



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Energía y Ambiente

**ESTIMACIÓN DE LA HUELLA ECOLÓGICA, HUELLA DE CARBONO Y
DISEÑO DEL PLAN DE GESTIÓN PARA LA ORGANIZACIÓN CÁRITAS
DIÓCESIS DE ZACAPA, GUATEMALA**

Ing. Jorge Andrés Gálvez Aguilar

Asesorado por: M.Sc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque

Guatemala, noviembre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTIMACIÓN DE LA HUELLA ECOLÓGICA, HUELLA DE CARBONO Y
DISEÑO DEL PLAN DE GESTIÓN PARA LA ORGANIZACIÓN CÁRITAS
DIÓCESIS DE ZACAPA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA Y LA ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
POR

ING. JORGE ANDRÉS GÁLVEZ AGUILAR

ASESORADO POR EL M.Sc. ING. JUAN CARLOS FUENTES MONTEPEQUE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ENERGÍA Y AMBIENTE

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Cordova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE TRABAJO DE
GRADUACIÓN**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR I	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
EXAMINADOR II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
EXAMINADOR III	Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

ACTO QUE DEDICO A:

- DIOS** Por darme la oportunidad de estudiar y darme la constancia para terminar mis estudios.
- Mi madre** Carmen Aguilar, por su amor incondicional y siempre estar a mi lado.
- Mi padre** Por el impulso a estudiar y lograr metas.
- Mis hermanos** Iván y María, por estar siempre a mi lado y apoyarme.
- Mis familiares** Mis abuelos, tías, tíos y primas, por compartir las alegrías y logros de la familia.

AGRADECIMIENTOS A:

Cáritas Zacapa

A todo el personal, en especial al Ing. Christian Domínguez, por darme la confianza y oportunidad de realizar este estudio en la organización.

Mi asesor

Ing. Juan Carlos Fuentes, por guiarme en este proceso, con sus conocimientos, y apoyarme desde el inicio.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	IX
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS	XI
OBJETIVOS.....	XIII
RESUMEN MARCO METODOLÓGICO	XV
INTRODUCCIÓN	XIX
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Clima	1
1.2. Cambio climático.....	1
1.2.1. Variabilidad del clima.....	2
1.3. Gases de Efecto Invernadero (GEI)	2
1.3.1. Dióxido de carbono (CO ₂):	3
1.3.2. Metano (CH ₄)	4
1.3.3. Emisiones.....	4
1.4. Mitigación	4
1.5. Capacidad biológica o biocapacidad.....	5
1.5.1. Hectárea global (gha).....	5
1.6. Huella ecológica.....	5
1.7. Huella de carbono	6
2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	7

2.1. Antecedentes de la organización	7
2.2. Proyectos y programas de desarrollo	7
2.3. Identificación de fuentes de emisión de GEI.....	9
2.4. Cuantificación de emisiones	10
2.4.1. Emisiones directas (alcance 1)	11
2.4.2. Emisiones indirectas (alcance 2)	13
2.4.3. Emisiones Indirectas (alcance 3)	14
2.5. Estimación total de huella de carbono	16
2.6. Estimación total de huella ecológica	20
2.7. Identificación de actividades de compensación	24
2.8. Cuantificación de secuestro de GEI.....	25
2.8.1. Reforestación con árboles forestales.....	25
2.8.2. Implementación de estufas mejoradas.....	26
3. PRESENTACIÓN DE PLAN DE GESTIÓN	29
3.1. Análisis de opciones y actividades para plan de gestión	29
3.2. Estimación de reducción de emisiones de GEI.....	30
3.3. Plan de gestión de huellas para la organización.....	32
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	37
4.1. Actividades de mayor generación de emisiones	37
4.2. Actividades de compensación	38
4.3. Análisis de las actividades directas para la generación de GEI	40
4.4. Implementación del plan de gestión.....	41
CONCLUSIONES	43
RECOMENDACIONES.....	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
ANEXOS.....	51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Alcances de las emisiones.....	XVII
2.	Emisiones por consumible Kg CO ₂ e.	11
3.	Consumo energético (kWh) año 2014.	13
4.	Emisión de Kg CO ₂ e (Alcance 3).	15
5.	GEI emitidos en Kg CO ₂ e.	17
6.	Cantidad de GEI por fuente de emisión.	19
7.	Emisión total de CO ₂ e por Alcance.....	20
8.	Total de emisiones por fuente (tCO ₂ e).....	37
9.	Contrahuella de carbono (CO ₂).....	39
10.	Compensación emisiones de CO ₂	40

TABLAS

I.	Fuentes de generación de GEI de la organización.....	10
II.	Fuentes de generación de CO2.....	12
III.	Emisiones de CO2 de alcance 2.....	14
IV.	Emisiones de GEI Alcance 3.....	16
IX.	Emisiones y huella ecológica por categoría.....	23
V.	Estimación de gases de efecto invernadero producidas.....	17
VI.	Estimación de IMA de bosque seco subtropical.....	21
VII:	Factor de rendimiento para Guatemala.....	22
VIII.	Factor de equivalencia.....	22
X.	Uso de leña con estufas mejoradas.....	26
XI.	Fuentes con mayor generación de CO2e.....	38
XII.	Medidas para reducción la emisión de GEI.....	30
XIII.	Estimación de emisiones reducidas con medidas adoptadas.....	32
XIII.	Plan de gestión de huellas para la organización Cáritas Zacapa.....	34

LISTA DE SÍMBOLOS

CO ₂	Dióxido de carbono
CO ₂ e	Dióxido de carbono equivalente
tCO ₂ e	Tonelada de CO ₂ equivalente
Bs-S	Bosque seco subtropical
HC	Huella de carbono
HE	Huella ecológica
GEI	Gases de efecto invernadero
IPCC	Panel Intergubernamental para el Cambio Climático
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
IARNA	Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar
Hag	Hectárea global
PCG	Potencial de calentamiento global
Kg	Kilogramo
Kwh	Kilowatts hora
M ³	metro cúbico
Ha	Hectárea
IMA	Incremento medio anual
RPM	Revoluciones por minuto
PET	Tereftalato de polietileno
INAB	Instituto Nacional de Bosques
Km	Kilometro

GLOSARIO

Emisiones	En el contexto de cambio climático, se entiende por emisiones la liberación de gases de efecto invernadero y/o sus precursores y aerosoles en la atmósfera, en una zona y un período específicos.
Radiativo	En clima significa cualquier cambio en la radiación (calor) entrante o saliente de un sistema climático. Puede deberse a cambios en la radiación solar incidente, o a diferentes cantidades de gases activos radiativos.
Resiliencia	La capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz.
Proyecto	Es un proceso compuesto de distintas fases, que pretende satisfacer las necesidades mediante un cambio de la realidad identificada, requiere inversión de recursos de acuerdo a un presupuesto establecido para alcanzar objetivos concretos, en un tiempo determinado, mediante actividades coordinadas. Los beneficios logrados deben permanecer en el tiempo una vez que el apoyo externo haya finalizado
Programa	Es el conjunto de proyectos relacionados entre sí, basados en conseguir un objetivo parcial o sectorial del plan.

Biomasa	Masa total de organismos vivos en una zona o volumen determinado; a menudo se incluyen los restos de plantas que han muerto recientemente (“biomasa muerta”).
Zona de vida	Es una región biogeográfica que está delimitada por parámetros climáticos como la temperatura y precipitaciones, por lo que se presume que de dos zonas de clima similar, desarrollarían formas de vida similares.
Reforestación	Plantación de bosques en tierras que han contenido bosques previamente, pero que fueron convertidas a cualquier otro uso.
Estufa mejorada	Es una estufa que funciona con leña para cocinar alimentos, está conformada por diferentes piezas (chimenea, sombrero, plancha, base de chimenea y cámara de combustión), traslada los gases generados al exterior y la combustión interna es más eficiente.
Bosque	Ecosistema compuesto predominantemente por árboles y otra vegetación leñosa que crecen juntos de manera más o menos densa.
Hectárea global	Es la variable utilizada para la medición de huella ecológica, siendo determinada como un área ponderada, según su productividad utilizada para reportar tanto la biocapacidad de la tierra y la demanda sobre la biocapacidad.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación estima el impacto ambiental generado por la organización Cáritas Zacapa, medido a través de los indicadores ambientales de huella de carbono y huella ecológica, generadas por la implementación de los diferentes proyectos de desarrollo rural.

El estudio estimó la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) según la generación directa e indirecta, identificada para los tres alcances que determinan la huella de carbono, teniendo la emisión total de CO₂ equivalente emitido.

La huella ecológica se estimó como base utilizando la emisión total de GEI de la organización y la aplicación de la metodología y factores aplicados para Guatemala. Al tener la estimación y saber los GEI más emitidos y las actividades, se diseñó un plan de gestión de huellas.

La organización Cáritas Zacapa, emitió para el año de estudio (2014), un total de 65.95 tCO₂e, del cual el 93.73 % corresponde a CO₂, identificando las fuentes de mayor generación, siendo: Uso de vehículos, uso de aire acondicionado y movilización de materiales, representando el 89 % de las emisiones.

La huella de carbono se estimó en 65.95 tCO₂e y la huella ecológica en 0.57 hag/hab, menor a la estimación presentada para

Guatemala, no se sobrepasa la biocapacidad estimada de 1 hectárea global para el país.

La contrahuella de la organización se estimó en 106.72 tCO₂e, siendo mayor a la huella emitida, por lo cual la organización mitiga la emisión con las actividades de contrahuella implementadas.

Para la mejora de los indicadores ambientales de la organización, se diseñó un plan de gestión de huellas, en el cual se propone y prioriza medidas que de ser aplicadas en su totalidad, lograrían reducir su emisión en 18 %, llegando a emitir a 54.38 tCO₂e, comparado con el año de estudio.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS

Las organizaciones a nivel mundial y en caso de Guatemala, un país en vías de desarrollo, se implementan día con día proyectos y programas de desarrollo rural sin tener una estimación de la huella ecológica y de carbono que se produce.

Para este caso específico la organización no había realizado una medición de la generación de gases de efecto invernadero, al no contar con información base, era imposible saber la huella ecológica y de carbono que era generada. A continuación se presenta la pregunta principal:

¿Cuál será la huella ecológica y huella de carbono generadas por Cáritas Diócesis de Zacapa y cuál será el mejor plan para su gestión en la implementación de sus proyectos de desarrollo rural?

Derivado de la pregunta principal, se presentan las preguntas complementarias:

¿Cuál es la emisión de gases de efecto invernadero que genera la organización?

¿Cuánto compensan las acciones implementadas por la organización en relación a la huella de carbono y huella ecológica?

¿Cuál es el mejor plan de gestión para los impactos ambientales generados por la organización?

OBJETIVOS

GENERAL

Estimar la huella ecológica y huella de carbono generada por la organización Cáritas Diócesis de Zacapa; diseñar un plan para su gestión en la implementación de proyectos de desarrollo rural.

ESPECÍFICOS

- Estimar la emisión de gases de efecto invernadero que genera la organización.
- Cuantificar la compensación de la huella ecológica y huella de carbono por las acciones implementadas en los proyectos de desarrollo.
- Diseñar un planteamiento de gestión de los impactos ambientales generados por la organización.

RESUMEN MARCO METODOLÓGICO

De las líneas de investigación de la maestría en Energía y Ambiente, el estudio se encuentra dentro del eje de investigación complementaria y la línea de investigación de métodos estadísticos, para la monitorización de la contaminación ambiental.

La ubicación de la investigación se llevó a cabo en las oficinas de Cáritas Zacapa, ubicadas en la cabecera municipal de Zacapa y las comunidades en donde implementan los proyectos.

La presente investigación fue de carácter descriptivo en donde se realizó el análisis de diferentes parámetros ambientales que indican el impacto ambiental generado, entre ellos, la emisión de GEI, consumo de agua y producción de residuos y desechos sólidos.

Alcance

La unidad experimental estuvo compuesta por las oficinas centrales de la organización Cáritas Zacapa y las comunidades en donde la organización ha ejecutado sus proyectos de desarrollo rural.

Específicamente el estudio se limitó a un año de operaciones, siendo el año 2014 y se usaron los documentos de soporte generados (facturas, recibos, bitácoras), teniendo información del consumo de recursos (energía eléctrica, combustible, entre otros).

Variables e indicadores

Las variables fueron cuantitativas, con estas se calculó los indicadores de impacto ambiental, huella de carbono y huella ecológica.

Entre las variables cuantitativas estuvo la cantidad de energía eléctrica (kWh), la cantidad de galones de combustible, aguas residuales descargadas (m^3), residuos y desechos generados (kg), la estimación de huella de carbono, fue expresa en toneladas métricas de CO₂ equivalente (tCO₂e) de emisiones.

Procedimiento

La metodología para el desarrollo del proyecto, se realizó en las siguientes fases:

- Levantamiento de la línea de base.
- Cálculo de la huella ecológica y de carbono.
- Elaboración de plan de gestión de huellas.

Levantamiento de la línea de base

La línea de base brindó la información sobre consumos de energía (eléctrica y de combustibles fósiles), cantidad de residuos, desechos generados (papel, cartón, plástico, vidrio), agua residual descargada.

Cálculo de huella de carbono

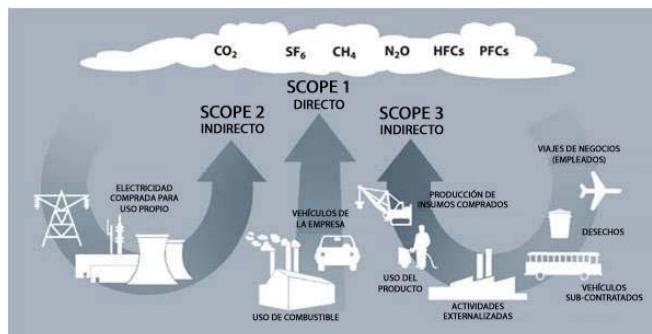
Se utilizó la información de los registros y documentos de respaldo (facturas de combustible, electricidad, compra de materiales, consumo de agua), del año 2014, con esta información y la estimación de los desechos,

residuos sólidos y aguas residuales descargadas se estimó la huella de carbono y posteriormente la huella ecológica.

La metodología contempló los tres alcances de las emisiones, siendo directas e indirectas para las actividades que desarrolla la organización (ver figura 1). Los tres alcances son:

- Alcance 1: Emisiones directas generadas por la organización y que puede controlar.
- Alcance 2: Emisiones indirectas generadas por el consumo de la energía eléctrica.
- Alcance 3: Emisiones generadas por actividades que se desarrollan en la organización, no son propias de la organización y no son controladas por ella.

Figura 1. Alcances de las emisiones



Fuente: Andrade, A., y Défaz, G (2012).

Cálculo de huella ecológica

Para el cálculo de la huella ecológica, se tomó como base las guías metodológicas de cálculo del Global Footprint Network, estas guías son ampliamente utilizadas y reconocidas para su aplicación.

La información para estimación de la huella de carbono, también fue la base para calcular la huella ecológica, en el caso de la huella ecológica esta se expresó en hectáreas globales (hag).

Diseño de plan de gestión de huellas

Con la información obtenida de las estimaciones de huella ecológica y huella de carbono, se diseñó un plan de gestión para la reducción de huella ecológica y de carbono en la organización.

El plan de gestión se propondrá para la reducción de las huellas generada por la implementación de proyectos y programas de la organización, algunas de las acciones van dirigidas al uso eficiente de los recursos en el desarrollo de sus proyectos.

INTRODUCCIÓN

A nivel global se mantiene una creciente preocupación por el acelerado incremento en la generación de gases de efecto invernadero (GEI), a la vez que se incrementan los efectos del cambio climático en el mundo y en Guatemala. También son crecientes los esfuerzos de implementar acciones sostenibles y el reconocimiento de la limitada biocapacidad de la tierra.

En Guatemala, aún cuando la temática de huella ecológica y huella de carbono es manejada, las organizaciones que implementan proyectos y programas de desarrollo rural no la aplican. Este estudio representa un emprendimiento positivo para tener una línea de base y el primer paso para un plan de gestión de huellas.

En el presente trabajo de graduación, se tuvo como objetivo estimar la huella de carbono y huella ecológica de la organización Cáritas Zacapa, como indicadores usados globalmente para la estimación del impacto ambiental generado.

Mediante la metodología planteada, se estimó la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) que fueron generados por la organización, en la implementación de proyectos de desarrollo rural, en el año bajo estudio (2014).

El estudio presenta cuatro capítulos: el capítulo 1. Marco Teórico; el capítulo 2. Presentación de resultados, se identifican las fuentes de GEI con mayor emisión, se estima la huella de carbono, la huella ecológica generada y la contrahuella de la organización por sus actividades en las comunidades.

En el capítulo 3. Presentación del plan de gestión, se proponen las acciones para mejorar la gestión y reducir la huella de carbono y huella ecológica y por último en el capítulo 4. Discusión de resultados, se analiza las acciones con más generación de GEI, la contrahuella de la organización y el impacto ambiental que genera.

La importancia del estudio recae en tener información base, sobre las estimaciones de los indicadores ambientales de huella de carbono y huella ecológica de organizaciones que implementan proyectos de desarrollo rural.

Es fundamental contar con esta información para empezar a plantear planes de gestión que permita la reducción de emisión de GEI en las organizaciones que se dedican al desarrollo rural en Guatemala e instituciones de Gobierno.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Clima

El clima es el producto de la interacción de variables atmosféricas, estas variables (temperatura, precipitación pluvial, viento), caracterizan a lugares determinados con valores de altitud y latitud definidas (Rodas, S. 2013).

Se suele definir el clima como el “estado medio del tiempo” o como una descripción estadística del tiempo (IPCC, 2014), aunque en los medios de comunicación normalmente lo confunden con el estado actual del tiempo.

En la tierra, el clima se ha mantenido relativamente estable, estimando que la energía recibida (radiación solar) es igual a la energía perdida (espacio exterior). El período normal para determinar el clima es de 30 años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial (IPCC, 2014).

1.2. Cambio climático

Las diferentes conferencias internacionales sobre Cambio Climático han identificado la época preindustrial (1,750), como el momento de incremento de la concentración de carbono en la atmosfera, determinando el aumento a la quema de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) y el cambio en el uso del suelo, incluyendo la deforestación (Alvarez, 2014).

El IPCC (2014) define el cambio climático como la variación estadística en el estado medio del clima, donde esta variación se puede deber a procesos

naturales internos, también a cambios de origen antropogénico por emisiones a la atmosfera y el uso de las tierras.

En este sentido, las Naciones Unidas mencionan que sí no se adoptan medidas y se sigue aumentando las emisiones de GEI, en los próximos decenios la temperatura mundial podría aumentar hasta 6.4°C este siglo (CEPAL, 2010).

1.2.1. Variabilidad del clima

Para el caso de Guatemala, como lo menciona el IARNA (2012), se tiene una base sólida para afirmar que es uno de los países que tendrá serios problemas a causa del Cambio Climático y que dentro de estos impactos se prevé una alta variabilidad climática y las consecuencias a la población.

La variabilidad del clima se refiere a las variaciones en el estado del tiempo (principalmente temperatura y precipitación), como la ocurrencia con fenómenos extremos: lluvias intensas y altas temperaturas (IPCC, 2014).

Anderson, citado por IARNA (2012), menciona según proyecciones de temperatura que el país tendrá un aumento de 1.5°C para el año 2020 y una reducción de lluvia en los meses de julio, agosto y septiembre de 103 mm de lluvia, pasando de 794 mm a 691 mm para el año 2020.

1.3. Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Los Gases de Efecto Invernadero “son de origen natural y antropogénico, estos absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de ondas del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la

atmósfera, y las nubes, siendo esta propiedad la que causa el efecto invernadero” (Tobasura, 2008).

Según Doménech (2007), desde la Revolución Industrial la concentración de CO₂ (el principal GEI), ha ido en aumento, esto derivado del aumento en el uso de combustibles fósiles y la reducción de la masa forestal.

Los GEI pueden ser de origen natural y antropogénico: el vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄), y ozono (O₃). Además existe en la atmósfera una serie de gases de origen antropogénico, como los halocarbonos y otras sustancias que contienen cloro y bromuro, el hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC), y los perfluorocarbonos (CEPAL, 2010).

1.3.1. Dióxido de carbono (CO₂)

El dióxido de carbono es el gas subproducto de la quema de combustibles fósiles, es el gas que más aporta al cambio climático y es utilizado como gas de referencia para medir el potencial del calentamiento mundial (IPCC, 2014).

Equivalente concentración de dióxido de carbono que podría causar el mismo grado de forzamiento radiativo que una mezcla determinada de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero (IARNA, 2012).

1.3.2. Metano (CH₄)

El metano igual que el dióxido de carbono se encuentra en la lista de gases prioritarios para su reducción, este gas está asociado a la agricultura, ganadería y a hidrocarburos usados como combustibles. (Alvarez, 2014).

Es un gas de efecto invernadero, producido por la descomposición anaerobia (sin oxígeno) de residuos en vertederos, digestión animal, descomposición de residuos animales, producción y distribución de gas natural y petróleo, producción de carbón, y combustión incompleta de combustibles fósiles (IPCC, 2014).

1.3.3. Emisiones

En el contexto de cambio climático, se entiende por emisiones la liberación de gases de efecto invernadero y/o sus precursores y aerosoles en la atmósfera, en una zona y un período específicos (Tobasura, 2008).

1.4. Mitigación

Las Naciones Unidas indican que la mitigación tiene relación con las políticas y las medidas destinadas a reducir las emisiones de GEI. Estas medidas pueden incluir la reducción de la demanda de bienes y servicios que generan grandes emisiones de GEI, aumento en la eficiencia y uso de tecnologías de baja emisión de GEI (Alvarez, 2014).

Otra de las formas para mitigar los efectos del Cambio Climático, es mejorar los sumideros de gases de efecto invernadero (depósitos que absorben el CO₂), como los bosques y mares (IPCC, 2014).

1.5. Capacidad biológica o biocapacidad

La biocapacidad es ampliamente utilizada para determinar la huella ecológica a diferentes niveles, esta se define como la capacidad de los ecosistemas de producir materiales biológicos útiles y absorber los materiales de desecho generados por los seres humanos (Rees, W., Wackernagel, M, 1996).

1.5.1. Hectárea global (gha)

Las hectáreas globales son la variable utilizada para la medición de huella ecológica, es determinada como un área ponderada, según su productividad utilizada para reportar tanto la biocapacidad de la tierra, y la demanda sobre la biocapacidad (Rees, W., Wackernagel, M, 1996).

La hectárea global se normaliza, según la productividad promedio ponderada por el tipo de área de la tierra y el agua biológicamente productiva en un determinado año (Doménech, J. 2007).

Debido a que los diferentes tipos de terreno tienen una productividad diferente, una hectárea global de tierra de cultivo, ocuparía un área física menor que la tierra de pastoreo, la cual es biológicamente menos productiva (Rees, W., Wackernagel, M, 1996).

1.6. Huella ecológica

La huella ecológica se utiliza ampliamente por diferentes sectores productivos, empresas, organizaciones y gobiernos, para conocer el impacto ambiental que se genera, en este sentido se convierte en un indicador

ambiental que determina la contaminación que se genera (Rivadeneira, A., & Défaz, G. 2012).

La huella ecológica según Rees y Wackernagel (1996), impulsores de esta medición, es la medida de cuánta tierra y agua biológicamente productivas requiere un individuo, población o actividad para producir todos los recursos que consume y a la vez absorber los desechos que generan utilizando tecnología y prácticas de manejo de recursos prevalentes.

1.7. Huella de carbono

Derivado de la necesidad de reducir la emisión de los gases de efecto invernadero, resulta también fundamental, saber con mayor precisión la cantidad de dióxido de carbono que se libera a la atmósfera, para este efecto, la huella de carbono representa el indicador para esta finalidad (Alvarez, 2014).

La huella de carbono calcula todas las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), originadas por la realización de un servicio o la producción de bien o producto, para el caso de las empresas, este se mide a lo largo de la cadena de valor o ciclo del producto (IPCC, 2014).

2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

2.1. Antecedentes de la organización

Cáritas es una organización no gubernamental de carácter internacional, en Guatemala fue fundada en 1955, la finalidad es canalizar las obras de beneficencia que la Iglesia Católica destina a los grupos de población más necesitados.

Cáritas aumentó su apoyo en los departamentos de Chiquimula y Zacapa, tras el terremoto de 1976, brindando ayuda humanitaria a las familias afectadas en toda la región.

Actualmente, Cáritas Zacapa es el brazo social de la Iglesia en los departamentos de Chiquimula y Zacapa, su naturaleza e identidad es de una organización humanitaria, con la misión de ayudar a la sociedad por medio de proyectos de agricultura sostenible, con el apoyo de la cooperación internacional y el objetivo pleno de la mejora de la calidad de vida de la población necesitada.

2.2. Proyectos y programas de desarrollo

La organización Cáritas Zacapa tiene sus oficinas en la cabecera departamental de Zacapa, según la delimitación interna de su organización a nivel de país, Cáritas Zacapa da cobertura a los departamentos de Chiquimula y Zacapa.

Para el año 2014, se desarrolló cinco proyectos, con 15 personas que conformaron los equipos técnicos en los proyectos, trabajando conjuntamente con 2,000 familias de 25 comunidades de los municipios de: Jocotán, Camotán en Chiquimula y Cabañas, San Jorge, La Unión en Zacapa.

La organización para el desarrollo de sus proyectos y programas, se enmarca en los siguientes ejes temáticos:

- Gestión comunitaria, manejo y restauración de ecosistemas y adaptación al cambio climático.
- Desarrollo humano integral, justicia y solidaridad.
- Fortalecimiento institucional.

La organización durante el año de estudio, implementó los siguientes proyectos:

Adaptación al cambio climático, dirigido a fortalecer las capacidades de las comunidades e instituciones rectoras en los temas de ambiente, agricultura y bosques.

Fortalecimiento de medios de vida a familias rurales, este proyecto tenía como objetivo recuperar y aumentar los medios de sustento de las familias necesitadas, mediante capacitaciones y entrega de equipamiento e insumos.

El proyecto de créditos rurales, tiene como finalidad dar acceso a crédito a las familias para sus actividades productivas, con bajos intereses.

Proyecto de respuesta a emergencias, debido a que el área es vulnerable a diferentes tipos de emergencias y desastres, el objetivo es atender

la emergencia de sequía en la región a través de ayuda humanitaria, identificando las familias que han perdido sus cosechas, principalmente granos básicos (maíz y frijol).

2.3. Identificación de fuentes de emisión de GEI

Para identificar las fuentes de emisiones de GEI, se utilizó los tres alcances de las emisiones, siendo directas e indirectas para las actividades que desarrolla la organización:

- Alcance 1: Emisiones directas generadas por la organización y que puede controlar, como el consumo de aceite y combustible, para el funcionamiento de vehículos propios.
- Alcance 2: Emisiones indirectas generadas por el consumo de la energía eléctrica, se incluyen las compras de electricidad realizadas.
- Alcance 3: Emisiones indirectas generadas por actividades que se desarrollan, no son propias y no son contraladas por la organización. Se incluyen el transporte de los empleados, productos utilizados, viajes aéreos, residuos sólidos.

La delimitación del alcance (directo e indirecto) y la revisión de la documentación sobre los gastos y actividades propias de la organización fueron necesarias para identificar y hacer el inventario de las fuentes principales de generación de GEI para Cáritas Zacapa. (Ver tabla I)

Tabla I. **Fuentes de generación de GEI de la organización**

Alcance	Fuente	Gases emitidos
Alcance 1 (Directo)	Combustible	CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O,
	Lubricantes	Gas HCFC-22
	Gas aire acondicionado	
Alcance 2 (Indirecto)	Consumo de energía eléctrica	CO ₂
Alcance 3 (Indirecto)	Movilización de empleados	CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O
	Uso de transporte aéreo	
	Producción de residuos sólidos	
	Descarga de aguas residuales	
	Transporte de materiales	

Fuente: elaboración propia (2016).

2.4. Cuantificación de emisiones

Para la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero se revisó los documentos donde se indica el gasto de cada suministro o consumo de servicios, según la lista de fuentes de emisiones de GEI, que fue realizada.

Las estimaciones se realizaron utilizando las hojas de cálculo y metodología del Carbon Footprint Organization, estas hojas contienen los coeficientes indicados por el IPCC.

Para la estimación de cada alcance se utilizaron hojas de cálculo diseñadas por el Greenhouse Gas Protocol, siendo: Transport Tool v2.6 y GHG

emissions from purchased electricity Version 4.7. También se usó el IPCC Inventory software, diseñado por el IPCC.

Para las estimaciones, se identificó tres gases de efecto invernadero que genera la organización, siendo: Dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, dependiendo de la actividad o insumo consumido, así es la generación mayor o menor de cada gas mencionado.

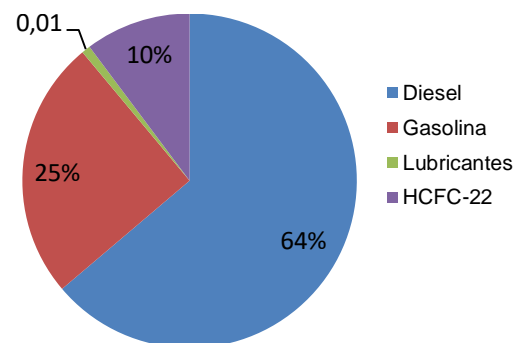
Se indica el total estimado de emisión por cada gas y se hace la equivalencia a dióxido de carbono equivalente (CO₂e), siendo la unidad de medida que se utiliza para la estimación de huella de carbono. Para la cuantificación de CO₂e se utiliza el potencial de calentamiento global (PCG), estimado para cada gas.

2.4.1. Emisiones directas (alcance 1)

Estas emisiones son controladas por la organización, fueron identificadas en el inventario, para este caso, se considera el consumo de combustibles para la movilización de vehículos todo terreno, motocicletas y el consumo de gas HCFC-22 para el uso de aires acondicionados que pertenecen a la organización y son utilizados en las oficinas.

La organización a través de las fuentes identificadas, genera gases de CO₂, CH₄ y N₂O, la generación mayor se da por el uso de vehículos, en período

Figura 2. **Emisiones por consumible kg CO₂e**



Fuente: elaboración propia (2016).

en estudio la organización tenía 2 vehículos todo terreno y 11 motocicletas para su uso.

El consumo de gasolina y diesel y la generación de GEI, resultado de la combustión interna, del motor, es la fuente mayor de generación de CO₂, representando el 89 % de las emisiones directas.

El uso de diesel representa el 64 % de las emisiones, generando un total de 21,228.58 kg de CO₂e. Las emisiones totales del uso de vehículos representan una emisión de 29,873.15 kg de CO₂ equivalente.

Tabla II. **Fuentes de generación de CO₂**

Fuente	Gases emitidos	Total kg	PCG	Total kg CO ₂ e	Total tCO ₂ e
Combustibles, Lubricantes	CO ₂	29629.147	1	29629.147	29.629
	CH ₄	4.2843	25	107.108	0.107
	N ₂ O	0.4594	298	136.891	0.137
Aire acondicionado	HCFC-22	2	1700	3400	3.40
				33,273.15	33.27

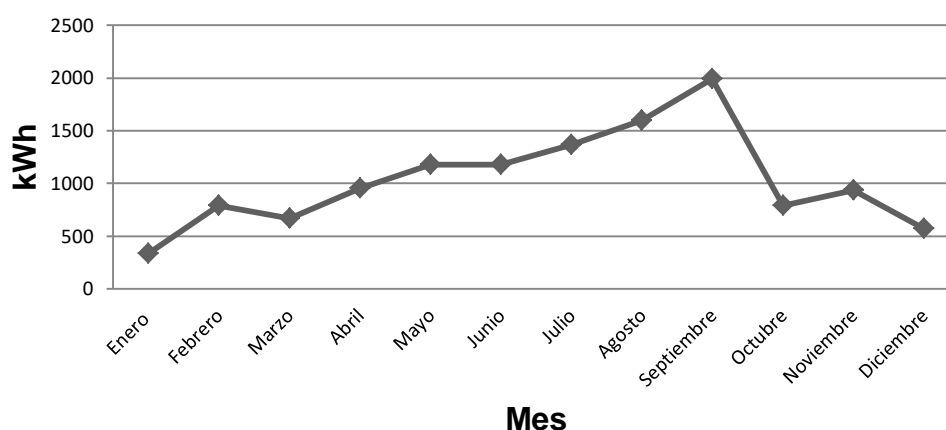
Fuente: elaboración propia (2016).

La emisión total del alcance 1, que contempla las emisiones por el uso de combustible y el consumo de gas HCFC-22, es de 33,273.15 kg de CO₂e (ver tabla II), es importante notar que el PCG es alto para el gas usado en el aire acondicionado, representando el 10 % de las emisiones.

2.4.2. Emisiones indirectas (alcance 2)

Dentro de las emisiones del alcance 2, se considera la emisión indirecta dada por la compra de energía eléctrica a la Empresa Eléctrica Municipal de Electrificación de Zacapa (EEMZA).

Figura 3. Consumo energético (kWh) año 2014



Fuente: elaboración propia (2016).

El consumo anual de la organización fue de 12,257 kWh, siendo los meses de agosto a octubre en donde se tuvo el mayor consumo (ver figura 3).

El consumo de la organización está dado por los equipos que funcionan con energía eléctrica, computadoras, fotocopiadora, impresoras, aires acondicionados, utilización de luminarias, equipo de cocina entre otros.

El aumento en el consumo de energía se da al aumentar las actividades del personal en las oficinas, esto aumenta el uso de equipos que están en las oficinas, para el consumo de energía se estimó la cantidad de gases de CO₂ que genera la compra de energía, siendo de 3,142 kg de CO₂ equivalente (ver tabla III).

Tabla III. Emisiones de CO₂ del alcance 2

Alcance	Fuente	Gases emitidos	Total Kg	PCG	Total Kg CO ₂ e	Total tCO ₂ e
Alcance 2 (indirecto)	Electricidad	CO ₂	3142	1	3142	3.142
Total					3142.00	3.142

Fuente: elaboración propia (2016).

2.4.3. Emisiones Indirectas (alcance 3)

Para tener mayor certeza de la cantidad de emisiones de la organización, se estimó las emisiones del alcance tres, considerando las emisiones de fuentes que no son controladas ni son propiedad de la organización. Para este estudio se consideraron las fuentes identificadas en el inventario, la movilización del personal, la movilización aérea, la generación de residuos sólidos y aguas residuales y el transporte de materiales para obras en las comunidades (contratación de transporte pesado para carga).

Los variables que han influido en la estimación de movilización de personal, han sido la cantidad de empleados que utilizan transporte público y los empleados que utilizan sus vehículos para la movilización de sus hogares al trabajo, también la estimación de la distancia diaria recorrida para cada caso. En el caso de la organización, se tiene una estimación total de 2,524.926 kg CO₂ equivalente.

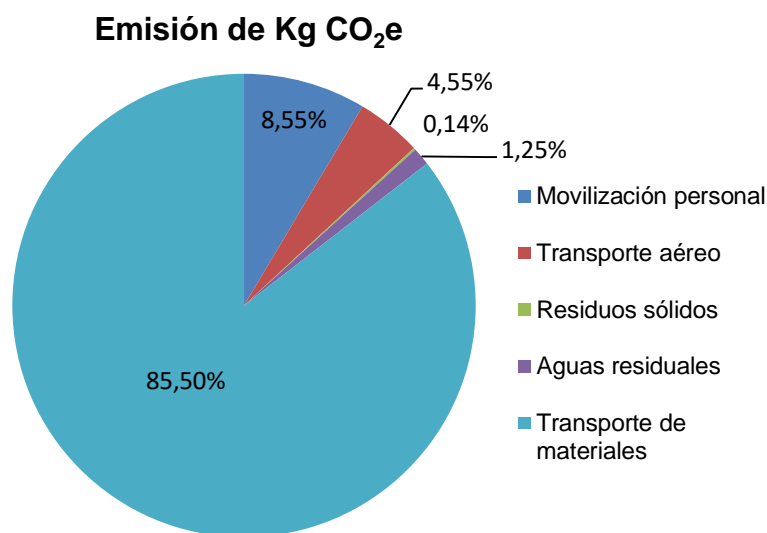
Las emisiones por movilización aérea, está dada principalmente por viajes internacionales realizados por empleados de la organización a eventos internacionales, se estimó que se recorrió una distancia de 10,113 millas,

generando 1,345 kg de CO₂e, otra variable que se considera es incluir que los viajes fueron en clase económica de larga distancia.

Para la generación de GEI, provenientes de los residuos sólidos generados por los empleados, se estimó, de los 873 kg/año de residuos sólidos, el 70 % era material orgánico (residuos de jardín, comida, papel y cartón) y un 30 % material considerado inerte (plástico, poliestireno, entre otros).

El consumo de agua realizada por el uso en los servicios sanitarios y de cocina, genera aguas residuales que van a la fosa séptica en las instalaciones de Cáritas, produce metano en su descomposición, se estimó que la organización generó 990 m³ de aguas residuales por año.

Figura 4. Emisión de kg CO₂e (alcance 3)



Fuente: elaboración propia (2016).

La organización en sus oficinas produce 42.5 kg de CO₂e, por la generación de residuos sólidos y 369.50 kg de CO₂e, por la generación de aguas residuales, las emisiones para ambos casos se dan por la producción de gas CH₄, siendo el 1.39 % de CO₂e emitido.

La última fuente estimada para el alcance tres fue el transporte de materiales, principalmente de obra gris para la construcción de estufas mejoradas en las comunidades con estos proyectos, para esto se estimó los viajes realizados y la distancia promedio entre el distribuidor y la comunidad. La cantidad emitida fue la más alta de estas emisiones indirectas, siendo de 25,249.67 kg de CO₂e, representando el 85.50 % de estas emisiones.

Tabla IV. **Emisiones de GEI (alcance 3)**

Fuente	Gases emitidos	Total Kg	Potencial	Total Kg CO₂e	Total tCO₂e
Movilización personal	CO ₂	2521	1	2521	2.525
	CH ₄	0.014	25	0.35	
	N ₂ O	0.012	298	3.576	
Transporte aéreo	CO ₂	1345	1	1345	1.345
Residuos sólidos	CH ₄	1.7	25	42.5	0.042
Aguas residuales	CH ₄	14.78	25	369.50	0.369
Transporte de materiales	CO ₂	25174	1	25174	25.250
	CH ₄	0.297	25	7.425	
	N ₂ O	0.229	298	68.242	
Total				29,531.59	29.53

Fuente: elaboración propia (2016).

2.5. Estimación total de huella de carbono

La estimación total de emisión de gases de efecto invernadero se realizó para la organización Cáritas Zacapa, en un período de un año (2014), la cuantificación se hizo utilizando el inventario de gases de efecto invernadero (ver tabla I), donde se especifica los fuente y emisiones principales de la organización, por la realización de sus actividades.

En la tabla II, se presenta un resumen de la emisión de GEI de los diferentes alcances, desglosado por tipo gas y por alcance, siendo directo o

indirecto. Para esta estimación previamente, se aplicó el PCG para los diferentes gases, el potencial más alto está representado por el gas HCFC-22.

Tabla V. **Estimación de gases de efecto invernadero producidas**

Alcance	Estimación de GEI (toneladas métricas)								
	CO ₂	CO ₂ e	CH ₄	CO ₂ e	N ₂ O	CO ₂ e	HCFC-22	CO ₂ e	Total
1	29.63	29.63	0.004	0.11	0.0005	0.14	0.002	3.40	33.27
2	3.14	3.14	0.000	0.00	0.0000	0.00			3.14
3	29.04	29.04	0.017	0.42	0.0002	0.07			29.53
Subtotal		61.81		0.527		0.21		3.40	65.95
								Total (toneladas métricas)	65.95

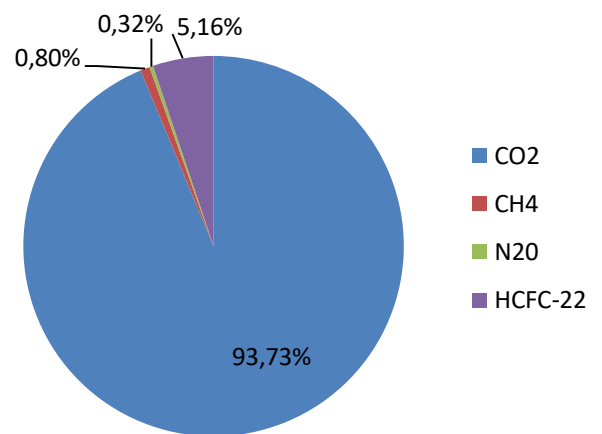
Fuente: elaboración propia (2016).

Se tomó la emisión de las fuentes para cada alcance, según tabla V, se cuantificó la emisión de 4 gases de efecto invernadero y se calculó a emisión en kilogramos de CO₂e, se observa que la mayor cantidad es CO₂e es dada por la emisión de CO₂, siguiendo la emisión del gas HCFC, metano y óxido nitroso, respectivamente.

La emisión total CO₂ equivalente de la organización Cáritas es de 65.95 toneladas métricas de CO₂e, siendo las emisiones directas las que más aportan, seguido por las emisiones del alcance 3 con 29.53 tCO₂e y por último el alcance 2 con 3.14 tCO₂e.

Según la figura 5, el CO₂ es el 93.73

Figura 5. **GEI emitidos en Kg CO₂e**



Fuente: elaboración propia (2016).

% de los gases emitidos por las actividades de la organización, seguido por el gas HCFC (5.16 %) y con la menor emisión el gas metano (0.80 %) y el óxido nitroso con el 0.32 % (208.71 kgCO₂e).

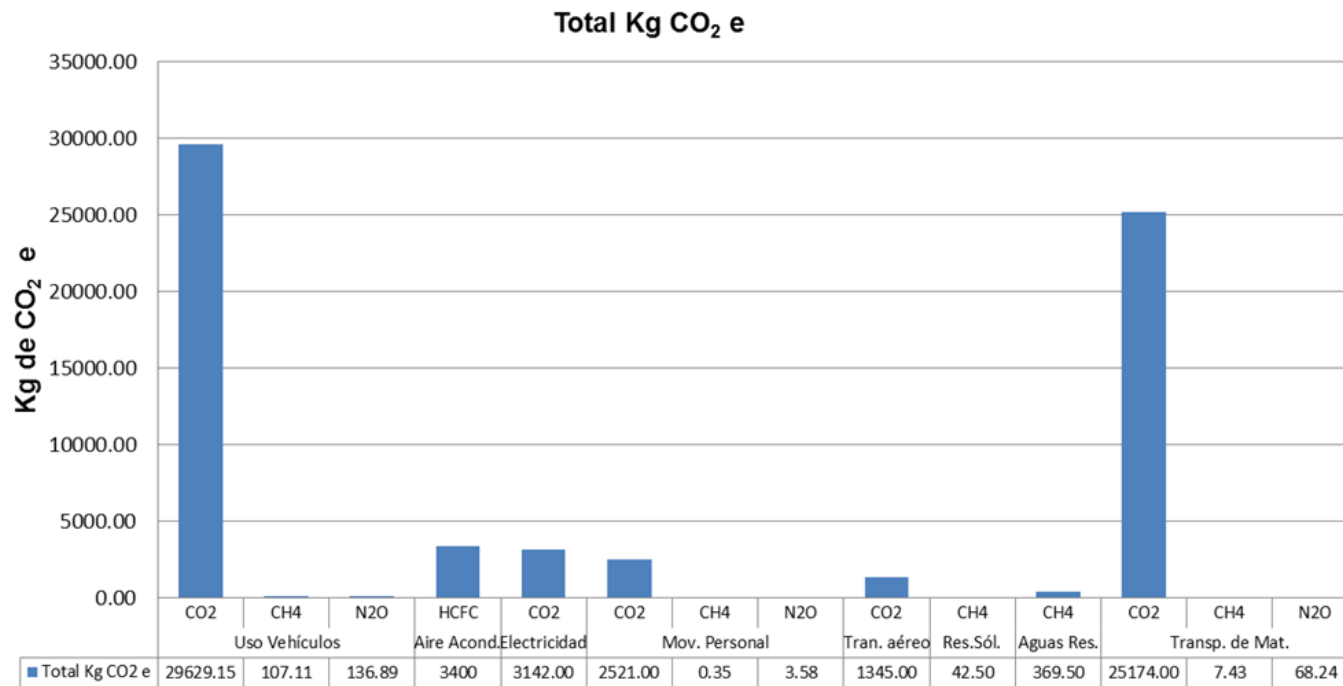
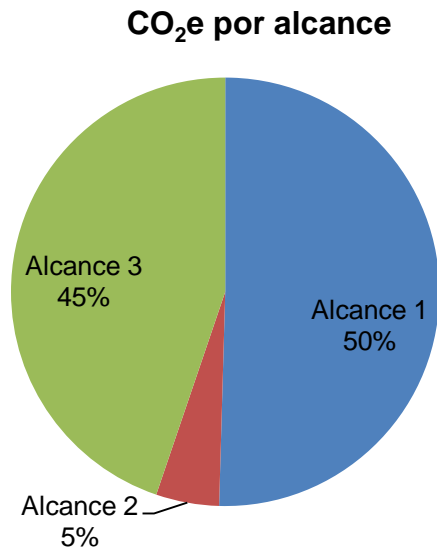


Figura 6. Cantidad de GEI por fuente de emisión

Del total de CO₂e emitidos, la mayor cantidad fue emitida por el uso de vehículos, transporte de materiales y el uso de aire acondicionado, entre los tres más altos, dos de estos están en el alcance 1 y una de las fuentes en el alcance 3

Figura 7. Emisión total de CO₂e por alcance



Fuente: elaboración propia (2016).

Del total, las emisiones directas (alcance 1) representan el 50 %, con 47.46 tCO₂e, seguido por las emisiones indirectas del alcance 3, con una emisión de 29.85 tCO₂e.

Por último, se tiene las emisiones indirectas del alcance 2, donde se

contempla únicamente la compra de electricidad, con un 5 % (3.14 tCO₂e). En total, las emisiones en tCO₂e de la organización es de 65.95, con el principal gas emitido de CO₂ con 61.81 tCO₂e (77 % de las emisiones totales).

2.6. Estimación total de huella ecológica

Se consideró la estimación de la huella ecológica, para tener un indicador ambiental adicional a la huella de carbono, para el caso de esta organización, se consideró específicamente la absorción del CO₂ generado por el desarrollo de sus actividades.

Para la estimación de la huella ecológica, se tomó la emisión total de CO₂ equivalente estimado de la organización, para Cáritas Zacapa la emisión total fue de 65.95 tCO₂e/año.

En este estudio, se estimó la cantidad de bosque seco subtropical (bs-S) necesario para la fijación de carbono, el carbono es fijado en la biomasa y en el suelo, se estima que el bosque seco subtropical (bs-S) tiene un incremento medio anual (IMA) de biomasa seca de 4.25 ton/ha/año.

Tabla VI. **Estimación de IMA de bosque seco subtropical**

Zona de Vida	IMA biomasa seca (ton/ha/año)	Carbono ton/ha/año	CO2e ton/ha/año
Bosque seco subtropical (bs-S)	4.25	2.125	7.79

Fuente: elaboración propia (2016).

Se utilizó el bosque seco subtropical, ya que es una de las zonas de vida que se encuentra en Zacapa y Chiquimula y en las comunidades donde se realizaron las actividades, estimando una fijación de 7.79 tCO₂e/ha/año.

Al tener las emisiones de CO₂ totales generadas por la organización (65.95 tCO₂e/año.) y la fijación estimada para el bosque (7.79 tCO₂e/año), se utiliza la formula siguiente para la estimación de la huella ecológica.

$$EF = \frac{P}{Y_N} \cdot YF \cdot EQF$$

Donde:

EF= huella ecológica (hectáreas globales).

P= cantidad de desechos emitidos (toneladas de CO₂).

Y_N= promedio de capacidad de absorción (tCO₂/ha).

YF= factor de rendimiento (hag/ha).

EQF=factor equivalencia (hag/ha).

Para la estimación se utilizan los factores específicos para Guatemala, en el caso del factor de rendimiento y el factor de equivalencia del tipo de uso de tierra.

Tabla VII: **Factor de rendimiento**

Tipo de uso de la tierra	Factor (hag/ha)
Cultivo	0.9
Bosques	0.8
Pastos	2.9
Mar	1.1
Superficie construida	0.9

Fuente: Ecological Footprint Atlas 2010.

Tabla VIII. **Factor de equivalencia**

Tipo de uso de la tierra	Factor (hag/ha)
Cultivo	2.51
Bosques	1.26
Pastos	0.46
Mar	0.37
Superficie construida	2.51

Fuente: Ecological Footprint Atlas 2010.

La estimación de la huella ecológica para Cáritas Zacapa, queda de la siguiente forma:

$$EF = \frac{65.95 \text{ tCO}_2}{7.79 \text{ tCO}_2} \cdot 0.80 \cdot 1.26 = 8.54 \text{ hag}$$

A continuación se detalla las emisiones y la huella ecológica por fuentes de emisión de CO₂ estimada por la organización.

Tabla IX. **Emisiones y huella ecológica por categoría**

Fuente	Total Kg CO₂e	Huella ecológica (ha/año)	Huella ecológica (hag/año)
Uso vehículos	29873.15	3.83	3.87
Aire acondicionado	3400.00	0.44	0.44
Electricidad	3142.00	0.40	0.41
Movilización personal	2524.93	0.32	0.33
Transporte aéreo	1345.00	0.17	0.17
Residuos sólidos	42.50	0.01	0.01
Aguas residuales	369.50	0.05	0.05
Transporte de materiales	25249.67	3.24	3.27
Total	65946.74	8.47	8.54

Fuente: elaboración propia (2016).

Considerando las fuentes de emisión de CO₂ de la organización y usando la capacidad de absorción del bosque en Zacapa, se tiene una huella de 8.47 ha/año, con este dato se estima la huella ecológica en hectáreas globales, para lo cual usamos los factores de rendimiento y equivalencia para bosques, siendo 0.8 y 1.26 respectivamente.

Al finalizar el proceso de cálculo se obtuvo una huella ecológica para la organización de 8.54 hectáreas globales/año, siendo necesarias para absorber 65.95 tCO₂e/año.

Se tiene una relación directa con la cantidad de emisión de CO₂, siendo la movilización de vehículos, el uso de aire acondicionado y el transporte de materiales, las fuentes que generan mayor huella ecológica.

2.7. Identificación de actividades de compensación

La organización, dentro de sus actividades se identificó dos actividades de compensación que fijan y reducen la emisión de CO₂, por parte de las familias de las comunidades atendidas al ambiente.

Es importante indicar que la organización destina su parte operativa totalmente a realizar actividades que mejoren la calidad de vida de las comunidades, de esta forma, las dos actividades identificadas en la fase de desarrollo o construcción, se emite CO₂, pero al iniciar su funcionalidad, fijan o reducen la emisión de CO₂ en las comunidades.

Las dos actividades identificadas fueron:

- Reforestación con árboles forestales: La organización apoyó a las comunidades atendidas con 6,000 árboles forestales de especies nativas, éstas fueron reforestadas en los diferentes sistemas de producción familiar en la comunidad.
- Implementación de estufas mejoradas: Las familias de seis comunidades de Zacapa y Chiquimula, fueron apoyadas con los insumos y la construcción de estufas mejoradas en las viviendas, la organización construyó 300 estufas mejoradas. Las familias antes de la estufa mejorada utilizaban fogón abierto.

2.8. Cuantificación de secuestro de GEI

2.8.1. Reforestación con árboles forestales

Según INAB, IARNA-URL, FAO/GFP (2012), la categorización de INAB, para Zacapa se identifica como la sub-región forestal III-2. Los valores de IMA promedio de especies latifoliadas son de 2.9 m³/Ha. Se estima que para una edad de 8.3, la densidad ha reducido un 15 % (densidad inicial 1, 111 árboles/ha), teniendo un IMA/árbol de 0.0031 m³.

Para el carbono compensado, se estima un 15 % de pérdida en el trasplante, dejando 5,100 árboles vivos por 0.0031 m³. De esta manera se tuvo un incremento de 15.81 m³ materia verde. Restándole un 60 % de humedad, nos daría 6.32 m³ de biomasa seca.

$$\text{Densidad de la madera} = 530 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Peso de biomasa seca (BS)} = 6.32 \text{ m}^3 * 530 \text{ Kg/m}^3 = 3,350 \text{ kg de BS}$$

$$\text{C (contenido de carbono)} = 3,350 \text{ Kg BS} * 0.5 \text{ (factor IPCC)} = 1,675 \text{ kg C}$$

$$\text{CO}_2 \text{ (contenido de CO}_2\text{)} = 1.675 \text{ tC} * (44/12) = 6.14 \text{ tCO}_2$$

Con la reforestación de un área estimada de 5.40 hectáreas, se realizó una fijación anual de 6.14 tCO₂, que serán consideradas como compensación de las emisiones generadas por Cáritas Zacapa. Con los datos anteriores, se estima que se fija 1.14 tCO₂/ha reforestada.

2.8.2. Implementación de estufas mejoradas

Para el área de Zacapa, el consumo per cápita de leña es de 2.3 m, considerando una media de 5 personas/familia, una familia en el área rural consume aproximadamente 11.5 m³ de leña/año (INAB, IARNA-URL, FAO/GFP, 2012).

Cáritas Zacapa a través de la implementación de estufas mejoradas con las familias, estima una reducción del 60 % del consumo de leña, por la mejora en el aprovechamiento del calor, comparado con la forma tradicional (fogón abierto o tres piedras), teniendo una reducción en la emisión de CO₂/familia.

Tabla X. **Uso de leña con estufas mejoradas**

Departamento	Consumo de leña (m ³ /familia/año)	Consumo con estufa mejorada (m ³ /familia/año)	Reducción de uso de leña (m ³ /familia/año)	Reducción (m ³ leña/ 300 familias/año)
Zacapa y Chiquimula	11.5	4.6	6.9	2,070

Fuente: elaboración propia (2016).

Con esta reducción de consumo de leña, se está dejando de consumir, 6.9 m³ de leña/familia, la implementación de estufas se realizó con 300 familias de 6 comunidades, con lo que se deja de consumir anualmente 2,070 m³ de leña.

$$\text{Leña} = 2070 \text{ m}^3 * 530 \text{ kg/m}^3 = 548,550 \text{ kg leña}$$

$$\text{Contenido de carbono} = 54.86 \text{ toneladas de leña} * 0.5 \text{ (factor IPCC)} = 27.43 \text{ tC}$$

$$\text{Contenido de CO}_2 = 27.43 \text{ tC} * (44/12) = 100.58 \text{ tCO}_2$$

La organización Cáritas Zacapa, genera una compensación de 100.58 tCO₂ por las 300 estufas construidas, teniendo una reducción de emisión de 335 kg CO₂/familia/año y evitando la tala de los bosques de Zacapa y Chiquimula.

En resumen, a través de las dos actividades de compensación de la organización, se estima, se fija 6.14 tCO₂ con la reforestación de áreas comunitarias y se evita la emisión anual de 100.58 tCO₂ con el uso de 300 estufas mejoradas, teniendo una compensación anual de 106.72 tCO₂e.

3. PRESENTACIÓN DE PLAN DE GESTIÓN

3.1. Análisis de opciones y actividades para plan de gestión

Para la realización del análisis de opciones y actividades para el plan de gestión, es importante enfocarse en las actividades o fuentes de mayor emisión de CO₂ equivalente, que para la organización se encuentran en el alcance 1 y alcance 3.

De las actividades de mayor generación, están:

- La movilización de personal en los vehículos de Cáritas.
- El uso de aire acondicionado por el personal en oficinas.
- El transporte de materiales para las acciones con familias a nivel comunitario.

Ya que estas fuentes representan la emisión de 58.52 tCO₂e de emisiones (89 % del total), es importante reducir el uso y sus emisiones.

En las oficinas de Cáritas Zacapa, se observó que los vehículos se encuentran en buen estado y reciben el mantenimiento preventivo recomendado, esto deja con la opción de hacer eficiente el uso de los consumibles (combustible y lubricantes).

Para el uso de aire acondicionado, se realiza el mantenimiento constante del equipo para mantener su funcionamiento ideal, es importante mencionar que el equipo ya tiene en promedio 10 años de funcionamiento, siendo menos eficiente que los nuevos equipos de aire acondicionado.

En el caso del transporte de materiales, actividad fundamental para desarrollar acciones con las familias, se debe analizar a los proveedores que dan este servicio, considerando elementos como el estado de los vehículos, hacer uso eficiente de los vehículos y los proveedores que se encuentran más cerca de las comunidades.

3.2. Estimación de reducción de emisiones de GEI

Se consideraron diversas opciones para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la organización, emitidos de forma directa e indirecta. Se identificaron medidas para la reducción de emisión para cada alcance, para la reducción estimada de las emisiones se utilizó el Manual de cálculo y reducción de huella de carbono en el sector del comercio, del observatorio de la sostenibilidad en España (2011).

Tabla XII. Medidas para reducción la emisión de GEI

Medida a Implementar	Reducción estimada de emisiones
Optimizar rutas de trabajo en el uso de vehículos	30 %
Realizar el mantenimiento periódico de los vehículos	
Uso racional del aire acondicionado (24°C)	
Conducir en el rango económico de RPM, para gasolina entre 1,500 a 2,000 RPM, para Diesel el cambio debe ser antes de las 2000 RPM	
Reducir las fugas y la carga de gas refrigerante	15 %
Reducción promedio para emisiones directas (alcance 1)	23 %
Aprovechar la luz natural	5 %
Eliminar luminarias innecesarias	5 %
Apagar las luces que no se utilicen	5 %
Utilizar iluminación eficiente (cambio a luces led)	30 %
Mantener el aire acondicionado a una temperatura adecuada (24°C)	15 %

Continuación tabla XII. **Medidas para reducción la emisión de GEI**

Medida a Implementar	Reducción estimada de emisiones
Apagar el aire acondicionado cuando no es necesario	15 %
Apagar aparatos eléctricos cuando no se usan	15 %
Mantenimiento de los equipos de aire acondicionado	15 %
Controlar la temperatura del refrigerador	5 %
Configuración de las computadoras para reducir el consumo de energía	10 %
Reducción promedio para emisiones indirectas (alcance 2)	12 %
Contratar personal que viva cerca de las áreas de trabajo o de las oficinas de la organización	15 %
Comunicar al área de compras para adquirir boletos con menos escalas, ya que disminuyen el trayecto y las emisiones.	0 %
Instalar el programa de reciclaje en la organización (separación de latas de aluminio, PET, vidrio, papel y materia orgánica)	15 %
Instalar inodoros eficientes, para usar menos agua por descarga	15 %
Escoger proveedores con las distancias más cortas al lugar donde se necesita el servicio de entrega	15 %
Reducción promedio para emisiones indirectas (alcance 3)	12 %

Fuente: elaboración propia (2016).

Es importante mencionar que para las emisiones directas se han identificado más medidas, para la reducción de emisiones, ya que se asume que el cambio se puede generar más rápido, para el caso de los alcances 2 y 3, aunque corresponden a las emisiones indirectas, acciones internas de la organización pueden reducir estas emisiones, como el hecho de reducir el consumo de electricidad.

Con las estimaciones de reducción de emisiones, se ha estimado para cada alcance y sus fuentes la reducción que supondría la implementación de las medidas descritas en la tabla XII.

Tabla XIII. **Estimación de emisiones reducidas con medidas adoptadas**

Alcance	Total	Reducción de emisiones	Reducción total	Emisión
Alcance 1	33.27	23 %	7.65	25.62
Alcance 2	3.14	12 %	0.38	2.76
Alcance 3	29.53	12 %	3.54	25.99
Total	65.95			54.37

Fuente: elaboración propia (2016).

De la estimación realizada se puede ver que la reducción más alta se realizará en las fuentes de emisión del alcance 1 con un 23 %, con las emisiones de los alcances 2 y 3, aunque no son contraladas directamente por la organización, pueden indirectamente reducirse, se estima una reducción del 12 % para cada caso.

La reducción con la implementación de las medidas propuestas, representa un 18 % de la emisión total de 65.95 tCO₂e realizadas. Con esta cantidad de emisiones también se tendría una huella ecológica menor.

3.3. Plan de gestión de huellas para la organización

Como parte del estudio, se diseñó un plan de gestión para la reducción de las huellas, con diferentes opciones para que puedan ser aplicadas, algunas estarán sujetas a la disponibilidad financiera de la organización de invertir en los cambios y otras a la sensibilización interna para generar el cambio de hábitos de los empleados.

El plan de gestión de huellas, es una guía para la organización en las que se indican actividades y medidas propuestas para implementar en la

organización, dirigidas a reducir en las emisiones de CO₂ y por consecuencia la reducción de la huella de carbono y huella ecológica.

La utilidad del plan no se limita a la reducción de las emisiones de CO₂, también, al evitar el mal uso de los recursos y hacer más eficiente su uso, reduciendo los costos de la organización para el desarrollo de las actividades.

Se presenta a la organización una diversidad de medidas, en la fase de implementación la organización tendrá el ahorro de recursos y la implementación de buenas prácticas del personal de la organización en relación al impacto ambiental que se genera.

La aplicación de las medidas contribuirá en reducir la huella ecológica y reducir el impacto ambiental generado en el departamento de Zacapa y el compromiso de una organización responsable.

Tabla XIV. Plan de gestión de huellas para la organización Cáritas Zacapa

Actividad	Medidas a Implementar	Plazo ¹
Sensibilización al personal sobre la huella de carbono y huella ecológica.	Realizar un taller de inducción para el personal sobre el tema.	CP
Compromiso del personal para usar eficientemente los recursos de la organización (agua, electricidad y papel).	Realizar sesiones revisión y compromiso del personal en la reducción de la huella.	CP
Realizar acciones para reducir el consumo de combustible de vehículos todo terreno y motocicletas.	Optimizar rutas de trabajo en el uso de vehículos.	CP
	Realizar el mantenimiento periódico de los vehículos.	
	Uso racional del aire acondicionado (24°C).	
	Conducir en el rango económico de RPM, para gasolina entre 1,500 a 2,000 RPM, para Diesel el cambio debe ser antes de las 2000 RPM.	
Uso eficiente del equipo actual de aire acondicionado.	Reducir las fugas y la carga de gas refrigerante.	
Uso eficiente de los ambientes y de las luminarias.	Aprovechar la luz natural.	CP
	Eliminar luminarias innecesarias.	
	Apagar las luces que no se utilicen.	
	Utilizar iluminación eficiente (cambio a luces led).	MP

Fuente: elaboración propia (2016).

¹ CP=Corto Plazo, MP=Mediano Plazo, LP=Largo Plazo.

Continuación tabla XIV. **Plan de gestión de huellas para la organización
Cáritas Zacapa**

Actividad	Medidas a Implementar	Plazo ¹
Uso eficiente del equipo actual de aire acondicionado.	Mantener el aire acondicionado a una Temperatura adecuada (24°C).	CP
	Apagar el aire acondicionado cuando no es necesario.	
	Apagar aparatos eléctricos cuando no se usan.	
	Mantenimiento de los equipos de aire acondicionado.	
Uso eficientemente el equipo de computación y de cocina.	Controlar la temperatura del refrigerador.	
	Configuración de las computadoras para reducir el consumo de energía.	
Reducir las distancias de movilización del empleado del trabajo a su casa.	Contratar personal que viva cerca de las áreas de trabajo o de las oficinas de la organización.	MP
Reducir las emisiones de viajes vía aérea y larga distancias.	Comunicar al área de compras para adquirir boletos con menos escalas, ya que disminuyen el trayecto y las emisiones.	MP
Mejorar la gestión de residuos sólidos en la organización.	Instalar el programa de reciclaje en la organización (separación de latas de aluminio, PET, vidrio, papel y materia orgánica).	MP
Reducir el consumo de agua utilizada.	Instalar inodoros eficientes, para usar menos agua por descarga.	CP
Mejorar la logística de entrega de materiales a las comunidades.	Escoger proveedores con las distancias más cortas al lugar donde se necesita el servicio de entrega.	CP

Fuente: elaboración propia (2016).

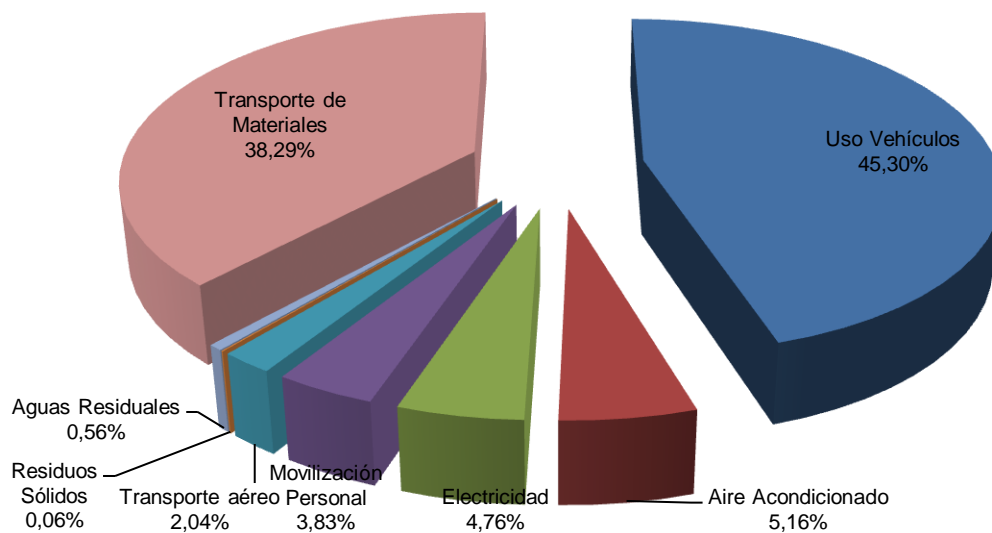
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Actividades de mayor generación de emisiones

La organización tiene su mayor generación de emisiones de las fuentes pertenecientes a los alcances 1 (emisiones directas) y alcance 3 (emisiones indirectas, representando el 59 % y 37 % respectivamente (figura 7. Emisión total de CO₂e por alcance).

Dentro de las fuentes con emisiones más altas de CO₂e, se encuentra con la mayor emisión al consumo de combustibles para los vehículos de la organización, del que depende la movilización del personal, siendo de 29.87 tCO₂e del total de todas las emisiones, representando el 45 % del total de emisiones.

Figura 8. Total de emisiones por fuente (tCO₂e)



Fuente: elaboración propia (2016).

Las actividades que generan la mayor emisión de GEI, se encuentran en el alcance 1 y 3, siendo el uso de vehículos de la organización con el 45.30 %, el uso de aire acondicionado en las oficinas 5.16 % y el transporte de materiales para apoyo de familias en comunidades con el 38.29 %.

Tabla XI. **Fuentes con mayor generación de CO₂e**

Fuente	Total tCO₂e
Uso vehículos	29.87
Aire acondicionado	3.40
Transporte de materiales	25.25
Total de emisiones	58.52

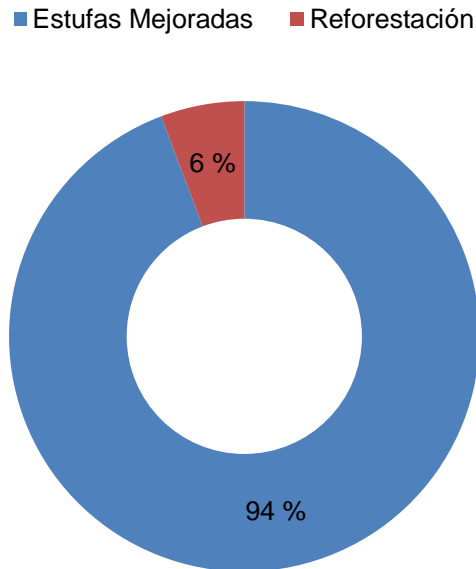
Fuente: elaboración propia (2016).

Según la tabla de las tres principales fuentes emisión de CO₂e, el total de emisiones es de 58.52 tCO₂e, siendo el 89 % del total de las emisiones de la organización (65.96 tCO₂e), quedando un 11 % de emisiones para las otras fuentes identificadas, incluida la de compra de energía eléctrica.

4.2. Actividades de compensación

Se identificó para la organización dos actividades de compensación y se estimó la compensación realizada por estas actividades: La construcción estufas mejoradas para las comunidades atendidas y la reforestación de sistemas de producción familiar.

Figura 9. **ContraHuella de Carbono (CO₂)**



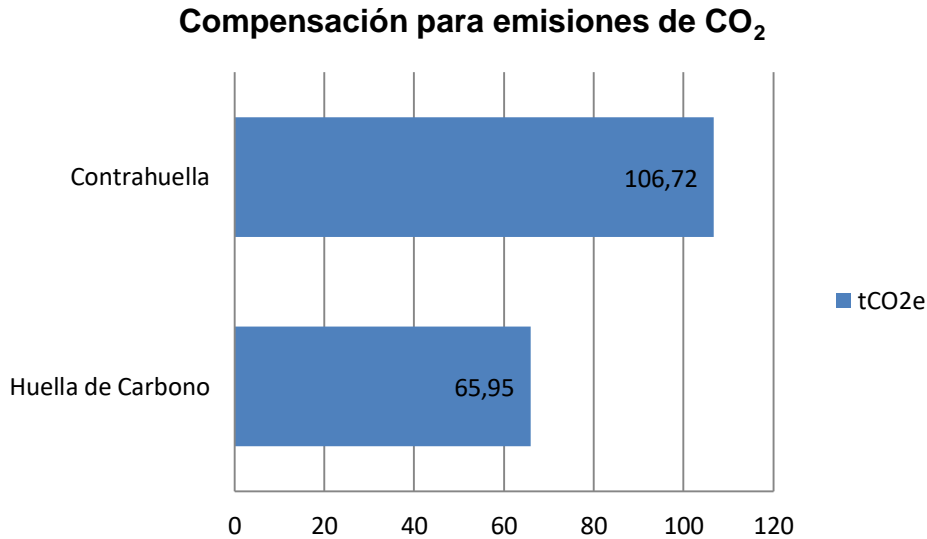
Fuente: elaboración propia (2016).

Como se observa la implementación de estufas mejoradas, representa la mayor contrahuella con el 94 % del total de compensaciones de la organización, siendo 100.58 tCO₂e que se deja de emitir por el ahorro de leña, la reforestación tiene un 4 %, que en este caso fija una cantidad de 6.14 tCO₂e como madera.

En total las actividades que la organización realiza con las comunidades, implementación de estufas mejoradas y reforestación con especies forestales nativas, da una compensación de 106. 72 tC₂O.

Al comparar la huella de carbono de la organización con la compensación que se tiene, se tiene que las compensaciones son mayores a las emisiones, medidas en CO₂e.

Figura 10. **Compensación emisiones de CO₂**



Fuente: elaboración propia (2016).

La contrahuella es de 106.72 tC₂O en un año y la huella de carbono de 65.95 tC₂O, siendo una organización que a través de las acciones que desarrolla en la comunidad y considerando la contrahuella, no generaría una huella de carbono. Es importante indicar que luego de la compensación aún quedan 40.77 tC₂O de contrahuella, que representa el 38 % de las compensaciones totales.

4.3. Análisis de las actividades directas para la generación de GEI

Se determinó que la huella ecológica (H.E) de la organización Cáritas Zacapa es de 8.54 hectáreas globales, al relacionarlo con el personal que tenía la organización (15 empleados), se tiene una H.E de 0.57 hag/hab, siendo menor a la H.E del país que es de 1.9 Hag y menor a la H.E mundial estimada en 2.7.

La huella ecológica de la organización, es menor a la H.E. de Guatemala en un 70 %, debido a que no se tiene un comparativo de H.E para organizaciones sin fines de lucro, se realiza el comparativo con la huella estimada para el país.

Esto indica que con una H.E de 0.57 hag el consumo de la organización es del 57 % de la biocapacidad de Guatemala (biocapacidad 1 hag). Las acciones se podrían realizar y el país estar en la biocapacidad de absorber esa contaminación.

En este estudio se consideró la huella de carbono para la estimación de la H.E, que genera su mayor presión en tierra de bosque por la absorción y fijación de los árboles a través de la fotosíntesis, requiriendo 8.47 hag de bosque y 8.54 hag para el consumo de las emisiones generadas por la organización (65.95 tCO₂e).

4.4. Implementación del plan de gestión

El plan de gestión se presenta como una guía para la reducción en la emisión de GEI y en la reducción de la huella de carbono y huella ecológica, según la estimación realizada la reducción más alta será en las fuentes de emisión del alcance 1 con un 23 %.

Para las fuentes de emisión de los alcances 2 y 3, se tendría una menor reducción, siendo del 12 %, es importante resaltar que la mayoría de las acciones propuestas son para realizarlas en corto plazo, siendo una gran oportunidad para la organización.

La implementación de las acciones demandará responsabilidad del personal de la organización en cada proceso o actividad a realizar, al hacerlo se podrá tener ahorro en los recursos, reducir el impacto ambiental en un 18 % de las emisiones totales (11.58 tCO₂e) y una menor huella ecológica, pasando de 8.54 a 7.03 hag.

CONCLUSIONES

1. Para la organización Cáritas Zacapa, en el desarrollo de sus actividades del año 2014, se estimó una emisión de 65.95 tCO₂e, derivado de la implementación de proyectos de desarrollo rural en los departamentos de Zacapa y Chiquimula. El alcance 1 fue de mayor generador de emisiones con un 50 % del total de emisiones.
2. La estimación de la huella de carbono, indica que el gas que más se emite por la organización es el CO₂, principalmente del uso de combustible usado por los vehículos, representando un 45 % de las emisiones totales (29.87 tCO₂e).
3. La estimación para la huella ecológica que produce la organización se estimó de 0.57 hectáreas globales, fue menor a la H.E de Guatemala y menor a la H.E Global, la huella de la organización se encuentra por debajo de la biocapacidad estimada para el país, la cual es de 1Hag.
4. Las principales actividades de compensación que fueron consideradas para organización: la reforestación y la implementación de estufas mejoradas, la estimación total de la compensación es de 106.72 tCO₂e.
5. Al considerar las acciones de compensación que promueve la organización, no se generaría huella de carbono y huella ecológica, ya que únicamente se usaría el 62 % de las tCO₂e compensadas

anualmente con la reforestación y la reducción de uso de leña con las estufas mejoradas.

6. Con la implementación del Plan de Gestión de huellas y sus medidas, se estima una reducción total del 18 % de la estimación de emisión de CO₂e del año de estudio, reduciendo la emisión de a 54.38 tCO₂e.

RECOMENDACIONES

1. A las organizaciones no gubernamentales, que tienen como objetivo acciones de desarrollo rural en Guatemala, realizar estudios con indicadores que midan su contaminación ambiental, como parte de la responsabilidad ambiental social de sus proyectos.
2. A la organización Cáritas Zacapa, la sensibilización dirigida al personal para hacer una sensibilización en el uso de los recursos de la organización y reducir los indicadores de huella de carbono y huella ecológica que son generados por las actividades que realizan.
3. Realizar la implementación del Plan de Gestión de huellas, para reducir la generación de emisión de CO₂e por las actividades realizadas y reducir la huella ecológica, considerar las acciones del plan de gestión que estimen mayor reducción de emisión de gases.
4. Promover la realización de estudios de huella de carbono y huella ecológica a nivel del municipio de Zacapa, para tener datos más precisos sobre la medición del impacto ambiental generado en este municipio.
5. Motivar la elaboración de trabajos de graduación con este tipo de indicadores ambientales, para generar información de país y tener información y datos nacionales así tener comparativos nacionales y conocer nuestra realidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alvarez, S. (2014). Determinación de los procedimientos para la cuantificación de la huella de carbono como herramienta para la empresa Green Development. Universidad de San Carlos de Guatemala.
2. Andrade, A., & Défaz, G. (2012). Cálculo de la Huella Ecológica de la Empresa Pública Metropolitana de agua potable y saneamiento (EPMAPS) –Edificio Matriz A y B, y la unidad de operaciones Norte de Saneamiento. Universidad Central del Ecuador.
3. Catalá, J. (2014). Diseño y validación de un procedimiento de cálculo de la huella de carbono en una administración local. Universidad Miguel Hernández de Elche. España.
4. CEPAL. (2010). Metodologías de cálculo de la Huella de carbono y sus potenciales implicaciones en América Latina. Naciones Unidas.
5. Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático. (2010). Guía para la elaboración de un Plan de Acción, Sistema de Adhesión a la ESACCEL. Gobierno de Aragón, España.
6. Doménech, J. (2007). Huella Ecológica y desarrollo sostenible. Asociación Española de Normalización y Certificación.

7. Huertas, C., & Chávez A. (2010). Plan de Manejo para reducir la huella ecológica de los residentes del conjunto Portal de Villa Magdala de Bogotá D.C.
8. INAB, IARNA-URL, FAO/GFP. (2012). Oferta y demanda de leña en la República de Guatemala/Woodfuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping. Guatemala, FAO/GFP/Facility. 70 p.
9. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar. (2012). Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012. Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo.
10. IPCC. (2014). Cambio Climático: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
11. López, L. (2013). Diseño de la investigación para la reducción y mitigación de la huella de carbono de los procesos de admisión y graduación de la FIUSAC. Universidad de San Carlos de Guatemala.
12. López, N. (2008). Metodología para el Cálculo de huella ecológica en universidades. Universidad Santiago de Compostela.
13. Observatorio de la sostenibilidad en España (OSE), Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Fundación Biodiversidad, Fundación General de Alcalá. (2011). Manual de cálculo y reducción de Huella de carbono en el sector del Comercio, España.
14. Putt, S., & Bhatia P. (2002). Working 9 to 5 on Climate Change: An Office Guide. World Resources Institute, Washington, USA.

15. Rees, W., & Wackernagel, M. (1996). Our ecological footprint. Reducing human impact on Earth, New Society Publisher, Canadá.
<http://www.footprintnetwork.org/es/index.php/GFN/page/glossary/#Ecologicalfootprint>
16. Rivadeneira, A., & Défaz, G. (2012). Cálculo de la Huella Ecológica de la Empresa Pública Metropolitana de agua potable y saneamiento (EPMAPS)-Edificio Matriz A y B, y la unidad de operaciones norte de saneamiento. Universidad Central del Ecuador.
17. Rodas, S. (2014). Estimación y gestión de la Huella de carbono del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar. Universidad Rafael Landívar.
18. Rodríguez, J., & Pratt, L. (1998). Potencial de carbono y Fijación de Dióxido de carbono de la Biomasa en Pie por Encima del Suelo en los Bosques de Costa Rica. Centro Latinoamericano para la Competitividad y el Desarrollo Sostenible (CLACDS),
19. Taracena L. (2013). Diseño de la investigación del análisis de la huella de carbono de los desechos generados por el empaque en una empresa de alimentos. Universidad de San Carlos de Guatemala.
20. Tobasura, I. (2008). Huella Ecológica y Biocapacidad: Indicadores biofísicos para la Gestión Ambiental: El Caso de Manizales, Colombia. Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.
21. Vicencio, N. (2015). Medidas para mitigar emisiones de CO2 equivalente. Oficina de Ingeniería para la Sustentabilidad, Universidad de Chile.

ANEXOS

Consumo anual de Energía Eléctrica.

No.	Mes(2014)	Consumo energético (kWh)	Monto Q
1	Enero	333	492.38
2	Febrero	792	1152.65
3	Marzo	667	972.84
4	Abril	957	1390
5	Mayo	1176	1705.04
6	Junio	1181	1683.46
7	Julio	1368	1981.23
8	Agosto	1596	2309.21
9	Septiembre	1994	2881.72
10	Octubre	790	1149.77
11	Noviembre	934	1356.91
12	Diciembre	569	831.86
Total Anual		1,2357	Q 17,907.07

Personal involucrado en Proyectos de Cáritas Zacapa

Proyectos en Ejecución	Personal
Alianza PfR 2010-2014	4
Medios de Vida 2015	4
Créditos	2
Cash for work (AECID)	2
Staff	3
Total	15

Vehículos utilizados para la Implementación de los Proyectos

No.	Tipo de vehículo	Marca	Modelo	Gasolina/ diesel	Motor (cc)	Estado del vehículo
1	Pick-Up DC	Toyota	2012	diesel	2.494	excelente
2	Pick-Up DC	Toyota	2000	diesel	2.779	bueno
3	Motocicleta	Yamaha AG200	2000	GAS	200	bueno
4	Motocicleta	Suzuki SCRAMBLER	1998	GAS	185	bueno
5	Motocicleta	Honda BROS	2008	GAS	150	bueno
6	Motocicleta	Honda BROS	2008	GAS	150	bueno
7	Motocicleta	Honda BROS	2008	GAS	150	bueno
8	Motocicleta	Honda BROS	2008	GAS	150	bueno
9	Motocicleta	Suzuki SCRAMBLER	2001	GAS	200	bueno
10	Motocicleta	Suzuki SCRAMBLER	2001	GAS	200	bueno
11	Motocicleta	Avanti AV200R	2014	GAS	200	bueno
12	Motocicleta	Honda BROS	2008	GAS	150	bueno
13	Motocicleta	Yamaha AG200	2014	GAS	200	bueno