminio dependiendo de la presentación.

Transporte: finalmente el producto es distribuido a los centros de venta.

ANEXO F. Diagrama del proceso productivo de café.



ANEXO G. Potenciales de calentamiento global.

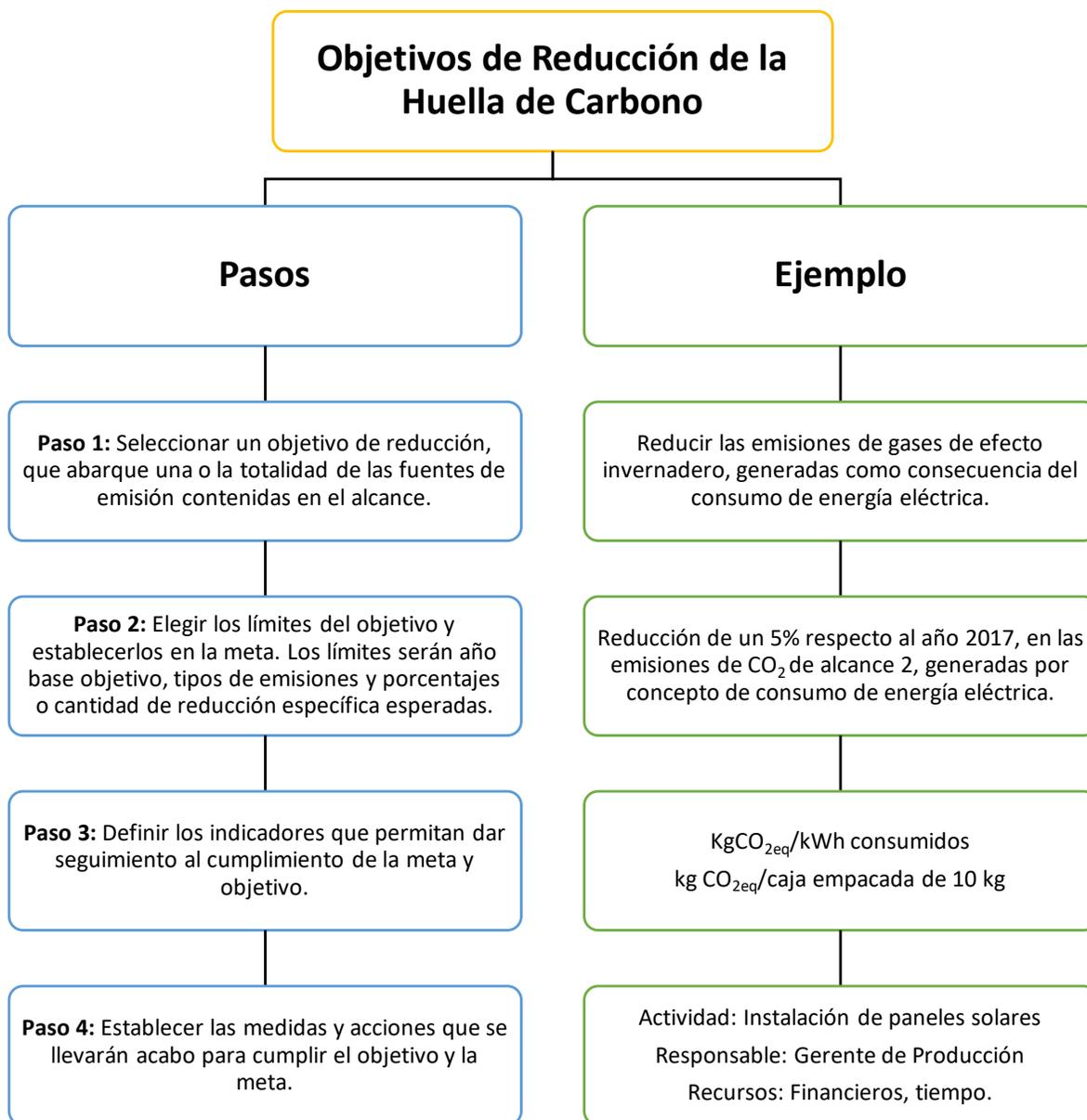
Nombre común	Fórmula Química	PCG (kgCO₂e/kggas)
Dióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	28
Óxido Nitroso	N ₂ O	265

Fuente: Greenhouse Gas Protocol, 2016.

ANEXO H. Registro de datos por en la etapa de producción del café.

Categoría	Variable	Cultivo y Postcosecha	
		Valor	Unidad
Uso del suelo	Anterior uso del suelo	Bosque Primario	-
	Cambio de uso del suelo	2007	Año
	Área cultivada	3	Hectáreas
	Fertilizante N	900	Kg/año
Agua utilizada	Consumo de agua	1000	l/año
Combustible	Gasolina	360	l/año
	GLP	45	kg/año
Energía eléctrica	Consumo eléctrico de la despulpadora	720	kWh/año
	Consumo eléctrico del tostador		kWh/año
	Consumo eléctrico del molino		kWh/año
	Consumo eléctrico de la planta procesadora		kWh/año
Residuos orgánicos	Residuos orgánicos generados	5	t/año
	Aguas mieles	1000	l/año
Compost	Compost producido	5	t/año
	Reincorporación	100	%
Producto	Granos de café	5000	Kg/año
Producto	Café molido	800	Unidades de 350 g/año
Residuos sólidos	Fundas plásticas	3000 (8x8x12cm)	Unidades/año
	Fundas papel	1000 (20x8x40)	Unidades/año
	Bolsas trilaminadas	800	Unidades de 350 g/año
Transportación y distribución/carga	Exportaciones	3000	Kg/año

ANEXO I. Estrategia de minimización de la Huella de Carbono.



Fuente: Vallejo et al., 2017.

ANEXO J. Resumen de las emisiones y remociones en la producción de café.

EMISIONES	VALOR (tCO₂e)
EMISIONES DIRECTAS	
Emisiones directas por el cambio de uso de suelo	2,545
Emisiones directas por el uso de fertilizantes	0,65
Emisiones directas por el uso de combustibles fósiles	
Combustible	0,847
GLP	0,147
Emisiones directas por compostaje	0,56
Emisión de compost-fertilizante	0,134
Emisiones directas por aguas residuales del proceso	0,0059
EMISIONES INDIRECTAS	
Emisiones indirectas por energía eléctrica	0,036
OTRAS EMISIONES INDIRECTAS	
Emisiones indirectas por residuos sólidos	
Fundas plásticas	0,002
Fundas de papel	0,05
Bolsas trilaminadas	0,094
Exportaciones	16,78
REMOCIONES	
Árboles plantados	-0,1

ANEXO K. Costos del sistema solar fotovoltaico.

Ítem	Detalle	Cantidad	Costo/unitario	Costo/total
1	Paneles solares 200W-12v	2	200,00	800,00
2	Controlador de carga	1	31,36	31,36
3	Batería	1	150,00	150,00
4	Inversor	1	250,00	250,00
5	Ventilador	1	100,00	100,00
6	Mano de obra	1	600,00	600,00
				Total
				1931,36 USD

ANEXO L. Proyectos de créditos de carbono recomendados.

Proyecto	Costo	Resumen	Ubicación
Upgradation, Operation and Maintenance of 200 TPD Composting facility at Okhla, Delhi	5USD/tCO _{2e}	Procesan más de 200 toneladas de residuos de vertederos todos los días. El compost producido en la planta es utilizado por los agricultores locales para rejuvenecer el suelo, que se ha visto afectado por el uso excesivo de fertilizantes químicos.	India
Reforestation of degraded land by MTPL in India	1USD/tCO _{2e}	Muchas parcelas de tierra degradada que son propiedad de pequeños agricultores o tribus pobres que no tienen la capacidad de plantar sin ningún apoyo financiero externo y orientación técnica se reforestan	India
Ratchaburi Farms Biogas Project at SPM Farm	1,50 USD/tCO _{2e}	Este proyecto de biogás en SPM Farm consiste en un reactor de tratamiento anaeróbico cerrado de flujo continuo de alta velocidad para tratar los efluentes de lavado del establo producidos por las operaciones de cría de cerdos de SPM.	Tailandia
San Antonio El Sitio Wind Power Project	1,80 USD/tCO _{2e}	El proyecto no solo aumenta el suministro de energía en la región reduciendo los costos de electricidad, sino que también ayuda a la conservación de los recursos y al desarrollo de la comunidad local.	Guatemala

		Con la implementación del proyecto, las comunidades locales se han beneficiado con empleo, salud, educación, infraestructura mejorada y desarrollo socioeconómico en el área.	
--	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Fuente: (Take climate action by supporting green projects, 2020).