

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN PARA ALCANZAR LA
CARBONO NEUTRALIDAD PLUS EN LA EMPRESA FRUCTA
COSTA RICA S.A.

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL CON EL
GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA

JAVIER HERNÁNDEZ COLE

CARTAGO, COSTA RICA

2019

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN PARA ALCANZAR LA
CARBONO NEUTRALIDAD PLUS EN LA EMPRESA FRUCTA
COSTA RICAS.A.

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL CON EL
GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA

JAVIER HERNÁNDEZ COLE

CARTAGO, COSTA RICA, 2019.



Esta obra está bajo [una licencia de Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN PARA ALCANZAR LA CARBONO NEUTRALIDAD PLUS EN LA EMPRESA FRUCTA COSTA RICA S.A

Javier Hernández Cole ¹

RESUMEN

Con el objetivo de diseñar un sistema de gestión para alcanzar la carbono neutralidad plus en la empresa FRUCTA Costa Rica S.A. se elaboraron los procedimientos y formularios para un adecuado registro y manejo de la información, una herramienta digital para la cuantificación de las emisiones y remociones, un plan de reducción de las emisiones de GEI, un programa de formación para la unidad de carbono neutro, así como la línea base del inventario de remociones. Se elaboraron trece formularios y siete procedimientos que permitirán la recopilación de la información de manera estandarizada y confiable. Para la elaboración de dichos documentos y del plan de reducción se realizó el inventario de emisiones para el año 2018 bajo la metodología establecida en la norma nacional INTE-ISO 14064-1, el cual obtuvo como resultado que las dos fuentes que mayor cantidad de ton de CO₂ emitieron fueron el búnker (4236,78 tCO₂e) y la electricidad (651,43 tCO₂e). Se confeccionó un plan de reducción que pretende reducir un 0,04% de las emisiones mediante la instalación de paneles en las casas de la empresa. El programa de formación para la unidad de carbono neutro abarca siete temas que pretenden llenar los vacíos de información que presentan los miembros de la unidad; por último, dentro del inventario de remociones las especies que mayor CO₂/ha capturan se encuentran: *Terminalia amazonia*, *Dipteryx panamensis*, *Hyeronima alchorneoides* y *Hevea brasiliensis*.

Palabras claves: Carbono neutralidad plus, Sistema de gestión, Inventario, FRUCTA COSTA RICA S.A., CO₂

¹Hernández Cole, J. (2019). *Diseño de un sistema de gestión para alcanzar la carbono neutralidad plus en la empresa FRUCTA COSTA RICA S.A.* (Tesis de licenciatura). Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

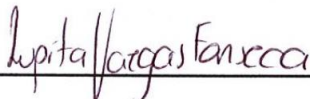
ABSTRACT

With the objective of designing a management system to achieve carbon neutrality plus in the company FRUCTA Costa Rica S.A. procedures and forms for an adequate record and management of information, a digital tool for the quantification of emissions and removals, a plan to reduce GHG emissions, a training program for the neutral carbon unit, as well as the baseline inventory of removals, were elaborated. Thirteen forms and seven procedures were prepared, it will allow collecting information in a standardized and reliable way. For the elaboration of documents and the reduction plan, an inventory of emissions was made for the year 2018 under the methodology established in the national standard INTE-ISO 14064-1, as a result the two main sources of CO₂ emissions were the bunker (4236,78 tCO₂e) and the electricity (651,43 tCO₂e). A reduction plan was made that aims to reduce 0,04% of total emissions by installing panels in houses of the company. The training program for the neutral carbon unit covers seven topics that aim to fill the information gaps presented by the members of the unit. Finally, in the inventory of removals, the species that capture the most CO₂/ha were *Terminalia amazonia*, *Dipteryx panamensis*, *Hyeronima alchorneoides* and *Hevea brasiliensis*.

Keywords: Carbon neutrality plus, managment system, Inventory, FRUCTA Costa Rica S.A., CO₂

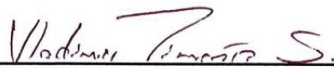
CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Trabajo final de graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por M.Sc Lupita Vargas Fonseca, M.Sc Vladimir Jiménez Salazar, y Licdo. Gerardo Flores Alvarado como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Forestal, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



Lupita Vargas Fonseca, M.Sc.

Directora de tesis



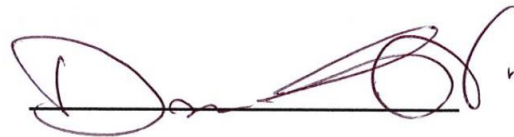
Vladimir Jiménez Salazar, M.Sc.

Profesor lector



Gerardo Flores Alvarado, Licdo.

Lector FRUCTA Costa Rica S.A



Dorian Carvajal Vanegas, M.Sc.

Coordinador Trabajos Finales de
Graduación



Javier Hernández Cole

Estudiante

DEDICATORIA

A mis padres Joaquín Hernández y Kattia Cole por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí. Espero que la vida me permita retribuirles todo lo que han dado para que yo pueda alcanzar hoy esta meta tan importante en mi vida.

A mis hermanos, tíos, primos, abuelos y amigos. Quienes han sido los cimientos de mi desarrollo como persona. Gracias por todas las enseñanzas que me han hecho crecer como ser humano. Pero, sobre todo, gracias por su amor y apoyo incondicional.

Mil palabras no bastarían para agradecerles a todos su apoyo durante estos 22 años de vida.

AGRADECIMIENTOS

A todos mis compañeros, profesores y administrativos de la Escuela de Ingeniería Forestal. Estos años han sido de mucho aprendizaje y siempre estaré sumamente agradecido por eso.

A los funcionarios de la empresa FRUCTA Costa Rica S.A. por tratarme como si fuera un miembro más de la empresa. En especial a Olga Cole y Gerardo Flores por abrirme las puertas de FRUCTA Costa Rica S.A. y apoyarme en todo momento para que la realización de este proyecto se llevara a cabo con éxito.

A mi profesora tutora Lupita Vargas, gracias por las enseñanzas y el apoyo brindado durante estos años, sobre todo en mi proyecto de graduación.

A Ernesto González por la ayuda brindada para la realización de esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
1. INTRODUCCIÓN	13
1.1 Objetivo General	15
1.2 Objetivos Específicos.....	15
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	16
2.1 Antecedentes nacionales	16
2.1.1 Situación actual de la Carbono Neutralidad en Costa Rica	16
2.1.2 Normativa nacional para optar por la Carbono Neutralidad	17
2.2 Inventario de Gases de efecto Invernadero (GEI).....	18
2.2.1 Reducción de las emisiones de GEI	19
2.2.2 Compensación de emisiones.....	20
2.3. Concepto general de un sistema de gestión	20
2.3.1 Sistemas de gestión ambiental	20
2.3.2 Beneficios de la implementación de los sistemas de gestión	21
2.4 Remociones de CO ₂	21
2.4.1 Remoción de CO ₂ : el caso de las plantaciones forestales	22
2.4.2 Especies forestales como fijadoras de carbono	23
2.5 Herramientas de cálculo de emisiones y remociones de CO ₂ e	24
3. MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1 Área de estudio.....	25
3.2 Sistema de Información	26

3.2.1	Inventario de emisiones de GEI.....	27
3.2.1.1	Ubicación temporal y espacial.....	27
3.2.1.2	Determinación del alcance institucional	27
3.2.1.3	Identificación de fuentes de GEI.....	29
3.2.1.4	Metodología de cuantificación	30
3.2.1.5	Selección y recopilación de datos de la actividad de GEI	30
3.2.1.6	Selección de los factores de emisión de GEI	31
3.2.1.7	Cálculo de las emisiones de GEI.....	31
3.2.2	Formularios y Procedimientos	31
3.2.3	Herramienta Digital.....	32
3.3	Plan de reducción	32
3.4	Programa de formación	33
3.4.1	Conformación de la Unidad de Carbono Neutro.....	33
3.4.2	Definición de temas a desarrollar	33
3.5	Línea base del inventario de Remociones	33
3.5.1	Descripción de las fuentes de remociones	33
3.5.1.1	Plantación de Pílon.....	33
3.5.1.2	Bosque secundario.....	34
3.5.2.	Cuantificación de remociones de GEI.....	36
3.5.3	Análisis de los datos.....	38
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
4.1.1	Sistema de gestión.....	39
4.1.2	Procedimiento y formularios para la cuantificación de gases de efecto invernadero	39
4.1.3	Procedimiento para la cuantificación de remociones	41
4.1.4	Procedimiento para la implementación de acciones de reducción.....	41
4.1.5	Procedimiento para la implementación de compensaciones de CO ₂ ..	41
4.1.6	Procedimiento para la implementación de auditorías internas	41
4.1.7	Procedimiento para el manejo y control de la información del sistema de gestión.....	42
4.1.8	Procedimiento para acciones preventivas y correctivas.....	42
4.2	Inventario de GEI.....	42

4.3	Herramienta digital	44
4.4	Plan de reducción.....	47
4.5	Programa de formación y unidad carbono neutro.....	48
4.6	Inventario de Remociones.....	53
4.6.1	Plantación de Pílon y Bosque secundario	53
5.	CONCLUSIONES	57
6.	RECOMENDACIONES	58
7.	REFERENCIAS.....	59
8.	ANEXOS	66

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Gases de efecto invernadero emitidos por la empresa FRUCTA Costa Rica S.A. en el año 2019.....	29
Cuadro 2. Cantidad de tCO ₂ e emitido por cada fuente de emisión para el año 2018.	43
Cuadro 3. Consumo energético y factura actual, generación de kWh pronosticada, nuevo consumo eléctrico y su factura correspondiente y el ahorro mensual con la implementación del sistema fotovoltaico Yuxta.....	48
Cuadro 4. Programa de formación a implementar en la unidad de carbono neutro de la empresa FRUCTA Costa Rica S.A.....	51
Cuadro 5. Resumen de los promedios y error asociado al muestreo en el bosque secundario y la plantación de pilón. Siquirres, Costa Rica. 2019.....	53
Cuadro 6. Reservas de biomasa, carbono y CO ₂ presentes en el bosque secundario y la plantación de Pilón. Siquirres, Costa Rica. 2019.....	54
Cuadro 7. Reservas de biomasa, carbono y CO ₂ de las cuatro especies más representativas del bosque secundario. Siquirres, Costa Rica. 2019.	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama institucional de la empresa FRUCTA Costa Rica S.A.	25
Figura 2. Ubicación de la planta principal, bosque secundario y la plantación de <i>Hyeronima alchorneoides</i> en la empresa FRUCTA Costa Rica S.A. El Cairo, Siquirres, Costa Rica.	26
Figura 3. Lista de chequeo para la identificación de fuentes de emisión en la empresa FRUCTA Costa Rica S.A.	30
Figura 4. Ubicación de las parcelas establecidas en el bosque secundario de la empresa FRUCTA Costa Rica S.A. Siquirres, Limón, Costa Rica.	35
Figura 5. Interfaz del menú de la herramienta digital.	45
Figura 6. Interfaz de la pestaña de Búnker de la herramienta digital.	45
Figura 7. Interfaz de la tabla resumen de la herramienta digital.	46

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resumen del área basal y CO ₂ equivalente por hectárea para 27 parcelas establecidas en la plantación de pílón.....	66
Anexo 2. Resumen del área basal y CO ₂ equivalente por hectárea para 17 parcelas establecidas en los proyectos de reforestación.....	67

1. INTRODUCCIÓN

Los gases de efecto invernadero se definen como “los gases integrantes de la atmósfera, de origen natural y antropogénico que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la tierra, atmosfera y las nubes” (Green facts, 2019). Según Hernández, Ramos& Jiménez (2014) este incremento progresivo de los GEI genera un crecimiento acelerado del cambio climático.

El fenómeno del cambio climático ha ocasionado una elevación media de la temperatura del planeta en unos 0,74 °C en el último siglo, además ha generado que las cubiertas de nieve y hielo disminuyan, así como que el nivel del mar se haya incrementado en los últimos años. Este tipo de consecuencias generan daños en cultivos, producen desequilibrios ambientales y sobre todo amenazan las vidas de todos los seres vivos que habitan en el planeta. Se prevé que Costa Rica sufra cada vez más el embate de huracanes, inundaciones, sequías. El tamaño del país es un factor determinante de su vulnerabilidad respecto a las consecuencias del calentamiento global. Las zonas con mayores riesgos son las zonas costeras, las partes altas de las montañas, los manglares y los arrecifes; así como los bosques de las zonas bajas. (MINAE, 2018).

Como parte del compromiso ambiental que posee el gobierno de Costa Rica, en el año 2018 mediante el decreto N°41122, se oficializa el nuevo programa país 2.0. Este programa establece una forma sistemática y estandarizada de reportar, reducir, compensar y verificar emisiones de Gases de Efecto Invernadero para las empresas, organizaciones o municipalidades que desean formar parte del proceso carbono neutro y así contribuir con la meta del país de reducir las emisiones para el año 2100 (MINAE, 2018; Garza, 2018). En la actualidad Costa Rica cuenta con 115 empresas y organizaciones dentro del programa país de carbono neutralidad. (Vargas, L. comunicación personal. 24 de mayo del 2019.) Con la finalidad de ratificar este

compromiso con el ambiente, la empresa FRUCTA Costa Rica S.A. se ha propuesto ser carbono neutro en un período de un año. A la vez, explorar la posibilidad de obtener un mayor beneficio económico de sus productos, con el sello que los respalde como empresa libre de emisiones.

1.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de gestión para que la empresa FRUCTA Costa Rica S.A. alcance la carbono neutralidad al 2020.

1.2 Objetivos Específicos

Elaborar los protocolos, procedimientos y formularios para implementar el sistema de gestión, así como una herramienta digital para la cuantificación de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero de la empresa FRUCTA Costa Rica S.A.

Proponer un plan de reducción de las emisiones de GEI generadas por la empresa FRUCTA Costa Rica S.A.

Plantear un programa de formación para el personal responsable de la unidad de carbono neutralidad en la empresa FRUCTA Costa Rica S.A.

Cuantificar las remociones de CO₂e en las áreas forestales de la empresa FRUCTA Costa Rica S.A. para el periodo 2019.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes nacionales

Costa Rica fue uno de los primeros países en adquirir el compromiso de participar en La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1994) y el protocolo de Kioto (1997), con la finalidad de asegurar una solución global y eficaz a los impactos antropogénicos generados por el cambio climático. (Dirección de Cambio Climático, 2018). En el año 2007, Costa Rica, mediante el presidente Oscar Arias Sánchez, se comprometió internacionalmente a alcanzar la carbono neutralidad para el año 2021, como parte de su programa “Paz con la naturaleza.” Esta iniciativa estaba conformada por cuatro compromisos a nivel nacional y otros cuatro a nivel internacional. (Rojas, J. 2012; Sánchez, 2007).

Para el año 2009 se promulgó una estrategia nacional de cambio climático y se ratificó la meta de carbono neutralidad como parte de los compromisos que adquirió el país con el Acuerdo de Copenhague y la CMNUCC. Para el año 2010, mediante el Decreto Ejecutivo N° 35669, se crea la Dirección de Cambio Climático (DCC), con el fin de coordinar, gestionar y formular la política pública de cambio climático. Todos estos esfuerzos lograron que para el año 2012 se oficializara el primer Programa País de Carbono Neutralidad (PPCN). (Dirección de Cambio Climático, 2018; Rojas, J. 2012).

2.1.1 Situación actual de la Carbono Neutralidad en Costa Rica

En el año 2018, mediante el decreto N°41122, se oficializa el nuevo programa país 2.0, el cual presenta como objetivo principal “brindar un mecanismo para reconocer la adecuada gestión de las emisiones de gases de efecto invernadero a organizaciones públicas y privadas, así como en los cantones y distritos, con el fin de apoyar los compromisos del país en materia de acción climática”. Con este nuevo programa país se produjo otro cambio muy importante. Anteriormente el país se había propuesto ser

carbono neutral para el año 2021; sin embargo, se cambió la meta para el año 2100. La idea es medir las emisiones de carbono en tres cortes: 2030, 2050 y 2100. Para el año 2030 este indicador debe bajar de 2,41 toneladas de carbono a 1,73 toneladas per cápita, según lo estipulado en el Acuerdo de París (Dirección de Cambio Climático, 2018; Garza, 2018).

Aparte de estos cambios se han logrado avances en el tema de la carbono neutralidad, uno de ellos es la cantidad de organizaciones participantes, se comenzó en el año 2012 con dos empresas participantes y para el año 2017 ya se contaba con 92 empresas participantes (Corrales, 2017).

2.1.2 Normativa nacional para optar por la Carbono Neutralidad

La única norma aceptada por el Gobierno de Costa Rica para demostrar la carbono neutralidad es la INTE B5:2016 diseñada por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) y que define los requisitos para demostrar la Carbono neutralidad. Aplica a todo tipo de organización, independientemente de su tamaño, ubicación o actividad. Puede ser utilizada para realizar declaraciones de carbono neutralidad, como criterio de evaluación para declaraciones de tercera parte por organismos de validación/verificación o como requisito de un programa de GEI (INTECO, 2018).

Dicha norma está elaborada conforme a los criterios expuestos de la norma internacional ISO 14054, la cual comprende los procesos de verificación por parte de un organismo acreditado (Dirección de Cambio Climático, 2018).

La norma se encuentra respaldada con las normas INTE-ISO 14064 que garantizan el cumplimiento de siete principios: pertinencia, cobertura total, coherencia, transparencia, exactitud, respeto al principio de legalidad y eficiencia. La aplicación de estos principios garantizará la imparcialidad y veracidad de la información relacionada a los GEI (Villalta, 2017; INTECO, 2016).

La norma INTE B5:2016 establece que para lograr la carbono neutralidad de sus emisiones de GEI se debe cumplir con la siguiente ecuación:

$$\sum E - \sum R - \sum C = 0$$

Dónde:

E: Medición de emisiones y remociones totales, dentro del límite operativo establecido por la organización.

R: Reducción de emisiones lograda por la empresa mediante la instauración de acciones dentro del periodo de reporte.

C: Compensación de emisiones mediante la obtención de reducciones (créditos de carbono).

2.2 Inventario de Gases de efecto Invernadero (GEI)

El inventario de emisiones de GEI se define como la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera mediante actividades de producción o consumo de bienes y servicios de los seres humanos. Además, toma en cuenta otros gases más complejos que repercuten sobre las emisiones de GEI. Todos estos son reportados en toneladas de carbono equivalente (Schneider & Samaniego, 2009).

Bajo la ecuación para lograr la carbono neutralidad expuesta anteriormente las organizaciones elaboran sus inventarios de GEI con un enfoque de control operacional, siguiendo las disposiciones de la norma ISO 14064-1:2016. Las emisiones que se reporten en este inventario deben provenir de una correcta identificación de fuentes. Este inventario de emisiones deberá ser verificado por organismos acreditados por el ECA (INTECO, 2016; Fonseca, Herrera & Allice, 2014).

La norma INTE-ISO 14064-1:2016 establece la metodología para determinar el cálculo del inventario. Primeramente, las organizaciones deben definir sus límites de medición

y posteriormente identificar qué tipos de emisiones va a ser incluidas en el inventario de GEI (Villalta, 2017). Una vez que se tienen los pasos mencionados anteriormente, se procede a la cuantificación de emisiones de GEI para la cual se deben seguir los siguientes pasos:

- Identificación de fuentes de GEI.
- Selección de las metodologías de identificación.
- Selección y recopilación de datos de la actividad de GEI.
- Selección o desarrollo de factores de emisión.
- Cálculo de las emisiones de GEI.

En conjunto con el inventario de GEI se debe elaborar un inventario de remociones, sin embargo, no todas las empresas tienen obligación de hacerlo. Más adelante se abordará el tema de los inventarios de remociones y cómo se realizan (INTE B5:2016).

2.2.1 Reducción de las emisiones de GEI

Vargas (2014) menciona que un requisito fundamental para cumplir con la fórmula y lo estipulado en el programa país, para demostrar la carbono neutralidad, es llevar a cabo proyectos o acciones dirigidas para reducir o disminuir las emisiones de GEI, estas se pueden categorizar en graduales o temporales, dependiendo de las políticas y medios económicos de cada organización.

A la hora de pensar en acciones de reducción se pueden mencionar algunas más comunes como: la capacitación del personal en temas de conducción eficiente, así como planificar y compartir rutas para el ahorro de combustible. En el caso del consumo para energía, existen varias prácticas eficientes y comunes como el cambio de la fuente. Por ejemplo, la incorporación de paneles solares, sistemas de iluminación más eficientes, así como la capacitación y concientización del personal de la organización, entre otras (Gómez, *et. al.*, 2016).

2.2.2 Compensación de emisiones

De acuerdo con la norma INTE B5:2016 una vez concluido el inventario de emisiones, remociones y las reducciones propuestas por la organización, se procede a compensar las emisiones que no pudieron ser reducidas. Esta compensación se puede realizar mediante la compra de varios mecanismos: VER (Reducciones de Emisiones Voluntarias), CER (Reducciones de Emisiones Certificadas) y UCC (Unidades Costarricenses de Compensación). Los dos primeros mecanismos son internacionales y el último nacional. Este último se puede adquirir en las oficinas de FONAFIFO (FONAFIFO, 2018).

2.3. Concepto general de un sistema de gestión

Un sistema de gestión es una serie de procesos, acciones y tareas que se llevan a cabo sobre un conjunto de elementos para establecer las políticas y objetivos y de esta manera lograr el éxito sostenido de una organización. Por lo general estos sistemas se aplican a procesos, servicios, productos o materiales de la empresa (Naranjo, 2015; Fraguela, *et. al.*, 2011; *Emprende pyme*, 2016).

2.3.1 Sistemas de gestión ambiental

Uno de los sistemas de gestión más comunes son los ambientales, estos sistemas de gestión facilitan que una organización o empresa controle todas las actividades o servicios que pueden causar algún tipo de impacto sobre el medio ambiente y cómo minimizarlos. Estos sistemas se encuentran relacionados con los sistemas de gestión de la calidad, ya que son mecanismos que generan procesos sistemáticos y cíclicos en los que se pretende alcanzar la mejora continua. Es importante mencionar que los sistemas de gestión ambiental se rigen bajo las normas ISO14000 (Escuela Europea de Excelencia, 2014).

Las ISO 14000 son las primeras series de normas que facilitan a las organizaciones de todo el mundo realizar los esfuerzos ambientales necesarios y medir la actuación

que realizan de acuerdo con los criterios aceptados internacionalmente. El principal objetivo de las ISO 14000 es apoyar la protección ambiental y la prevención de la contaminación para encontrar la armonía entre la protección del medio ambiente y la prevención de la contaminación, con las necesidades socioeconómicas de la organización (Escuela Europea de Excelencia, 2014).

Existen algunas normas que se aplican a los sistemas de gestión. Por ejemplo, las ISO que constituyen una gran familia como las ISO 14001:2004 (gestión ambiental), ISO19011:2002 (metodología de auditorías), ISO/IEC 27001:2005 (seguridad informática y otras más. Muchas empresas tienen un enfoque holístico, es decir, en un solo sistema de gestión se conjugan varios, como por ejemplo calidad, seguridad, ambiental y salud (DNV.GL, 2018; Emprende pyme, 2016).

2.3.2 Beneficios de la implementación de los sistemas de gestión

Según MIT-MUT (2007) y Chamorro (2016) las ventajas de los sistemas de gestión son las siguientes:

- Se trabaja de manera más ordenada y metódica, mejora la organización de la empresa.
- Se reducen los costos.
- Hay una mejor comunicación entre los empleados de la empresa.
- Permite controlar el desempeño de procesos y de la empresa.
- Ayudan a cumplir de manera más eficiente la normativa relacionada con los productos y servicios de la empresa.

2.4 Remociones de CO₂

Estudios realizados por Carvajal *et al.* (2014) y Jiménez & Landeta (2006) señalan que los árboles o cualquier cuerpo vegetal actúan como sumidero de carbono, debido a su función vital que es la fotosíntesis. Los árboles mediante esta función absorben el CO₂ y lo almacenan en la madera.

Este CO₂ capturado por las plantas es producto de las diferencias entre el CO₂ atmosférico absorbido durante la fotosíntesis y el CO₂ emitido por la atmósfera durante el proceso de respiración. Por lo tanto, mientras la vegetación terrestre posea un crecimiento rápido, se convierte en un excelente sumidero de carbono. Se le conoce sumidero de carbono a aquel sistema que extrae un gas de la atmósfera y lo almacena (Carvajal *et al.*, 2014).

2.4.1 Remoción de CO₂: el caso de las plantaciones forestales

Uno de los sumideros de carbono más importantes son las plantaciones forestales. En el mundo existen aproximadamente 291 millones de hectáreas de plantaciones forestales, de las cuales en el trópico se encuentran alrededor de 60 millones. Costa Rica posee aproximadamente 75000 ha de plantaciones y algunas de las especies forestales más utilizadas son: *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* y *Cupressus lusitánica* (FAO, 2015; Arce & Barrantes, 2006; SIREFOR, 2013).

Las plantaciones forestales al tratarse de árboles jóvenes que siempre están en constante crecimiento y acumulando carbono en su biomasa, se consideran sumideros de carbono sumamente eficientes. Las plantaciones de una sola especie, son consideradas más efectivas a la hora de capturar carbono debido a que son fáciles de establecer y manejar. Sin embargo, la captura de carbono que realizan estos ecosistemas se ve afectada por varios factores como la calidad del sitio, las especies utilizadas, las prácticas de manejo, la edad del rodal y el contenido inicial del carbono en el suelo (Prado, 2015).

Ahora bien, una forma de calcular cuánto carbono es capturado en una plantación forestal es mediante la norma: INTE/DN 3:2016: Metodología para la cuantificación y reporte de remociones de gases de efecto invernadero producto de actividades forestales, la cual posee el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). Esta norma especifica los procedimientos para la cuantificación y reporte de remociones de gases de efecto invernadero (GEI) en ecosistemas forestales y agro-

forestales, en inventarios de GEI's, o mediante acciones dirigidas y proyectos de compensación.

2.4.2 Especies forestales como fijadoras de carbono

Hyeronima alchorneoides es una especie que crece bien en lomas, soporta suelos con ph ácido, con baja fertilidad y pedregosos. Es una especie que se encuentra en la mayoría de bosques lluviosos de las zonas bajas del norte y atlántico del país que van desde los 0 hasta los 800 msnm (Corrales & Roque, 2003). Además, puede crecer en algunas zonas del pacífico del país. Torres, Luján & Barca S.A. (2002) mencionan que esta especie se adecúa bien hasta los 1000 m.s.n.m. con rangos de precipitación de 3000 a 4000 mm y temperatura anual de 20 a 28 °C.

Russo (2010) reportó que esta especie fija 24,33 tCO₂/ha/año en plantaciones forestales ubicadas en el trópico húmedo. Víquez (2012) reportó valores de 18,67 tCO₂/año. Mientras que Vargas (2013) indica valores de 82,52 tCO₂/ha en una plantación de pilón ubicada en la zona de Buenos Aires.

Dipteryx panamensis es una especie forestal que se encuentra en bosques de la región Huetar Norte, de las llanuras del Caribe Norte y en el caribe Sur (Calvo, 2015). Gamboa (2008) menciona que esta especie crece en altitudes que van de 20 hasta 500 msnm y en sitios con una temperatura media anual entre 24 y 30 °C y que presentan una precipitación anual de 3500 a 5500 mm. Esta especie se adapta mejor a suelos aluviales y arenosos, aunque crece bien en sitios con suelos franco arcillosos y ácidos.

En un estudio realizado en la EARTH, Víquez (2012) encontró que una plantación de *Dipteryx panamensis* de 7,5 años de edad almacenaba 16,82 tCO₂/ha/año, esta autora también mencionó que en un estudio realizado por la unidad de carbono de la EARTH en el 2009 esta especie almacenó 19,63 tCO₂/año.

Torres, Luján y Barca S.A. (2002) mencionan que *Terminalia amazonia* crece en nuestro país desde los 0 hasta los 1100 msnm, su rango de precipitación y temperatura

oscila entre los 2000-4500 mm y 21 a 24 °C respectivamente. Es una especie que es sensible a períodos secos muy largos. Se adapta bien a suelos ultisoles y andisoles y no es sensitivo a suelos ácidos (Calvo, Arias & Arroyo, 1997).

Vargas (2013) obtuvo valores entre 27,65 y 252,12 tCO₂/ha en plantaciones de *Terminalia amazonia* ubicadas en Buenos Aires de Puntarenas, mientras que Russo (2010) reportó que esta especie captura en promedio 19,63 tCO₂/ha/año. Por último, en una plantación de *Terminalia amazonia* de 7,5 años de edad ubicada en Guácimo, Víquez (2012) reportó un valor de 47,567 tCO₂/ha/año.

2.5 Herramientas de cálculo de emisiones y remociones de CO₂e

Para la cuantificación de las emisiones y remociones de CO₂ la herramienta más utilizada es Excel, expertos en la temática indican que a nivel nacional son pocas las empresas que utilizan programas especiales diferentes al mencionado (Prado, E. comunicación personal, 21 de septiembre, 2018).

Excel es un programa informático desarrollado por Microsoft y se distingue de los demás programas porque nos permite trabajar con datos numéricos y realizar cálculos; sin embargo, no es un programa especializado en el manejo de base de datos. Permite realizar cálculos, crear tablas o gráficos y analizar datos con herramientas avanzadas como las tablas dinámicas (EXCELTOTAL, 2018).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

El estudio se realizó en las instalaciones de la empresa FRUCTA Costa Rica S.A. ubicada entre las coordenadas 10°07'32" N y 83°32'25" O específicamente en el distrito de El Cairo, Siquirres, Limón (Figura 2). Esta zona presenta un clima tropical, con una precipitación promedio de 3630 mm al año, la temperatura media anual llega a alcanzar los 26° grados. La mayoría de su territorio se encuentra en llanuras ya que su rango altitudinal va de los 0 a 300 msnm, debido a esto se encuentran muchos cultivos como: piña, banano y cacao (INDER, 2015).

La empresa FRUCTA Costa Rica S.A. está conformada por un área de operación industrial de 11 935 m² que se divide de la siguiente manera: 223 m² de oficinas, 7 195 m² de planta de producción, 2 656 m² de talleres y bodegas y 1 869 m² de áreas externas (romanas, circulación y carga de contenedores). Está compuesta por aproximadamente 451 personas y su organigrama institucional se muestra en la figura 1.

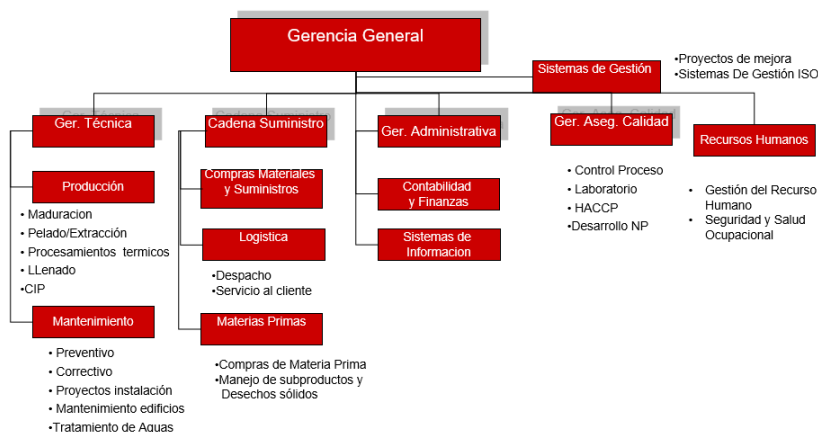


Figura 1. Organigrama institucional de la empresa FRUCTA Costa Rica S.A.

Además, la empresa cuenta con una plantación de *Hyeronima alchorneoides*, con una extensión de 0,35 ha y distanciamiento entre árboles de 5 x 5 metros. Posee un bosque secundario de 18,45 ha de extensión con especies como: *Cordia alliodora*, *Pentaclethra macroloba*, *Vochysia guatemalensis*, *Vochysia ferruginea*, *Tabebuia rosea*, *Dipteryx panamensis*, *Hyeronima alchorneoides*, *Hevea brasiliensis* entre otras (Figura 2).

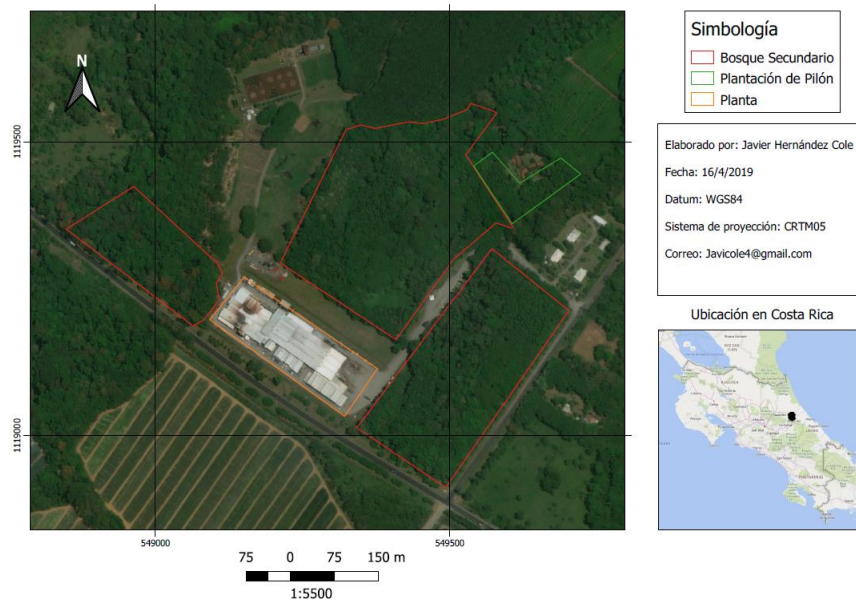


Figura 2. Ubicación de la planta principal, bosque secundario y la plantación de *Hyeronima alchorneoides* en la empresa FRUCTA Costa Rica S.A. El Cairo, Siquirres, Costa Rica.

3.2 Sistema de Información

A continuación, se presentan las normas, metodología y procedimientos; bajo los cuales se implementará el sistema de gestión de la propuesta. Así como los pasos a realizar para la elaboración de los procedimientos, registros y formularios, programas de formación, plan de reducción, inventario de remociones y elaboración de la herramienta digital del sistema de gestión.

Las dos normas que se utilizaron en el presente estudio son: 1) INTE B5: 2016: Norma nacional para demostrar la C-neutralidad. Requisitos. 2) INTE 14064-1: Gases de efecto invernadero. Parte 1: especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero, y la metodología INTE/DN 3:2016: Metodología para la cuantificación y reporte de remociones de gases de efecto invernadero producto de actividades forestales.

3.2.1 Inventario de emisiones de GEI

El inventario de emisiones consiste en cuantificar las toneladas de GEI emitidas por la empresa. Para ello se seguirán los pasos establecidos en la norma INTE 14064-1: Gases de efecto invernadero. Parte 1: especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero. A continuación, se describe cada uno de los pasos para el desarrollo del inventario.

3.2.1.1 Ubicación temporal y espacial

El inventario de GEI, se realizó en las instalaciones de la empresa FRUCTA Costa Rica S.A., ubicadas en el Cairo de Siquirres. Se estableció como año base el periodo comprendido entre enero del 2018 y diciembre del 2018.

3.2.1.2 Determinación del alcance institucional

3.2.1.2.1 Límites de la organización

La empresa FRUCTA Costa Rica S.A. definió y documentó el alcance y el usuario previsto, examinó sus operaciones e instalaciones para así determinar las fuentes y sumideros de GEI. Además, consolidará sus emisiones de GEI a nivel de instalación por medio del enfoque de control operacional, contabilizando el 100% de sus emisiones de GEI, atribuible a las operaciones sobre las cuales ejerce el control operacional (figura 2).

3.2.1.2.2 Límites operativos

Se establecieron y documentaron los límites operativos de la empresa, esto incluye la identificación de las emisiones de GEI asociadas a las operaciones de la empresa. Este límite operativo incluyó las emisiones de GEI provenientes de fuentes de GEI que pertenecen o son controladas por FRUCTA Costa Rica S.A. (emisiones directas), emisiones de GEI que proviene de la generación de electricidad, calor o vapor de origen externo consumidos por la organización (indirectas por energía) y emisiones de GEI consecuencia de las actividades de la organización pero que se origina en fuentes de GEI que pertenecen o son controladas por otras organizaciones (otras emisiones indirectas); estas últimas se pueden incluir o no, dependerá de la empresa.

Cuadro 1. Gases de efecto invernadero emitidos por la empresa FRUCTA Costa Rica S.A. en el año 2019.

Clasificación	Fuente	Gases de Efecto Invernadero				
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	HCFC
Emisiones directas	Búnker (Generación de vapor)	✓	✓	✓		
	Diesel (Vehículos)	✓	✓	✓		
	Diesel (Plantas)	✓	✓	✓		
	Gas LPG (Calderas y cocina)	✓	✓	✓		
	Lubricantes (Vehículos)	✓				
	Lubricante (Equipos planta)	✓				
	Recargas aires acondicionados (oficinas)					✓
	Aguas Residuales Industriales		✓			
	Aguas Residuales (Tanque séptico)		✓			
	Recarga Extintores	✓				
Emisiones indirectas	Consumo de electricidad	✓				

3.2.1.3 Identificación de fuentes de GEI

Mediante un recorrido por las instalaciones que constituyen la empresa, y a través de una lista de chequeo (figura 3) previamente definida, según la información proporcionada por la empresa, se procedió a identificar las fuentes de gases de efecto invernadero presentes en la organización. Identificadas estas fuentes, se documentaron en una base de datos en el programa de Excel.

Fuente	Disponibilidad	Reporte
Consumo eléctrico		
Combustible y lubricantes		
Aguas Residuales		
Aire acondicionado		
Combustible (búnker)		

Figura 3. Lista de chequeo para la identificación de fuentes de emisión en la empresa FRUCTA Costa Rica S.A.

3.2.1.4 Metodología de cuantificación

Se utilizó el Método 1 establecido en la norma INTE B5:2016, cálculos basados en datos de la actividad de GEI multiplicados por los factores de emisión o remoción de GEI oficializados por la autoridad competente.

3.2.1.5 Selección y recopilación de datos de la actividad de GEI

Con base en la lista de chequeo de las fuentes de emisiones de GEI de la empresa, se analizó la forma en la cual se registrará cada dato de la actividad. Para la recolección de datos se utilizaron facturas, medidores, bases de datos, entre otros, según disponibilidad de la información. Posteriormente se crearon formularios digitales que permitieran recopilar la cantidad que emite cada una de las fuentes identificadas.

3.2.1.6 Selección de los factores de emisión de GEI

Se procedió a utilizar factores de emisión que cumplieran con los requisitos estipulados en la norma INTE B5:2016. Algunos de estos factores de emisión se obtienen mediante el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) o el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

3.2.1.7 Cálculo de las emisiones de GEI

El cálculo consistió en la multiplicación de cada una de las fuentes por el factor de emisión correspondiente, seguidamente se multiplicó por los Potenciales de Calentamiento Global (PCG) definidos por el IMN o IPCC, esta multiplicación generó datos en una medida estandarizada, que permitió cuantificar homogéneamente las emisiones derivadas de los diferentes GEI en toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e). Finalmente se realizó una suma para obtener el total de emisiones generadas por la empresa.

3.2.2 Formularios y Procedimientos

Se identificaron las fuentes y sumideros de GEI y se procedió con la elaboración de formularios que ayudarán a recopilar los datos provenientes de las emisiones de GEI. De igual formase establecieron los procedimientos para conocer cómo se debe registrar y manejar adecuadamente la información. Estos formularios y procedimientos ayudarán a los miembros de la unidad de carbono neutro a mantener y dar seguimiento a la información recopilada para el adecuado funcionamiento del sistema de gestión. Los formularios se elaboraron con el programa Excel. Todos están disponibles en versión digital. Por último, los procedimientos se elaboraron mediante el programa Word y están disponibles en línea para todos los miembros de la unidad.

Se desarrolló un procedimiento para la cuantificación de gases de efecto invernadero, el procedimiento para la cuantificación de remociones, un procedimiento para la implementación de acciones de reducción, un procedimiento de implementación de

acciones de reducción (paneles solares) un procedimiento para la definición del mecanismo de compensación, se ajustó el procedimiento para el desarrollo de auditorías internas, se elaboró un procedimiento para el control y manejo de la información del sistema de gestión y por último un procedimiento para acciones correctivas y preventivas. Estos procedimientos deben seguir las disposiciones que se mencionan en las diferentes normas nacionales.

3.2.3 Herramienta Digital

Después de elaborar el inventario de remociones y emisiones de GEI de la empresa, se procedió a la elaboración de una herramienta digital que permitiera procesar de manera sistemática toda la información recopilada. Para elaborar la herramienta digital se utilizó el programa Excel. El proceso consistió en buscar herramientas que hicieran cálculos en el programa Excel. Una vez identificadas estas herramientas y utilizándolas como base, se procedió a confeccionar la herramienta digital para la empresa.

3.3 Plan de reducción

El plan de reducción se realizó con base en el inventario de emisiones del año 2018. Los pasos a seguir fueron los siguientes:

- a. Se ordenó las fuentes de emisiones identificadas de mayor a menor cantidad de GEI generados.
- b. Se presentó la información a la gerencia de la empresa para que defina según disponibilidad económica cuáles fuentes deben incluirse en el plan de reducción que la empresa implementará.

Una vez realizados estos pasos, se procedió a elaborar una propuesta de plan de reducción que se ajustara a las condiciones económicas de la empresa.

3.4 Programa de formación

3.4.1 Conformación de la Unidad de Carbono Neutro

Se conformó una unidad en conjunto con la gerencia de la empresa que será la encargada de todo lo relacionado con el proceso de carbono neutralidad y se definió cuáles serán las funciones de cada uno de los miembros.

3.4.2 Definición de temas a desarrollar

Se realizó un análisis prioritario con el gerente de la empresa sobre los temas que serán incluidos en el programa de sensibilización, así como el enfoque que tendrá cada uno. Lo anterior con la finalidad de asegurar la pertinencia y establecer el orden de su implementación. Posteriormente se definió la modalidad en la cual se impartirá cada tema y el método de divulgación de la información. Por último, se procedió a planificar una propuesta de fechas de implementación del programa de formación.

3.5 Línea base del inventario de Remociones

3.5.1 Descripción de las fuentes de remociones

La empresa posee 18,45 hectáreas de bosque secundario y 0,35 ha de plantación de *Hyeronima alchorneoides* (pilón), en las cuales se realizará la línea base para la cuantificación de las remociones de CO_{2e} y posteriormente el incremento de estas.

3.5.1.1 Plantación de Pílon

3.5.1.1.1 Planificación del inventario forestal

Para esta área no fue necesario realizar un levantamiento del área de la plantación, ya que se utilizó un muestreo de árboles individuales, en el cual la unidad de muestreo corresponde al árbol. Para determinar la frecuencia de medición de cada unidad de muestreo, se definió una intensidad del 20%, midiendo un árbol cada cinco (1). En total se midieron 27 árboles correspondientes cada uno a una unidad de muestreo.

$$\text{Frecuencia} = 100 / i_{(1)}$$

Dónde:

Frecuencia: Frecuencia de medición

I: intensidad de muestreo

3.5.1.1.2 Recolección de la información

A cada árbol se le midió el diámetro (cm) con una cinta diamétrica y la altura total (m) con un hipsómetro Suunto. A cada árbol se le colocó una placa, con el número de unidad de muestreo correspondiente.

Una vez contabilizados y medidos los árboles se procedió a calcular la cantidad total de árboles de la plantación (2):

$$\text{Árboles totales} = \text{árboles medidos} \times \text{frecuencia} + \text{saldos}_{(2)}$$

Dónde:

Árboles totales: cantidad de árboles presentes en la plantación.

Frecuencia: frecuencia de medición.

Saldos: cantidad de árboles sobrantes.

3.5.1.2 Bosque secundario

3.5.1.2.1 Planificación del inventario

Se realizó el levantamiento del bosque con un GPS marca Garmin 64s, mediante un track se recorrió el perímetro del área en estudio.

Las cuales fueron procesadas con el QGIS 3.6.0 y verificadas con imágenes satelitales. Aquellas áreas que presentaban tracks irregulares se corrigieron mediante un proceso de digitalización a una escala de 1:1500.

El bosque secundario está constituido por 3 sectores de 6,62, 8,88 y 2,95 ha respectivamente para el área 1, 2 y 3.

Una vez definida el área, se establecieron 17 parcelas (3) rectangulares de 500 m², 7,8 y 2 respectivamente para el área 1,2 y 3 (Figura 4).

$$i = \frac{n}{N} \times 100_{(3)}$$

Dónde:

i=intensidad del muestreo.

n= número de unidades muestrales.

N= tamaño de la población (en unidades muestrales).

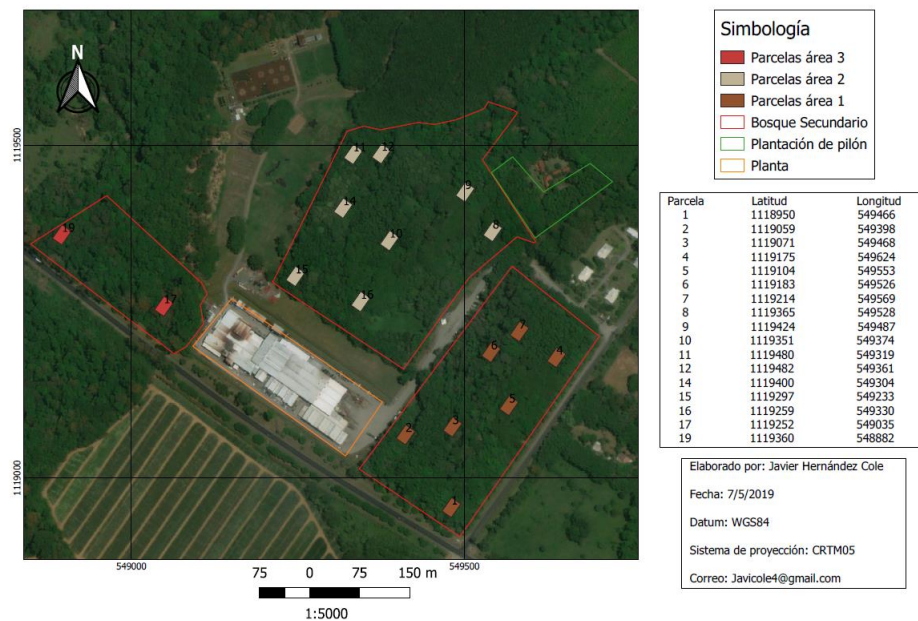


Figura 4. Ubicación de las parcelas establecidas en el bosque secundario de la empresa FRUCTA Costa Rica S.A. Siquirres, Limón, Costa Rica.

3.5.1.2.2 Recolección de la información

Para ubicar las parcelas en el campo se tomó las coordenadas del vértice izquierdo de la parcela y se ingresaron en el GPS. Cada vértice de la parcela se marcó con una baliza, cinta amarilla y un código que indica el número de parcela y vértice. Los demás vértices se ubicaron con la ayuda de una brújula y cinta métrica; también fueron marcados con una baliza, cinta amarilla y el código.

Se midió el diámetro (cm) a 1,30 m de altura con una cinta diamétrica de los árboles con un diámetro ≥ 10 cm y la altura (m) con un hipsómetro, los cuales se identificaron taxonómicamente indicando el género y la especie.

Cada árbol fue marcado con una placa metálica con un número consecutivo y con pintura spray color naranja.

3.5.2. Cuantificación de remociones de GEI

Para cuantificar la cantidad de CO₂ removido en las áreas en estudio se procedió a calcular la biomasa del fuste (1), la biomasa aérea (2), la biomasa de raíces (3), la biomasa total (4), el carbono removido (5) y finalmente el dióxido de carbono total removido (6).

Biomasa de fuste:

$$\text{Biomasa de fuste (ton/ha)} = \text{Volumen (m}^3/\text{ha)} * PE \left(\frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right) (1)$$

Dónde

Volumen(m³/ha)= Área basal (m²/ha)*Altura total (m) *Factor de forma(0,5)

PE (ton/m³)= Densidad de la especie.

Biomasa aérea:

$$\text{Biomasa aérea } \left(\frac{\text{ton}}{\text{ha}}\right) = \text{Biomasa de fuste (ton/ha)} * \text{FEBA (2)}$$

Dónde

FEBA = Factor de expansión de Biomasa (0,2)

Biomasa de raíces:

$$\text{Biomasa raíz (ton/ha)} = \text{Biomasa de fuste (ton/ha)} * \text{FEBS (3)}$$

Dónde

FEBS = Factor de expansión de Biomasa de raíces (0,2)

Biomasa total:

$$\text{Biomasa total (ton/ha)} = \text{Biomasa aérea (ton/ha)} + \text{Biomasa raíz (ton/ha)} (4)$$

Carbono removido:

$$\text{Carbono removido } \left(\frac{\text{ton}}{\text{ha}}\right) = \text{Biomasa total (ton)} * \text{FC(5)}$$

Dónde

FC= Fracción de carbono (0,47)

CO₂ total removido:

$$\text{CO}_2 \text{ total removido} = (\text{Carbono removido (ton/ha)} * \text{FCO}_2 \left(\frac{44}{12}\right) * \text{Área total (ha)} (6)$$

Dónde

FCO₂ (44/12) = Relación molecular entre el oxígeno y el carbono.

3.5.3 Análisis de los datos

Para ambas fuentes de remociones se calculó el error de muestreo (7) y los límites de confianza (8) para la variable de área basal (m²/ha).

Error de muestreo:

$$\%E = \frac{E}{x} * 100 \quad (7)$$

Donde:

X= promedio del área basal (m²/ha)

$$E = Sx * t_{\alpha/2, n-1}$$

Sx= desviación estándar

Para el inventario de árboles individuales la Sx, es la desviación estándar aproximada.

Límites de confianza:

$$Li = X - (E) \quad (8a)$$

$$Ls = X + (E) \quad (8b)$$

Dónde:

Li= límite inferior

Ls= límite superior

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.1 Sistema de gestión

Para implementar el sistema de gestión, fue necesario desarrollar una serie de documentos que permitirán la recopilación de la información de manera estandarizada y confiable.

Para el desarrollo de la documentación se definió los límites organizacionales y operativos bajo los cuales se identificó las fuentes de emisión y remociones de CO₂ de la empresa. Se determinó la metodología de cuantificación y factores de emisión a utilizar. Se desarrolló un procedimiento para la cuantificación de gases de efecto invernadero, uno para la cuantificación de remociones, otro para la implementación de acciones de reducción, un procedimiento para la definición del mecanismo de compensación, se ajustó el procedimiento para el desarrollo de auditorías internas y por último se elaboró un procedimiento para el control y manejo de la información del sistema de gestión.

4.1.2 Procedimiento y formularios para la cuantificación de gases de efecto invernadero

Este procedimiento describe cada una de las funciones del equipo de carbono neutro, tanto como para la realización de inventario de GEI, como para el seguimiento adecuado del sistema de gestión a implementarse. También se describe la manera en la que se debe recolectar la información de las distintas fuentes de emisión, así como el modo en el que se deben realizar los cálculos. Los procedimientos y formularios fueron los siguientes:

PO1-SGI-FRUCTA. Procedimiento para la cuantificación de gases de efecto invernadero.

FO1-SGI-FRUCTA. Formulario para la cuantificación de emisiones directas. Consumo de diésel (vehículos y planta).

FO2-SGI-FRUCTA. Formulario para la cuantificación de emisiones directas. Consumo búnker.

FO3-SGI-FRUCTA. Formulario para la cuantificación de emisiones directas. Lubricantes. (Vehículos).

FO4-SGI-FRUCTA. Formulario para la cuantificación de emisiones directas. Lubricantes. (Planta).

FO5-SGI-FRUCTA. Formulario para la cuantificación de emisiones directas. Aguas residuales.

FO6-SGI-FRUCTA. Formulario para la cuantificación de emisiones directas. Aguas residuales industriales.

FO7-SGI-FRUCTA. Formulario para la cuantificación de emisiones directas. Recarga aires acondicionados.

FO8-SGI-FRUCTA. Formulario para la cuantificación de emisiones directas. Recarga extintores.

FO9-SGI-FRUCTA. Formulario para la cuantificación de emisiones directas. Gas LPG.

FO10-SGI-FRUCTA. Formulario para la cuantificación de emisiones indirectas. Consumo de energía.

FO11-SGI-FRUCTA. Solicitud de acciones correctivas o preventivas.

FO12-SGI-FRUCTA. Formulario para la implementación de acciones de reducción.

FO13-SGI-FRUCTA. Formulario de asistencia a capacitaciones

4.1.3 Procedimiento para la cuantificación de remociones

En este procedimiento se describe la manera en la que se realizó el inventario de remociones, la manera en la que se recolectó la información de campo, cómo se realizó el análisis de los datos de campo y algunas recomendaciones a la hora de realizar este tipo de inventarios. El procedimiento generado fue el siguiente:

PO2-SGI-FRUCTA. Procedimiento para la cuantificación de remociones de CO₂.

4.1.4 Procedimiento para la implementación de acciones de reducción

Este procedimiento aborda la manera en la que se deben registrar las acciones de reducción que se implementarán en la empresa, así como la manera en la que se debe realizar el cálculo. El procedimiento generado fue el siguiente:

PO3-SGI-FRUCTA. Procedimiento para la implementación de acciones de reducción.

4.1.5 Procedimiento para la implementación de compensaciones de CO₂

Este procedimiento aborda la manera en la que se debe realizar la compra de créditos de carbono para la compensación de emisiones de CO₂. Por lo tanto, se generó el siguiente procedimiento:

PO4-SGI-FRUCTA. Procedimiento para la implementación de compensaciones de CO₂.

4.1.6 Procedimiento para la implementación de auditorías internas

El procedimiento de auditorías internas pretende describir el actuar de los auditores y de los auditados, ya que la planificación, coordinación, así como emisión de los informes correspondientes quedarán a cargo y a criterio de la Unidad de Auditoría Interna de la organización. Se ajustó el siguiente procedimiento:

PO5-SGI-FRUCTA. Procedimiento para la aplicación de auditorías internas.

4.1.7 Procedimiento para el manejo y control de la información del sistema de gestión

Se creó un procedimiento que pretende detallar la manera en la que se debe recopilar y manejar cada uno de los documentos generados en el proceso de carbono neutralidad. El documento generado fue el siguiente:

PO6-SGI-FRUCTA. Procedimiento para el control y manejo de la información del sistema de gestión.

4.1.8 Procedimiento para acciones preventivas y correctivas

Se creó un procedimiento que tiene como objetivo documentar, tomar acciones y dar seguimiento a estas, ya sean correctivas o preventivas cuando se presenten discrepancias sustanciales u oportunidades de mejora en el sistema de gestión. El documento creado fue el siguiente:

PO7-SGI-FRUCTA. Procedimiento para acciones preventivas y correctivas.

4.2 Inventario de GEI

Se cuantificó las emisiones de gases de efecto invernadero correspondiente al año 2018, con la finalidad de utilizar la información como base para elaborar la propuesta del plan de reducción.

En el cuadro 2, se muestra las emisiones de CO₂ totales para cada fuente de emisión.

Cuadro 2. Cantidad de tCO₂e emitido por cada fuente de emisión para el año 2018.

Fuente	Cantidad/ año	Unidad de medida	Emisiones en tCO ₂ para cada fuente			tCO ₂ e emitido/ año
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
Bunker	1 361 221,00	litros	4221,15	3,94	11,68	4 236,78
Diesel (vehículos)	19 511,00	litros	50,98	0,06	0,93	51,97
Diesel (planta)	10 552,00	litros	27,57	0,03	0,08	27,68
Gas LPG	1 805,30	litros	2,91	0,01	0,00	2,92
Lubricantes (vehículos)	319,675	litros	0,17			0,17
Lubricantes (planta)	2 603,86	litros	1,37			1,37
Aguas Residuales Industriales	16 536,15	kilogramos		17,36		17,36
Aguas Residuales	532,18	kilogramos		11,18		11,18
Extintores	213,19	kilogramos	0,21			0,21
Electricidad	8 598 134,00	kilowatts	651,43			651,43
Total			4 955,79	32,58	12,70	5 001,06

Del cuadro anterior se deriva que el total de emisiones directas e indirectas para el año 2018 es de 5001,06 tCO₂e, dato que se encuentra muy por encima a los reportados por Arguedas, 2012; Calderón, 2016; Vega, 2012; Vargas, 2012 y Villalta, 2017 quienes reportaron valores de 2541, 1356, 428; 33,5 y 148,437 tCO₂e respectivamente.

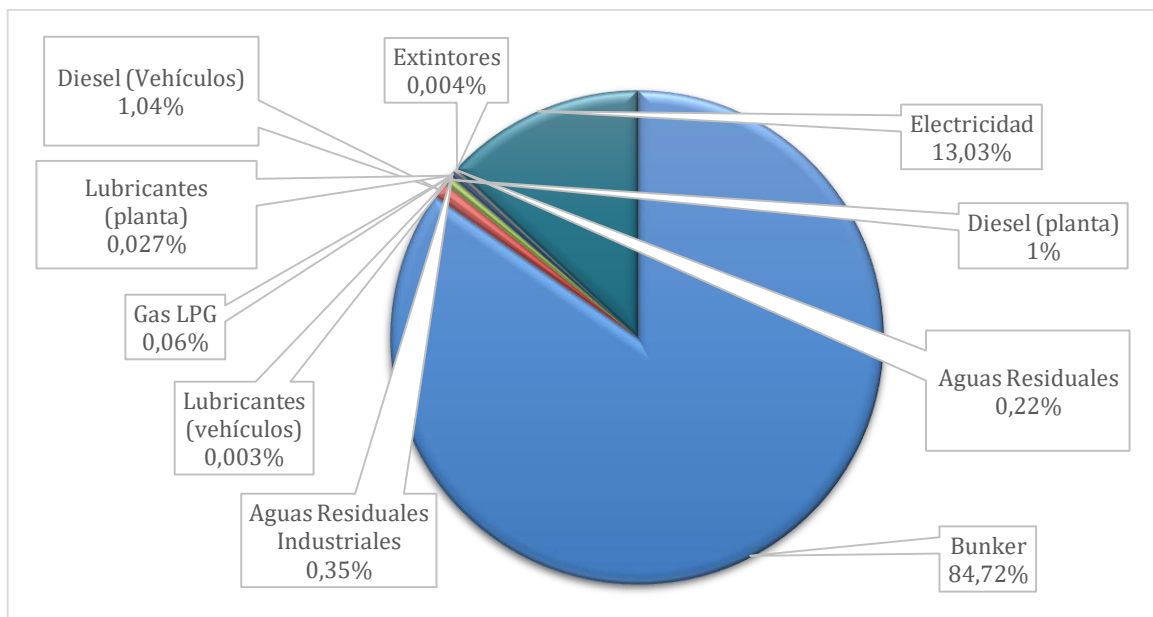


Figura 5. Porcentaje de tCO₂e emitido por cada fuente para el año 2018.

Las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del búnker constituyen el mayor aporte en el inventario, aportan 4 236,78 tCO₂e un equivalente del 85% del total de las emisiones (figura 5). La segunda fuente de mayor emisión es la electricidad, ya que genera 651,43 tCO₂e (13%). Estos resultados son razonables debido a que la empresa se dedica a la producción de la materia prima para la elaboración de jugos y otros productos, por lo tanto, consumen altas cantidades de litros de búnker y kWh de electricidad para mantener el flujo de producción.

Dentro de las fuentes que representan un menor aporte en el inventario (menos del 1%), están los lubricantes que se utilizan en el cambio de aceites de los vehículos y los extintores, los cuales emiten 0,17 y 0,21 tCO₂e respectivamente. Ambas actividades son poco frecuentes por lo tanto emiten un bajo porcentaje de emisiones.

4.3 Herramienta digital

Se desarrolló una herramienta digital que permite procesar la información del inventario de emisiones y remociones, así como la información de las acciones de

reducción y compensaciones implementadas por la empresa. A continuación, se adjunta algunas imágenes de la herramienta digital.

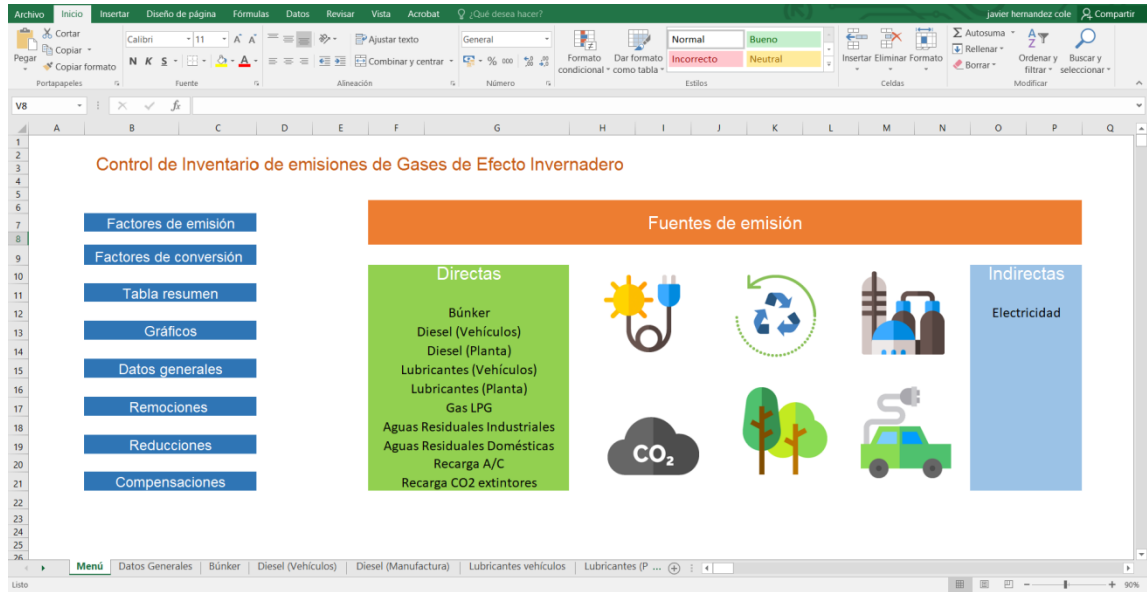


Figura 5. Interfaz del menú de la herramienta digital.

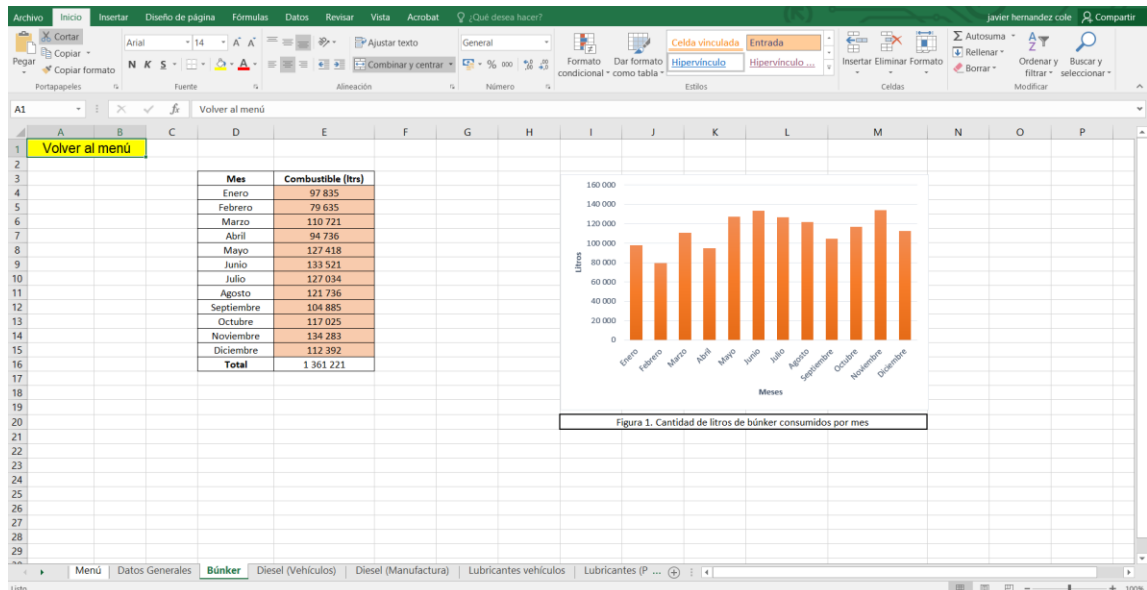


Figura 6. Interfaz de la pestaña de Búnker de la herramienta digital.

Tipo de emisión	Origen FE	Fuente	Actividad	Cantidad año	Unidad de medida	Factor	CO ₂			CH ₄			N ₂ O			TCO ₂ e emitido año
							Unidades factor	PCG	Factor	Unidades factor	PCG	Factor	Unidades factor	PCG		
Directas	IMN	Bunker	Generación vapor	136122,00	litros	3,101	kg CO ₂ /l combust	1	0,138	g CH ₄ /Lcombustible	21	0,02769	g N ₂ O/Lcombustible	310	4236,776	
		Vehículos		19511,00	litros	2,613	kg CO ₂ /l combust	1	0,149	g CH ₄ /Lcombustible	21	0,154	g N ₂ O/Lcombustible	310	52,975	
		Diesel	Manufactura		10951,00	litros	2,613	kg CO ₂ /l combust	1	0,122	g CH ₄ /Lcombustible	21	0,02442	g N ₂ O/Lcombustible	310	27,979
		Gas LPG	Calderas		1805,30	litros	1,611	kg CO ₂ /l combust	1	0,139	g CH ₄ /Lcombustible	21	0,002745	g N ₂ O/Lcombustible	310	2,915
		Acetes	Cambio de aceites		0,00028483	Gg	0,01145	Ton CO ₂ /Gg	1							0,368
		Acetes	Equipos planta		0,002320038	Gg	0,093285	Ton CO ₂ /Gg	1							1,368
		Agua Residuales Industriales	Industria		16536,14546	kg				0,05	kg CH ₄ /kg DOD	21				17,363
Agua Residuales	Consumo		532,18	kg			1	0,876	kg CH ₄ /kg DOD	21				11,176		
Indirecta	IPCC	Extintores	Recarga	213,19	kg			1							0,213	
		Aires acondicionados	Recarga		kg											
Indirecta	IMN	Electricidad	Consumo Energia	8639680,00	kWh	0,0754	kg CO ₂ e/kWh	1							651,432	

Figura 7. Interfaz de la tabla resumen de la herramienta digital.

La herramienta tiene como objetivo principal procesar los datos del inventario de emisiones, remociones, plan de reducción y compensaciones. Esta fue elaborada para que los miembros de la unidad de carbono neutro ingresen los datos y la herramienta realice los cálculos automáticamente. Las celdas fueron bloqueadas, a excepción de aquellas en las que se deben ingresar los datos, esto para evitar alteración de los mismos.

La herramienta está compuesta por una interfaz principal en la cual se puede acceder a las distintas fuentes de emisión (directa e indirecta por energía); las distintas hojas se llenan con los datos correspondientes al año de medición del inventario de GEI. También se tiene acceso directo a los factores de emisión, conversión utilizados en los diferentes cálculos. Asimismo, cuenta con una hoja de gráficos en la cual se ilustran los porcentajes de tCO₂e emitido por cada fuente de emisión. Por último, se tiene acceso a una hoja con el resumen del inventario de emisiones, al plan de reducción con su respectivo cálculo, a la cantidad de CO₂ removido de la atmósfera por parte del bosque secundario y la plantación de pilón, finalmente permite consultar la cantidad de carbono que se debe compensar (figura 5, 6 y 7).

4.4 Plan de reducción

La empresa FRUCTA Costa Rica S.A. cuenta con varias casas, apartamentos y cabinas dentro de sus instalaciones. Estos edificios para el año 2018 generaron un total de 41 546 kWh lo que representan 3,133 tCO₂e. La empresa durante el 2018 realizó varias mejoras en algunos de sus equipos para disminuir consumos y costos, dichas mejoras representaron un valor económico importante. Debido a esto se tomó la decisión de explorar la posibilidad de la instalación de paneles solares en dichos edificios. A continuación, se adjunta la propuesta del plan de reducción:

Estrategia de eficiencia energética.

La empresa Yuxta Energy fue la encargada de elaborar una propuesta para disminuir el consumo eléctrico en las casas, apartamentos y cabinas. La propuesta consiste en la instalación de 52 paneles solares (150 m²) cuyo costo inicial ronda los \$30 000. El plan propuesto por la empresa Yuxta Energy pretende reducir la cantidad de kWh de las dos casas que mayor electricidad consumen. El consumo anual es de 26 047 kWh, lo que representa aproximadamente el 62% del consumo eléctrico de todas las casas, apartamentos y cabinas y un 0,30% de la cantidad total de kWh producidos por la empresa. Con la implementación de este proyecto se reducirían 1,81 toneladas de CO₂ lo que equivale a 0,30% de la cantidad total de las emisiones generadas por el consumo eléctrico.

En términos económicos la empresa sin la implementación de paneles solares está cancelando anualmente alrededor de 4 millones de colones; con la implementación de los paneles solares se estarían ahorrando aproximadamente 290 mil colones mensuales (3 millones y medio de colones anuales) y durante 25 años (garantía del equipo) estarían ahorrando una cifra cercana a los 200 millones de colones (esta cifra supone un aumento en el costo de la electricidad del 5%).

Cuadro 3. Consumo energético y factura actual, generación de kWh pronosticada, nuevo consumo eléctrico y su factura correspondiente y el ahorro mensual con la implementación del sistema fotovoltaico Yuxta.

Mes	Consumo actual (kWh)	Factura actual (₡)	Generación (kWh)	Nuevo consumo (kWh)	Nueva factura (₡)	Ahorros generados (₡)
Enero	2 264	348 465	1 974	290	48 239	300 226
Febrero	2 532	393 137	2 012	520	75 966	317 171
Marzo	2 253	346 630	2 262	0	35 569	311 061
Abril	2 240	344 463	2 134	96	35 610	308 853
Mayo	2 111	322 961	2 052	59	32 351	290 610
Junio	2 500	387 803	1 901	599	85 871	301 932
Julio	2 118	324 127	1 834	284	45 203	278 924
Agosto	2 038	310 792	2 009	29	30 802	279 990
Septiembre	2 072	316 459	2 257	0	32 266	284 193
Octubre	1 958	297 457	2 179	0	30 186	267 276
Noviembre	2 013	306 625	1 685	0	31 186	275 276
Diciembre	1 948	295 791	1 759	110	33 960	261 831
Total	26 047	3 994 710	24 059	1 988	517 204	3 477 506

Fuente: Yuxta Energy.

4.5 Programa de formación y unidad carbono neutro

Se creó una unidad de carbono neutro compuesta por tres miembros del departamento de materias primas, así como un plan de formación para asegurarse que los miembros de esta unidad den un adecuado seguimiento al sistema de gestión.

El gerente del departamento será el coordinador de la unidad de carbono neutro, el coordinador de materias primas será el encargado de elaborar el inventario de GEI y, por último, el inspector de materias primas será el encargado del sistema de información. Las funciones de cada miembro de la unidad de carbono neutro se detallan a continuación:

I. Coordinador del equipo C-Neutro

- Coordinar las auditorías internas necesarias sobre el sistema de gestión de GEI.

- Velar por el adecuado funcionamiento y coordinar las revisiones periódicas del Sistema de Gestión de Gases de Efecto Invernadero.
- Gestionar anualmente las acciones de reducción y la elaboración del informe.
- Solicitar y coordinar los procesos de verificación con las entidades externas.
- Gestionar ante la alta gerencia la disponibilidad de recursos esenciales para el cumplimiento de los requisitos de la norma, incluyendo, los recursos humanos, desarrollo de habilidades y conocimientos en el equipo, así como los recursos financieros y tecnológicos para lograr la adecuada implementación y mantenimiento del sistema de gestión de información de GEI.
- Tramita la compra de las toneladas de dióxido de carbono cuando se tenga el dato de las emisiones, reducciones y compensaciones.

II. Encargado del inventario de emisiones de GEI

- Realizar una revisión anual de los límites y las fuentes de GEI para ver si es requerida alguna modificación.
- Ingresar los datos de manera oportuna a la plantilla utilizada para la cuantificación de emisiones y compensaciones.
- Elaborar y actualizar el inventario de emisiones de GEI, así como el inventario de compensaciones.
- Verificar de manera mensual que los datos obtenidos para el inventario de emisiones sean congruentes y estén completos.
- Revisar anualmente los factores de emisión, las metodologías de cuantificación y las fórmulas utilizadas para el levantamiento del inventario con el fin de analizar cualquier cambio.
- Realizar una propuesta de las posibles acciones de reducción que se podrían implementar en la empresa.

III. Encargado del Sistema de Gestión de GEI

- Documentar y dar seguimiento a las acciones preventivas y correctivas generadas como parte de la mejora del sistema, auditorías internas y verificaciones externas.
- Mantener la comunicación y sensibilización del personal en temas de carbono neutralidad.
- Mantener todos los documentos, registros y procedimientos del sistema.
- Dar seguimiento a los requerimientos de formación del equipo de carbono neutro.
- Documentar los registros de capacitación del personal.
- Mantener actualizadas todas las normas y documentos pertenecientes al proceso de carbono neutralidad.
- Mantener los registros de las verificaciones externas, auditorías internas, y de las revisiones anuales al plan de reducciones.
- Documentar las acciones de reducción en el Plan de Gestión de GEI y darle el debido seguimiento para su adecuada implementación.
- Comunicar al equipo sobre el cumplimiento/incumplimiento de los resultados obtenidos con su respectiva justificación en caso de un incumplimiento.

Para garantizar un adecuado funcionamiento del sistema de gestión, se realizó una propuesta de un programa de formación para la unidad de carbono neutro, el cual se detalla a continuación.

Cuadro 4. Programa de formación a implementar en la unidad de carbono neutro de la empresa FRUCTA Costa Rica S.A.

Tema	Modalidad	Método de divulgación	Fecha
1. Pasos para lograr la carbono neutralidad.	Charla	Correo	Julio
2. Normas INTE B5: 2016 “Programa País de la carbono neutralidad 2.0”	Charla	Correo	Julio
3. INTE 14064-1: “Gases de efecto invernadero. Parte 1.	Charla	Correo	Agosto
3.1. ¿Cómo elaborar un inventario de gases de efecto invernadero?	Charla	Correo	Agosto
4. Plan de acciones de reducción, compensaciones e informe de GEI.	Charla	Correo	Septiembre
5. Sistema de información y verificación de GEI	Charla	Correo	Septiembre
6. Sensibilización “Carbono Neutralidad”	Charla	Correo	Octubre

Para llenar los vacíos de información que poseen los miembros de la unidad en relación al proceso de carbono neutralidad y producto de los resultados del inventario de emisiones, se planteó los contenidos de las charlas que integran el programa de formación:

Charla: Pasos para lograr la carbono neutralidad

Tiene como enfoque capacitar a los miembros de la unidad de carbono acerca de los requisitos y pasos a seguir para alcanzar la carbono neutralidad.

Charla: Normas INTE B5: 2016 “Programa País de la carbono neutralidad 2.0”

Va dirigida a capacitar a la unidad acerca del programa país; cuáles son los objetivos del programa, los diferentes tipos de sellos de carbono neutralidad que existen y sus requisitos entre otros aspectos importantes.

Charla: INTE- 14064-1: “Gases de efecto invernadero. Parte 1: especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero” y Charla: ¿Cómo elaborar un inventario de gases de efecto invernadero?

Estas charlas están relacionadas, por lo tanto, se darán en conjunto. Sus objetivos son: capacitar a los miembros en la norma INTE 14064-1 la cuál es de gran importancia para elaborar los inventarios de GEI y remociones, así como su respectivo informe. Y capacitar a los miembros de la unidad acerca de la realización del inventario de GEI; cómo se realizan los cálculos, cuáles factores de emisión utilizar, entre otros aspectos relevantes.

Charla: Plan de acciones de reducción, compensaciones e informe de GEI

Con esta charla se capacitará en los temas de reducción, compensación y elaboración de un informe de GEI.

Charla: Sistema de información y verificación de GEI

Abarca los temas de sistemas de información y verificación, esto para procurar un adecuado seguimiento del sistema de gestión a aplicarse.

Charla: Sensibilización carbono neutro

Con esta temática se pretende capacitar en temas de sensibilización del proceso de carbono neutro, acá se pretenden tocar temas como: conciencia ambiental, acciones que se pueden hacer para seguir reduciendo emisiones, la importancia de llevar un adecuado manejo del sistema de gestión, entre otros semblantes importantes.

Cada charla tendrá un control de asistencia, dichos formularios de asistencia deberán ser archivados, con la finalidad de comprobar que los miembros de la unidad de carbono neutro fueron capacitados. El documento generado para llevar dicho control fue el siguiente:

FO13-SGI-FRUCTA. Formulario para el control de asistencia a capacitaciones.

Con la finalidad de dar seguimiento al plan de formación y asegurar el adecuado funcionamiento del sistema de gestión se aplicará el procedimiento: “PO7-SGI-FRUCTA. Procedimiento para acciones correctivas o preventivas”, a través de visitas periódicas mensuales para comprobar el funcionamiento del sistema de gestión.

4.6 Inventario de Remociones

La empresa FRUCTA Costa Rica S.A. realizó un inventario de remociones en el área de bosque secundario y en una plantación de pilón de su propiedad, para elaborar una línea base de remociones con la cual a futuro cuantificará los incrementos del CO₂ removido. A continuación, se presentan los resultados del inventario base de remociones.

4.6.1 Plantación de Pilón y Bosque secundario

Cuadro 5. Resumen de los promedios y error asociado al muestreo en el bosque secundario y la plantación de pilón. Siquirres, Costa Rica. 2019.

Estrato	Área Basal (m ² /ha)	E%	N/ha	E%	Volumen (m ³ /ha)	E%
Bosque Secundario	29,98	10,56	392	15,38	193,73	14,36
Plantación de pilón	39,65	11,36	139	-	-	-

Los resultados del bosque secundario comparados con los obtenidos en el Inventario Forestal Nacional de Costa Rica (Comité Director del Inventario Forestal Nacional, 2015) para la variable área basal, número de árboles y volumen por ha se obtuvo un error de muestreo superior, con valores de 8,8, 6,3 y 11,5 % respectivamente. Estas diferencias se pueden explicar por la cantidad de parcelas utilizadas en los proyectos (Chavarría *et al.* S.f.). El error de muestreo obtenido para el área basal del presente estudio se encuentra dentro de lo permitido, Vílchez (2002) indica que en la mayoría de países centroamericanos, la administración forestal del estado (AFE) exige un error

máximo permisible para el área basal entre 15% y 20% a un nivel de 95% de confiabilidad.

En cuanto a la plantación de pilón el error de muestreo del área basal dio como resultado 11,36 %, un error de muestreo similar al reportado por Víquez (2012) de 13,06 % para una plantación de pilón en las instalaciones de la EARTH. Este valor se considera un error de muestreo aceptable ya que la metodología INTE/DN 3:2016: Metodología para la cuantificación y reporte de remociones de gases de efecto invernadero producto de actividades forestales menciona que el error permitido para plantaciones forestales debe ser inferior al 20%.

Respecto a la acumulación de biomasa total en bosques secundarios, Brown & Lugo (1990) mencionan que pueden alcanzar valores de hasta 100 t/ha. En un estudio realizado por Ortíz & Kanninen (2000) indican que estos valores pueden alcanzar un máximo de 150 t/ha en edades de 20-35 años, este valor es similar al encontrado en el bosque secundario (16 años) ubicado en la empresa FRUCTA Costa Rica S.A. ya que se reportó un valor de 136,85 t/ha (cuadro 6).

Cuadro 6. Reservas de biomasa, carbono y CO₂ presentes en el bosque secundario y la plantación de Pilón. Siquirres, Costa Rica. 2019

Estratos	Biomasa Aérea*	Biomasa Subterránea*	Biomasa Total*	Carbono*	CO₂*
Bosque Secundario	117,30	19,55	136,85	64,32	235,85
Plantación de pilón	200,26	33,37	233,64	109,81	402,63

*estos valores son reportados en t/ha

Brown & Lugo (1992) reportan que algunos proyectos desarrollados entre 1950 e inicios de los 70's reportaron valores de entre 166 y 397 t/ha cuyo valor mínimo no se encuentra muy lejano al reportado en este inventario. Para finalizar, también se obtuvo un resultado similar al obtenido por Quesada (2011) quien reportó un valor promedio de 104,20 t/ha para un bosque secundario ubicado en la zona de vida bmh-p; zona de vida en la que se encuentra el bosque secundario analizado en el presente estudio.

Brown & Lugo (1992) resaltan que la historia de perturbación de cada sitio puede ser una fuente de variación para la acumulación de biomasa en los bosques secundarios. También mencionan que factores como: uso anterior de la tierra, el clima y la fertilidad del suelo son factores que definen el patrón de acumulación de biomasa en los bosques secundarios. Mientras que Vélchez, Chazdon & Milla (2008) indican que la biomasa en los bosques secundarios está directamente relacionada con la edad. Por último, Quesada (2011) menciona que las posibles diferencias están asociadas a la heterogeneidad en las especies, la estructura, composición y tipos de suelos presentes en los bosques.

En cuanto al valor de carbono y CO₂ se obtuvo resultados por encima a los reportados por Vargas (2013) 42,18 y 158,46 t/ha respectivamente. También, el valor de CO₂ fue levemente superior al reportado en un inventario Forestal Nacional de Costa Rica para bosques secundarios. (Comité Director del Inventario Forestal Nacional, 2015). Al comparar los valores de biomasa, carbono y CO₂, se debe considerar que la estimación del stock se ve afectada por la metodología empleada para realizar el estudio (García *et al.* 2004, citado por Rojas, M. 2012).

La plantación de pilón obtuvo una biomasa total de 233,64 t/ha, este valor está por encima al reportado por Fonseca *et al.* (2008) quienes reportaron un valor de 175,7 t/ha. En cuanto a la cantidad de carbono por hectárea, también se obtuvo un valor superior al reportado por Fonseca *et al.* (2008). Los valores de carbono y CO₂ se encuentran por encima a los 22,50 y 82,50 t/ha hallados por Vargas (2013) en una plantación de pilón ubicada en la zona sur de Costa Rica. Como se mencionó anteriormente, estas diferencias pueden darse por la metodología utilizada para la estimación de stock de carbono. Varios autores indican que el carbono en plantaciones forestales se relaciona con la intensidad del manejo aplicado, con la edad de la plantación, las condiciones ambientales del sitio, calidad del sitio y contenido inicial del carbono en el suelo (Segura & Kaninnen 2002; Prado, 2015).

En el cuadro 7 se muestran las especies que contaron con mayor cantidad de biomasa total, carbono y CO₂ almacenado para el bosque secundario dentro de la empresa.

Cuadro 7. Reservas de biomasa, carbono y CO₂ totales de las cuatro especies más representativas del bosque secundario. Siquirres, Costa Rica. 2019.

Especies	N° de individuos	Biomasa Aérea*	Biomasa Subterránea*	Biomasa Total*	Carbono*	CO₂*
<i>Dipteryx panamensis</i>	35	261,85	43,64	305,49	143,58	526,46
<i>Hevea brasiliensis</i>	41	234,25	39,04	273,29	128,45	470,97
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	41	247,23	41,21	288,44	135,57	497,07
<i>Terminalia amazonia</i>	29	442,91	73,82	516,72	242,86	890,48

*estos valores son reportados en t/ha

La especie *Terminalia amazonia* presenta menor cantidad de individuos; sin embargo, presenta los valores más altos de biomasa, carbono y CO₂ almacenado, mientras que las otras especies presentan valores muy similares entre sí. Dichas diferencias, como menciona Segura y Kaninnen (2002) pueden estar relacionadas al tipo de especie, ya que todas presentan un tipo de comportamiento distinto.

5. CONCLUSIONES

Se emitieron 5 001,06 tCO₂e; de las cuales el búnker y consumo eléctrico representaron la mayor cantidad de CO₂ emitido con 4 236,78 (85%) y 651,43 (13%) tCO₂e respectivamente. Mientras que las fuentes que menos CO₂ emitieron fueron los lubricantes (vehículos) y los extintores, 0,17 y 0,21 tCO₂e (menos del 1%) respectivamente.

Se elaboró un programa de formación para la unidad de carbono neutro, el cual abarca siete temas que pretenden cubrir vacíos de información en el personal y procurar un adecuado funcionamiento del sistema de gestión.

Las especies que mayor CO₂/ha almacenaron en el bosque secundario fueron: *Terminalia amazonia*, *Dipteryx panamensis*, *Hyeronima alchorneoides* y *Hevea brasiliensis* con valores de 890,48, 526,46, 497,07 y 470,97tCO₂/ha respectivamente.

Los errores de muestreo obtenidos, en el inventario de bosque secundario y la plantación de pilón fueron de 10,56 y 11,36 % respectivamente; valores que cumplen con los valores mínimos permitidos.

El diseño de la herramienta digital permitirá a los miembros de la unidad de carbono neutro procesar los datos de los inventarios de emisiones y remociones de una manera automática y eficiente.

Producto de la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero, al ser la electricidad la segunda fuente que mayor CO₂ emitió, la empresa FRUCTA Costa Rica S.A., valoró la posibilidad de utilizar paneles solares en las casas.

6. RECOMENDACIONES

La empresa FRUCTA Costa Rica S.A. realizó una serie de mejoras en los equipos de búnker, lagunas de tratamiento y electricidad; dichas mejoras representaron un costo económico muy fuerte por lo que se recomienda elaborar una carta al OVV para que dichos proyectos se tomen en cuenta durante los próximos cinco años en el apartado de reducción de emisiones de GEI.

Para asegurar una correcta capacitación de los miembros de la unidad de carbono neutro se recomienda contratar una persona con amplia experiencia en el proceso de carbono neutralidad para que brinde las diferentes charlas.

Se recomienda reforestar aquellas áreas que así lo permitan con especies que posean incrementos de ton CO₂/año elevado, con la finalidad de compensar más emisiones de CO₂.

7. REFERENCIAS

- Arce, H & Barrantes, A. (2006). La madera en Costa Rica. Situación y perspectivas. Recuperado de <https://www.onfcr.org/media/uploads/documents/madera-en-costa-rica-situacion-actual-y-perspectivas-2006.pdf>
- Arguedas, M. (2012). La huella de carbono del Instituto Tecnológico de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9(22), 51-59.
- Brown, S; Lugo, A E. (1990). Tropical Secondary Forest. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/216810451_Tropical_Secondary_Forest
- Brown, S; Lugo, A E. (1992). Aboveground Biomass estimates for tropical moist forest of the brazilian amazon. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/305348793_Aboveground_biomass_estimates_for_tropical_moist_forest_of_the_Brazilian_amazon
- Calderón, E. (2016). Diseño del sistema de gestión para demostrar la Carbono Neutralidad del Centro de Acopio la Sylvia. Recuperado de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6456>
- Calvo, A. (2015). Análisis de la restricción a la cosecha del Almendro Amarillo (*Dipteryx panamensis*). Recuperado de <https://onfcr.org/media/uploads/documents/la-restriccion-a-la-corta-del-almendro-amarillo.pdf>
- Calvo, J; Arias, D & Arroyo, P. (1997). Adaptabilidad inicial de 27 especies forestales en el Valle del Térraba. En: Memoria del III Congreso Forestal Nacional. San José. Costa Rica. p 112-113.
- Carvajal, M., Mota, C., Alcaraz, C., & Iglesias, M. (2014). Investigación sobre la absorción de CO2 por los cultivos más representativos. Recuperado de http://cambioclimaticomurcia.carm.es/pdfs/lessco2/ponencia_cisc_espanol.pdf
- Chamorro, S. (2016). La importancia de contar con buenos sistemas de gestión de calidad. Planeta Formación y Universidades. Deusto Formación. Recuperado

de <https://www.deustoformacion.com/blog/gestion-empresas/importancia-contar-con-buenos-sistemas-gestion-calidad>

Chavarría, M; Castillo, M; Duarte, E; Emanuelli, P; Jimenez, A & Milla, F. (s.f.). Primera Aproximación en Base a Resultados de las Fases I y II del INF de Costa Rica. Recuperado de http://www.sirefor.go.cr/?wpfb_dl=10

Comité Director del Inventario Forestal Nacional. (2015). Inventario Forestal Nacional de Costa Rica. Avance de Resultados. Recuperado de http://www.sirefor.go.cr/wp-content/uploads/2015/07/AvancesResultadosIFN_CostaRica.pdf

Corrales, L. (2017). Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible 2017. Cambio climático: Impactos y desafíos para Costa Rica. Recuperado de https://estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/023/Ambientales/Corrales_L_2017a.pdf

Corrales, M & Roque, M. (2003). *Hieronyma alchorneoides* en Costa Rica. Recuperado de http://www.sirefor.go.cr/Documentos/Especies_plantaciones/HIERONYMA%20ALCHORNEOIDES/Manual%20Hieronyma%20alchornoides.pdf

Dirección de Cambio Climático. (2018). Programa País Carbono Neutralidad 2.0. Recuperado de http://cambioclimaticocr.com/recursos/1_PPCN_Organizacional_2.pdf

DNV.GL. (2018). ¿Por qué implantar un sistema de gestión?. Recuperado de <https://www.dnvgl.es/assurance/Management-Systems/why-management-system-certification.html>

Emprende pyme. (2016). Sistemas de gestión de calidad. Disponible en <https://www.emprendepyme.net/sistemas-de-gestion-de-calidad.html>

Escuela Europea de Enseñanza (2014). ISO 14001: ¿En qué se basa un Sistema de Gestión Ambiental? Recuperado de <https://www.nueva-iso->

14001.com/2014/11/iso-14001-en-que-se-basa-un-sistema-de-gestion-ambiental/

EXCELTOTAL. (2018). ¿Qué es Excel? Recuperado de <https://exceltotal.com/que-es-excel/>

FAO. (2015). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i4808s.pdf>

FONAFIFO. (2018). Producto: Unidades de Compensación de GEI. Recuperado de: <http://www.fonafifo.go.cr/inversiones/ucc.html>

Fonseca, W., Alice, F., Montero, J., Toruño, H., & Leblanc, H. (2008). Acumulación de biomasa y carbono en bosques secundarios y plantaciones forestales de *Vochysia guatemalensis* e *Hieronyma alchorneoides* en el Caribe de Costa Rica. Recuperado de http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/5742/Acumulacion_de_biomasa_y_carbono.pdf?sequence=1

Fonseca, W., Herrera, J., & Alice, F. (2014). Desafíos nacionales en materia de métricas de cara a la meta costarricense de alcanzar la carbono-neutralidad en el 2021. *Revista de Ciencias Ambientales*, 47(1), 16-31. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5536216>

Fraguela, J, Carral, L., Iglesias, G., Castro, A., & Rodríguez, M. (2011). La integración de los sistemas de gestión. Necesidad de una nueva cultura empresarial. *Dyna*, 78(167). Recuperado de <http://www.redalyc.org/html/496/49622358005/>

Gamboa Badilla, N. (2008). Regeneración natural de *Dipteryx panamensis* (Pitier) Record en fragmentos de bosque, Sarapiquí, Costa Rica. Tesis M.Sc. UNED. 123 p.

Garza J. (2018). Costa Rica lanza nuevo programa para alcanzar carbono neutralidad. Recuperado de <https://www.larepublica.net/noticia/costa-rica-lanza-nuevo-programa-para-alcanzar-carbono-neutralidad>

- Gómez, J., Murrell, M., Vetrani, K., & Bermúdez, L. (2016). Propuesta de plan de acciones para alcanzar la carbono-neutralidad en la Cruz Roja Costarricense del Comité Auxiliar en San Vito. *Revista de Ciencias Ambientales*, 49(2), 25.
- Green facts. (2019). Gas de Efecto Invernadero. Recuperado de <https://www.greenfacts.org/es/glosario/ghi/gas-efecto-invernadero.htm>
- Hernández, R. F., Ramos, N. R., & Jiménez, S. B. (2014). Estimación de Huella de Carbono de la Municipalidad de Barva (2010). *Revista Pensamiento Actual-Vol*, 14(23).
- INDER. (2015). Caracterización del territorio Siquirres-Guácimo. Recuperado de https://www.inder.go.cr/territorios_inder/region_huetar_caribe/caracterizaciones/Caracterizacion-Siquirres-Guacimo.pdf
- INTECO. (2016). Norma nacional para demostrar la C-Neutralidad. Requisitos. INTECO B5:2016. San José, Costa Rica.
- INTECO. (2018). Norma Nacional para demostrar la carbono neutralidad. Requisitos. Recuperado de <https://www.inteco.org/shop/product/inte-b5-2016-norma-para-demostrar-la-carbono-neutralidad-requisitos-163?search=B5>
- Jiménez, E., & Landeta, A. (2006). Producción de biomasa y fijación de carbono en plantaciones de teca (*Tectona grandis* Linn F.) Campus Prosperina–ESPOL. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/E_Jimenez/publication/28795953_Produccion_De_Biomasa_Y_Fijacion_De_Carbono_En_Plantaciones_De_Teca_Tectona_Grandis_Linn_F_Campus_Prospalina_-_Espol/links/5567191908aefcb861d3807f.pdf
- Prado, J. (2015). Plantaciones Forestales. Más allá de los árboles. Santiago, Chile. Colegio de Ingenieros Forestales.1 edición. Recuperado de http://www.corma.cl/_file/material/plantaciones-forestales-mas-alla-de-los-arboles_-j.pdf

- Rojas, J. (2012). El camino oficial hacia la carbono neutralidad para las empresas en Costa Rica. Recuperado de http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion_207_03091_2_es.pdf
- Rojas, M. (2012). Almacenamiento de carbono en plantaciones forestales del proyecto hidroeléctrico Cachí. Tesis Lic. Universidad Nacional, CR. 65p.
- Russo, R. (2010). Neutralidad del Carbono: Un camino hacia el 2021. [diapositivas de PowerPoint]. Recuperado de <http://www.sidalc.net/repdoc/A11395e/A11395e.pdf>
- MINAE (2018). Programa País de la Carbono Neutralidad. Recuperado de <https://cambioclimatico.go.cr/metas/descarbonizacion/>
- [MIT-MUT]. (2007). Beneficios del sistema de gestión. [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=TNBL29zsAdo>
- Naranjo, J. (2015). Sistemas de Gestión: Valor estratégico de las organizaciones. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://blog.seidor.com/infraestructura/sistemas-de-gestion-valor-estrategico-de-las-organizaciones/>
- Ortiz, R; Kanninen, M. (2000). Evaluación económica del servicio de sumidero de carbono en diferentes ecosistemas forestales. Disponible en http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/chacon_et_al._2007_-_fijacion_de_carbono_en_un_bosque_secundario_de_la_region_tropical_humeda_de_costa_rica.pdf
- Quesada, C. A. (2011). Análisis y comparación de la biomasa aérea de la cobertura forestal según zona de vida y tipo de bosque para Costa Rica. Recuperado de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3005/Informe_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Sánchez, A. (2007). Paz con la naturaleza. La Nación. Recuperado de <https://www.nacion.com/opinion/paz-con-la-naturaleza/QKKFXDLLGNB6HKXBLPHAZTDAOQ/story/#>
- Schneider, H., & Samaniego, J. (2009). La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3753/S2009834_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Segura, M.M., Kanninen, M. (2002). Inventario para estimar carbono en ecosistemas forestales. Cap. 8. In Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Edit. Lorena Orozco y Cecilia Brumer. CATIE, Serie Técnica, Manual Técnico No 50. 173-212 pp.
- SIREFOR (Sistema de Información de Recursos Forestales). (2013). http://www.sirefor.go.cr/?page_id=836.
- Torres, G; Luján, R y Barca, S. A. (2002). Especies forestales nativas para la reforestación en las regiones Brunca y Pacífico Central de Costa Rica. En: Taller seminario de especies forestales nativas. Universidad Nacional, INISEFOR. Heredia, Costa Rica. 160 p.
- Vargas, A. (2013). Remociones de CO₂ en bosques y plantaciones forestales, Corporación de Desarrollo Agrícola Del Monte S.A. División Pindeco, Buenos Aires, Puntarenas, Costa Rica. Recuperado de <http://repositorio.conicit.go.cr:8080/xmlui/handle/123456789/95>
- Vargas, L. (2014). Sistema de gestión para alcanzar la c-neutralidad del colegio de ingenieros agrónomos de Costa Rica, Sede Central. Recuperado de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/3293>

- Vega, T. (2012). Elaboración del manual de gestión de la empresa Eaton Electrical SA para optar por la declaratoria de Carbono Neutral. Recuperado de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/3071>
- Vílchez, B; Chazdon, R; Milla, V. 2008. Dinámica de la regeneración en cuatro bosques secundarios tropicales de la región Huetar Norte, Costa Rica Su valor para la conservación o uso comercial. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/305115404 Dinamica de la regeneracion en cuatro bosques secundarios tropicales de la region Huetar Norte Costa Rica Su valor para la conservacion o uso comercial](https://www.researchgate.net/publication/305115404_Dinamica_de_la_regeneracion_en_cuatro_bosques_secundarios_tropicales_de_la_region_Huetar_Norte_Costa_Rica_Su_valor_para_la_conservacion_o_uso_comercial)
- Vílchez, L. O. (2002). *Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central* (No. 50). CATIE. Recuperado de [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2600/Inventarios forestales para bosques latifoliados.pdf](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2600/Inventarios_forestales_para_bosques_latifoliados.pdf)
- Viquez, E. (2012). Evaluación de la calidad, fijación de carbono y estado del manejo silvicultural en plantaciones forestales en la Universidad Earth, Guácimo, Limón. Recuperado de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3118/evaluacion_calidad_fijacion_carbono_estado_manejo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Villalta, B. (2017). Diseño de un sistema de Gestión en la Contraloría General de la República para lograr la Carbono Neutralidad. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Cota Rica. Recuperado de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9384>

8. ANEXOS

Anexo 1. Resumen del área basal y CO₂ equivalente por hectárea para 27 parcelas establecidas en la plantación de pilón.

Parcela	A. Basal (m ² /ha)	CO ₂ eqv (ton/ha)
1	34,21	297,15
2	26,60	250,32
3	61,93	672,40
4	13,46	97,43
5	24,81	233,41
6	22,40	210,73
7	39,37	427,43
8	30,19	327,78
9	34,63	375,96
10	17,20	149,41
11	53,33	540,37
12	70,58	766,33
13	22,90	215,50
14	42,31	459,40
15	73,29	742,66
16	79,80	924,16
17	59,99	651,36
18	26,24	265,88
19	47,78	518,79
20	50,27	436,59
21	24,45	212,40
22	35,26	357,26
23	20,27	176,04
24	37,18	376,72
25	35,05	304,40
26	42,31	428,77
27	44,65	452,46

Anexo 2. Resumen del área basal y CO₂ equivalente por hectárea para 17 parcelas establecidas en los proyectos de reforestación.

Parcela	Área basal (m²/ha)	CO₂ eqv (ton/ha)
1	37,80	486,96
2	23,36	177,02
3	36,02	370,83
4	30,47	263,03
5	34,59	269,13
6	23,84	71,27
7	31,28	117,07
8	39,34	223,97
9	24,30	248,99
10	23,68	211,49
11	22,56	296,03
12	43,05	107,73
14	31,55	288,41
15	27,95	186,76
16	25,74	160,99
17	25,32	156,40
19	28,77	236,02