

UNIVERSIDAD PARA LA COOPERACION INTERNACIONAL  
(UCI)

ESTIMACIÓN DE LA FIJACIÓN DE CARBONO EN PLANTAS DE PIÑA MD-2  
SEMBRADAS POR BASAL EN FRUITPOINT, VENECIA, COSTA RICA



ZANNYA CÓRDOBA UMAÑA

PROYECTO FINAL DE GRADUACION PRESENTADO COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA OPTAR POR EL TITULO DE MASTER EN LIDERAZGO Y  
GERENCIA AMBIENTAL.

San José, Costa Rica

Setiembre, 2025

UNIVERSIDAD PARA LA COOPERACION INTERNACIONAL  
(UCI)

Este Proyecto Final de Graduación fue aprobado por la Universidad como  
Requisito parcial para optar al grado de Máster en (Nombre de la Maestría)

---

Mariano Barrantes Núñez  
PROFESOR TUTOR

---

Carlos Manuel Hernández Hernández  
LECTOR No.1

---

Luis Diego Gamboa Picado  
LECTOR No.2

---

Zannya Córdoba Umaña  
SUSTENTANTE

## **DEDICATORIA**

A un poder superior que me sostuvo de principio a fin. A mi esposo, quién fue guía, refugio y soporte durante este proceso, a mis hijos Franko y Alfredo, por su paciencia y motivación en cada momento de debilidad. A mi madre y padre quienes siempre han creído en mi valor y capacidad como persona, estudiante y profesional. A mis hermanos (as), mis sobrinos (as) y amistades por ser comprensivos y disculpar mi ausencia en reiteradas ocasiones.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco profundamente al Ing. Forestal Harold Viquez Zamora, por su apoyo técnico y acompañamiento en las labores en campo, a mi tutor Mariano por su guía académica, a Fruitpoint; especialmente a Don Lorenzo propietario de la organización y a Evelyn Gerente de Sistemas de Gestión y Salud Ocupacional por su buena atención y entrega oportuna de información.

A mis profesores durante toda la maestría quienes no tuvieron límites en transmitir sus conocimientos, a mis compañeros por compartir cada clase y actividad grupal con la mejor actitud, y agradezco a la vida porque dentro de la modalidad virtual logré conectar y crear un vínculo de amistad con Manu, Meli y Andy.

## RESUMEN

### Abstract (Versión español)

Esta investigación estima la fijación de carbono en plantas de piña *Ananas comosus* variedad MD-2 sembradas por basal en la finca Fruitpoint, Venecia, Costa Rica, con el fin de generar un valor de referencia útil para la gestión del balance de carbono de la finca. El estudio surge ante la necesidad del sector agrícola de contar con datos demostrables sobre su aporte a la mitigación del cambio climático.

La metodología incluyó muestreos de campo para determinar la biomasa de plantas hijas y adultas, análisis de laboratorio para obtener la fracción de carbono y la aplicación del método de diferencia de existencias para calcular la captura de CO<sub>2</sub> durante el ciclo productivo. Se emplearon parámetros estadísticos para asegurar precisión en los datos. Los resultados muestran que la piña MD-2 fija una cantidad promedio de 201,38 tCO<sub>2</sub>, superando en algunos casos las emisiones generadas en el cultivo. Aunque esta fijación es temporal, aporta significativamente al balance de GEI y establece una línea base científica para el sector piñero.

**Palabras claves:** Fijación de dióxido de carbono, Biomasa aérea, Piña MD-2, Gases de efecto invernadero (GEI), Balance de carbono, Diferencia de existencias

### Abstract (English version)

This study estimates carbon fixation in *Ananas comosus* (MD-2 pineapple) plants grown from basal slips at Fruitpoint Farm, Venecia, Costa Rica, aiming to provide a reference value useful for carbon balance management. The research responds to the agricultural sector's need for verifiable data regarding its contribution to climate change mitigation. The methodology included field sampling to determine biomass in both juvenile and adult plants, laboratory analysis to quantify carbon fraction, and the application of the stock-difference method to calculate CO<sub>2</sub> uptake throughout the production cycle. Statistical parameters were used to ensure accuracy in biomass estimates.

The results show that MD-2 pineapple sequesters an average of 201.38 tCO<sub>2</sub>, in some cases surpassing the emissions generated by the crop. Although this sequestration is temporary, it contributes significantly to the GHG balance and establishes a scientific baseline for the pineapple sector.

**Keywords:** Carbon sequestration, Carbon dioxide fixation, MD-2 pineapple, Greenhouse gases (GHG), Carbon balance, Stock-difference method

## INDICE

HOJA DE APROBACION	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ABSTRACT	v
INDICE	vi
INDICE FIGURAS	viii
INDICE CUADROS	ix
INDICE DE ABREVIACIONES	x
RESUMEN EJECUTIVO	xiii
1 INTRODUCCION .....	15
1.1 Antecedentes.....	15
1.2 Problemática.....	18
1.3 Justificación del problema .....	19
1.4 Supuestos .....	21
1.5 Restricciones.....	21
1.6 Objetivo general.....	21
1.7 Objetivos específicos.....	22
2 MARCO TEORICO.....	23
2.1 Marco referencial o institucional .....	23
2.2 Antecedentes de la Institución .....	23
2.3 Misión y visión .....	24

2.4	Productos que ofrece.....	25
2.5	Otra teoría propia del tema de interés.....	27
2.6	Conceptos y definiciones.....	27
2.7	Piña y la relación con GEI.....	34
3	MARCO METODOLOGICO.....	45
3.1	Fuentes de información.....	45
3.2	Técnicas de Investigación.....	47
3.3	Método de Investigación.....	47
4	DESARROLLO.....	49
5	CONCLUSIONES.....	70
6	RECOMENDACIONES.....	72
7	BIBLIOGRAFIA.....	74
8	ANEXOS.....	85
	Anexo 1: ACTA DEL PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN.....	85
	Anexo 2: Estructura de trabajo.....	90
	Anexo 3: Cronograma del PFG.....	91
	Anexo 4: Hoja de datos para cálculo de fijación de CO <sub>2</sub> .....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de Fruitpoint, Venecia de San Carlos, Costa Rica, fuente Google maps .....	24
Figura 2 Ensilado como subproducto.....	25
Figura 3 Piña empacada para exportación .....	26
Figura 4 Selección sistemática de plantas de <i>Ananas comosus</i> para pesaje .....	50
Figura 5 Preparación de muestras para el pesaje .....	51
Figura 6 Distribución de bloques en el lote 4, área plantada y cantidad de individuos .....	52
Figura 7 Pesaje de muestra con balanza digital .....	54
Figura 8 Ecuación Método de diferencia de existencias.....	55
Figura 9 Fracción de Carbono.....	56
Figura 10 Fijación de tCO <sub>2</sub> e/ha/lote.....	60
Figura 11 Fórmula general de cálculo de emisiones de GEI .....	65
Figura 12 tCO <sub>2</sub> e/ha/año en reincorporación de rastrojo verde .....	67
Figura 13 tCO <sub>2</sub> e/ha/año con 19% reincorporación de rastrojo verde.....	68

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Fuentes de información.....	46
Cuadro 2 Periodo de crecimiento de plantas de piña hasta la primera cosecha.....	57
Cuadro 3 Fijación de carbono por planta.....	58
Cuadro 4 Cantidad de plantas de piña a considerar en la remoción .....	58
Cuadro 5 Resumen de la fijación de tCO <sub>2</sub> /ha y por tipo de semilla.....	59
Cuadro 6 Estadísticos de semilla GP .....	60
Cuadro 8 Datos de consumo por fuente de emisión.....	63
Cuadro 9 Densidad de combustibles.....	64
Cuadro 10 Fórmula para cálculo de volumen.....	64
Cuadro 11 Datos de consumo por fuente de emisión modificados.....	64
Cuadro 13 Emisiones de GEI en tCO <sub>2</sub> /ha/año por fuente .....	66
Cuadro 14 Emisiones de GEI en tCO <sub>2</sub> /ha/año por fuente a un 19% de rastrojo verde .....	67

## INDICE DE ABREVIACIONES

**AFOLU** – Agriculture, Forestry and Other Land Use. Categoría del IPCC que comprende agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra.

**CAM** – Crassulacean Acid Metabolism. Tipo de metabolismo fotosintético característico de plantas adaptadas a sequía.

**CH<sub>4</sub>** – Metano. Gas de efecto invernadero de origen biogénico y antropogénico.

**CO** – Monóxido de carbono. Gas indirecto que actúa como precursor de ozono troposférico.

**CO<sub>2</sub>** – Dióxido de carbono. Principal gas de efecto invernadero antropogénico.

**CV** – Coeficiente de variación. Relación entre la desviación estándar y la media.

**EDT** – Estructura de Desglose del Trabajo. Herramienta de planificación de proyectos.

**EPA** – Environmental Protection Agency. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

**GEI** – Gases de efecto invernadero. Compuestos que absorben y emiten radiación infrarroja.

**GMP** – Gran Material de Propagación. Clasificación interna del tipo de semilla utilizada.

**GP** – Gran Propagación. Categoría interna del tipo de semilla utilizada.

**HFC** – Hidrofluorocarbonos. Familia de gases fluorados de uso industrial.

**IMN** – Instituto Meteorológico Nacional. Entidad responsable de datos climáticos en Costa Rica.

**IPCC** – Intergovernmental Panel on Climate Change. Organismo científico internacional sobre cambio climático.

**MINAE** – Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica. Entidad gubernamental ambiental.

**N** – Población total utilizada en el análisis estadístico.

**n** – Tamaño de la muestra utilizada en el análisis estadístico.

**N<sub>2</sub>O** – Óxido nitroso. Gas de efecto invernadero derivado principalmente de la fertilización nitrogenada.

**O<sub>3</sub>** – Ozono. Gas de la atmósfera, directo o indirecto dependiendo del contexto.

**ONU** – Organización de las Naciones Unidas. Institución internacional que impulsa acuerdos ambientales.

**PFC** – Perfluorocarbonos. Familia de gases fluorados con alto potencial de calentamiento global.

**PFG** – Proyecto Final de Graduación. Documento académico requerido para titulación.

**RECOPE** – Refinadora Costarricense de Petróleo. Entidad encargada de combustibles en Costa Rica.

**SF<sub>6</sub>** – Hexafluoruro de azufre. Gas fluorinado con uno de los mayores potenciales de calentamiento global.

**SIG** – Sistemas de Información Geográfica. Herramientas para análisis espacial.

**SINAC** – Sistema Nacional de Áreas de Conservación. Institución responsable de la gestión territorial en Costa Rica.

**tCO<sub>2e</sub>** – Toneladas de dióxido de carbono equivalente. Unidad métrica para comparar efectos climáticos de distintos GEI.

## RESUMEN EJECUTIVO

El cambio climático es uno de los principales desafíos en materia ambiental de carácter global, dado por el aumento de gases de efecto invernadero (GEI) derivados de forma natural pero intensificado por las actividades humanas. A raíz de acuerdos internacionales como el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París, países como Costa Rica han asumido compromisos para reducir emisiones y alcanzar la carbono neutralidad al 2050. El sector agrícola juega un papel clave tanto en la generación como en la absorción de carbono, y dentro de este, el cultivo de piña (*Ananas comosus*) destaca por su relevancia económica a nivel de país y la creciente demanda a nivel internacional.

A nivel mundial, la piña costarricense es reconocida por su calidad, pero se encuentra bajo la mirada de los mercados internacionales, que demandan estándares de producción sostenible y responsable con el ambiente. En este sentido, surge la necesidad de contar con datos científicos que demuestren la capacidad de la planta de piña para capturar dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) durante su ciclo productivo. Esta información es vital tanto para las empresas exportadoras como para las estrategias nacionales de descarbonización.

La investigación titulada “*Estimación de la fijación de carbono en plantas de piña MD-2 sembradas por basal en Fruitpoint, Venecia, Costa Rica*” se desarrolló con el propósito de determinar la cantidad de CO<sub>2</sub> que una planta de piña fija durante su ciclo productivo. Este estudio busca generar un valor de referencia verificable que contribuya al balance de carbono de la finca Fruitpoint y sirva como base para el sector piñero nacional.

El objetivo general fue cuantificar la fijación de carbono en plantas de piña MD-2 sembradas por basal, mientras que los objetivos específicos incluyeron: analizar el proceso productivo de la finca, determinar la fracción de carbono en las plantas mediante análisis foliar y de tallo, y estimar la capacidad de captura de carbono durante el ciclo de crecimiento hasta la primera cosecha.

La metodología se basó en un enfoque cuantitativo y exploratorio, con mediciones directas en campo y análisis de laboratorio. Se tomaron 160 plantas distribuidas en dos lotes (semillas de 250 g y 350 g), se determinó la biomasa verde, y se analizó la fracción de carbono (43,36 %). Con estos datos se aplicó la ecuación de diferencia de existencias para estimar la cantidad de CO<sub>2</sub> fijado por hectárea. Al tiempo, se elaboró un inventario teórico de emisiones considerando el uso de combustibles, fertilizantes, encalado, labranza y manejo del rastrojo, con factores de emisión del IPCC y el Instituto Meteorológico Nacional.

Los resultados principales demostraron que una hectárea de piña fija en promedio 201,38 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (tCO<sub>2</sub>e) hasta la primera cosecha. Las semillas más grandes (350 g) alcanzaron una fijación de 218,37 tCO<sub>2</sub>e/ha, mientras que las de 250 g registraron 184,38 tCO<sub>2</sub>e/ha. En cuanto a las emisiones, el inventario totalizó 33,11 tCO<sub>2</sub>e/ha/año en un escenario convencional, pero se redujo a 8,69 tCO<sub>2</sub>e/ha/año en Fruitpoint, gracias al aprovechamiento del rastrojo para la producción de ensilado. Esto evidencia que la fijación

de carbono supera ampliamente las emisiones generadas, con un saldo positivo de 191 tCO<sub>2</sub>e/ha.

Como conclusiones relevantes, el estudio confirma que el cultivo de piña tiene un alto potencial de captura temporal de carbono, lo que representa una oportunidad para fortalecer la imagen ambiental del país y del sector exportador. Asimismo, demuestra que el manejo sostenible del rastrojo puede reducir de forma significativa las emisiones y mejorar el balance de carbono. Aunque la fijación no es permanente, su aporte dentro del periodo productivo es relevante para entender el comportamiento en el ciclo de vida de la planta.

Entre las recomendaciones principales, se sugiere ampliar el análisis a la segunda cosecha para cubrir el ciclo completo del cultivo, utilizar datos reales de consumo en cada finca para mejorar la precisión de los inventarios, incorporar el análisis de emisiones del ensilado como subproducto, y fomentar el uso de fertilizantes de lenta liberación o de base orgánica, junto con prácticas de manejo que aumenten la captura de carbono en diferentes sumideros.

En síntesis, esta investigación ofrece un aporte categorizado como científico para el sector piñero costarricense, evidenciando que la piña MD-2 no solo es un motor económico, sino también un aliado ambiental que puede contribuir activamente al balance de carbono y a un sector agrícola con prácticas sostenibles integradas.

## 1 INTRODUCCION

### 1.1 Antecedentes

Históricamente dentro de su ciclo natural, el Planeta Tierra ha sufrido cambios climáticos de forma casi imperceptibles, sin embargo, las actividades productivas antropogénicas han intensificado la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) que existían con normalidad en la atmósfera, según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos “como resultado de las actividades humanas, estos gases están entrando en la atmósfera más rápidamente de lo que se eliminan de ella” (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [EPA], 2025).

Al detectarse estas anomalías se dieron las primeras intervenciones en términos ambientales como fue la Conferencia de Estocolmo por su parte, con mayor énfasis en cambio climático la “Conferencia Mundial sobre el Clima” celebrada en 1990, posterior, se dieron una serie de actividades más específicas como el Protocolo de Kioto, el Acuerdo París y otros convenios mundiales. (Naciones Unidas, 2007)

Los países cuya firma se encuentren en estos acuerdos tienen el deber y compromiso de guiar a las organizaciones para hacer una gestión apropiada de sus GEI, en Costa Rica y otras partes del mundo, se ha fomentado el uso de normas internacionales como la ISO 14064-1 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”, que guía a organizaciones en la cuantificación y reporte de emisiones y remociones de GEI. (Dirección de Cambio Climático, s.f., pág. 20)

Importadores de fruta fresca como los países que conforman la Unión Europea, presentaron durante el 2019 “El Pacto Verde” como iniciativa para garantizar prácticas sostenibles sobre múltiples sectores, entre ellos; el agropecuario, entre sus ejes de acción está la “Ley Europea del clima” que incluye entre muchos aspectos ser carbono neutralidad 2030-2050 y para ello se establecen rutas como la “Estrategia de adaptación al cambio climático de la Unión Europea” y la estrategia “De la granja a la mesa” donde se debe garantizar que no existe fraude alimenticio en la cadena de valor. (Dorgambide et al, 2024, pág.13).

Estos temas ambientales están siendo atendidos mediante políticas nacionales a nivel de cada país, no obstante, otros actores como empresas intermediarias y los supermercados propiamente pueden tener requisitos propios, “Las cadenas de supermercados más destacadas de cada país pueden tener políticas y requisitos específicos de certificación para los productos que venden, incluyendo las frutas frescas” (Dorgambide et al., 2024. Pag 91).

Según ICE Business, (2022), “La importadora francesa SIIM ofrece la primera piña con huella de carbono cero” esto dio el banderazo de salida de compromiso ambiental en material de GEI a nivel internacional, fue un precedente que obliga a trabajar este elemento ambiental como parte de las estrategias organizacionales.

El liderazgo de Costa Rica se ha visto reflejado desde el 2012 a través de la empresa Ganaflor, quién fue la primer piñera en declarar su Huella de Carbono, “Título de Conformidad, LSQA Huella de Carbono”, el cual ratifica las mediciones del carbono emitido bajo la conformidad de la norma ISO 14064:2006.” (Portal Frutícola, 2012) y en la

actualidad encontramos a la multinacional Fresh del Monte recientemente declarada como “la primera piña certificada como neutra en carbono”. (Fresh Del Monte Produce Inc, 2023, párr. 5)

Según la Cámara Nacional de Productores y Exportadores de Piña (2017), durante el informe del 2015 Costa Rica era el país líder en la exportación de piña, inclusive por encima de otros con gran importancia como Brasil y Filipinas, esto ha generado que el mundo voltee su mirada a este sector en diferentes aspectos, entre ellos, el ambiental.

En Costa Rica según el Inventario Nacional de GEI 1990-2017, el sector agropecuario ha sido en términos de gases de efecto invernadero el segundo sector en importancia como agente emisor, siendo la principal causa la quema de biomasa, aplicación de CO<sub>2</sub> para encalado y aplicación de fertilizantes nitrogenados.

A nivel país han trabajado en políticas ambientales para abordar estos requerimientos y cumplir con los acuerdos internacionales, algunos ejemplos; desde 1994 se aprobó la Ley 7414 “Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (ONU)” (Sistema Costarricense de Información Jurídica, 1994), amparado en esta ley se creó el Programa País Carbono Neutro, así como, su respectivo reglamento, además, se estableció el Plan Nacional de Descarbonización, que plantea ejes de acción a nivel sectorial.

Las emisiones de GEI se han estudiado extensamente, a nivel mundial mediante los informes del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), y a nivel de Costa Rica a través de inventarios organizacionales de GEI e inventarios nacionales, por ejemplo, se publicó durante el año 2021 el “Inventario nacional

de emisiones por fuentes y absorción por sumideros de gases de efecto invernadero” dadas entre 1990 y el 2017.

A pesar de que existen estos reportes históricos, pocos han sido los esfuerzos de investigación relacionados a la absorción o remoción de GEI, se encuentra estudios que indican remociones a partir de un bosque y del suelo. No obstante, existe la posibilidad de que cultivos que hacen fotosíntesis y por ende el proceso de captura de dióxido de carbono y liberan oxígeno, tengan algún aporte en la relación emisión-remoción.

La presente investigación se enfoca en determinar la absorción potencial de GEI mediante el cálculo del dióxido de carbono que fija una planta de piña (*Ananas comosus*) hasta la primera cosecha; este resultado va a proporcionar un valor que permita indicar en t CO<sub>2</sub>e la capacidad de fijación de GEI de la piña.

## 1.2 Problemática.

El consumo de piña en mercados internacionales ha presentado una acelerada aceptación y la demanda ha ido en aumento. Países desarrollados de Europa han establecido estándares de calidad para someter las importaciones de esta preciada fruta y tener así los mejores productos en sus hogares. Un ejemplo de esto han sido las medidas adoptadas por la Unión Europea (UE) para la comercialización de frutas frescas y en donde se deben cumplir las medidas establecidas en el Reglamento (UE) 2017/625 del 15 de marzo de 2017 sobre higiene de los productos alimenticios. (Dorgambide et al., 2024. pág. 83).

No obstante, los cambios sociales y ambientales han llevado a estos países a considerar otros aspectos además de la calidad para seleccionar a sus proveedores, por ello, han creado requerimientos para asegurar que el producto es cultivado con consciencia, es

decir, sostenible, algunas de estas exigencias son certificaciones como Global GAP, Rainforest y Organic. (Dorgambide et al, 2024, pág. 98)

Estas demandas ambientales relacionadas a la gestión de emisiones de GEI, a la publicación de inventarios, planes de reducción, certificaciones y demás, que ha sido planteadas desde los mercados internacionales y adoptadas a nivel nacional, propician el nacimiento de este proyecto, buscando darles a las organizaciones productores de piña un valor con sustento metodológico para presentar ante sus partes interesadas.

En el caso de la piña existen herramientas que acerquen en valores las emisiones de GEI, pero, se desconoce el valor de fijación de CO<sub>2</sub>, por ende, para buscar equilibrar una posible ecuación entre las emisiones y la captura de dióxido de carbono se debe construir este último.

### 1.3 Justificación del problema

Las plantas realizan la fotosíntesis mediante un proceso bioquímico, aprovechando la luz solar, según Aqua Fundación (2025), gracias a la luz, las plantas capturan dióxido de carbono CO<sub>2</sub> y como parte del proceso, desechan oxígeno y vapor de agua. El cultivo de piña si bien produce emisiones de GEI en su ciclo productivo, principalmente por las prácticas antropogénicas en la aplicación de fertilizantes nitrogenados, enmiendas y en el tratamiento de rastrojo, también proporciona una fijación de carbono temporal que trae consigo un aporte al balance de carbono en las fincas piñeras.

A nivel de sector productivo, esta orientación, beneficia directamente a la comunidad productora de piña con interés en cumplir métricas de sostenibilidad ambiental, colaborando en la mejora de la imagen de organizativa, manteniendo y mejorando

oportunidades de negocios con clientes internacionales, así mismo, contarán con un valor de dióxido de carbono fijado que será línea base para determinar la totalidad de fijación al finalizar el ciclo de vida de cada planta.

En Costa Rica se ha estudiado la fijación de captura de carbono para importantes cultivos como palma aceitera (Universidad Earth, s.f.) cacao (Andrade, 2008) y café, (Segura, 2006), sin embargo, la piña es uno de nuestros principales motores de exportación y no cuenta con ningún tipo de evaluación y cuantificación que permita la interpretación de este tema.

Otro aporte del tema es dirigido a nivel de investigación, si bien el IPCC, 2006, sugiere que los cultivos temporales tienen una relación neutral entre las emisiones y las remociones, existe un gran vacío de información sobre esta afirmación. Entendiendo que las emisiones se miden y cuantifican para un determinado periodo, es factible que la fijación de carbono sea tan particular que logre equilibrar en ese mismo tiempo las toneladas de GEI generadas.

Existen beneficios indirectos resultado de esta investigación, en política pública y cumplimiento de normativas, por ejemplo, contribuir a las estrategias de mitigación de cambio climático nacionales e internacionales, además, a nivel de imagen organizacional eventualmente daría paso a acceder a nuevos mercados con visión a estándares de sostenibilidad, por último, para las gerencias productivas puede ser insumo en la toma de decisiones técnicas sobre manejo de la plantación.

Conocer la fijación de CO<sub>2</sub> que esta planta presenta durante su ciclo de vida, cerraría un vacío de información que ha existido por mucho tiempo y trae oportunidades de

mejora a nivel ambiental y económico para el comercio internacional de esta fruta fresca, así mismo, los resultados podrán ser replicados y será línea base de otras investigaciones tanto en este cultivo como en otros empleando la metodología que se propone para este caso.

#### 1.4 Supuestos

- La fijación de dióxido de carbono de la planta de piña se estima suficiente para compensar sus emisiones directas durante el ciclo productivo.
- La planta de la piña tiene alto contenido fibroso y eso permite que la fijación de CO<sub>2</sub> se mantenga en el tiempo, sea como incorporación al suelo o como subproductos.

#### 1.5 Restricciones

- Logísticas: acceso a la plantación, disponibilidad de las balanzas, limitaciones en tiempo y representatividad del muestreo.
- Técnicas: Conocimiento en la aplicación de metodologías de cálculo, escasas de fuentes relevantes y actualizadas.
- Naturales: Condiciones climáticas y alteración del elemento por condiciones fitosanitarias.

#### 1.6 Objetivo general

Determinar la fijación de carbono en plantas de piña (*Ananas comosus*) de la variedad MD-2 procedentes de basales durante el ciclo productivo en Fruitpoint, Venecia,

Alajuela, Costa Rica, cuantificando su contribución en el balance de carbono de la finca a través de mediciones en campo y aplicación de metodologías reconocidas.

### 1.7 Objetivos específicos

- Analizar el proceso de siembra, mantenimiento y cosecha de piña en Fruitpoint mediante entrevistas y flujos de procesos para la selección del diseño muestral.
- Calcular la fracción de carbono en plantas de piña variedad MD-2 desde la etapa de siembra hasta la primera cosecha, utilizando análisis foliar y de tronco determinando la cantidad de carbono almacenado del cultivo.
- Señalar la capacidad de fijación de carbono de las plantas de piña MD-2, basándose en su capacidad de captura de carbono durante el primer ciclo de cosecha, ofreciendo un valor concreto que contribuya al balance de carbono en las fincas piñeras.

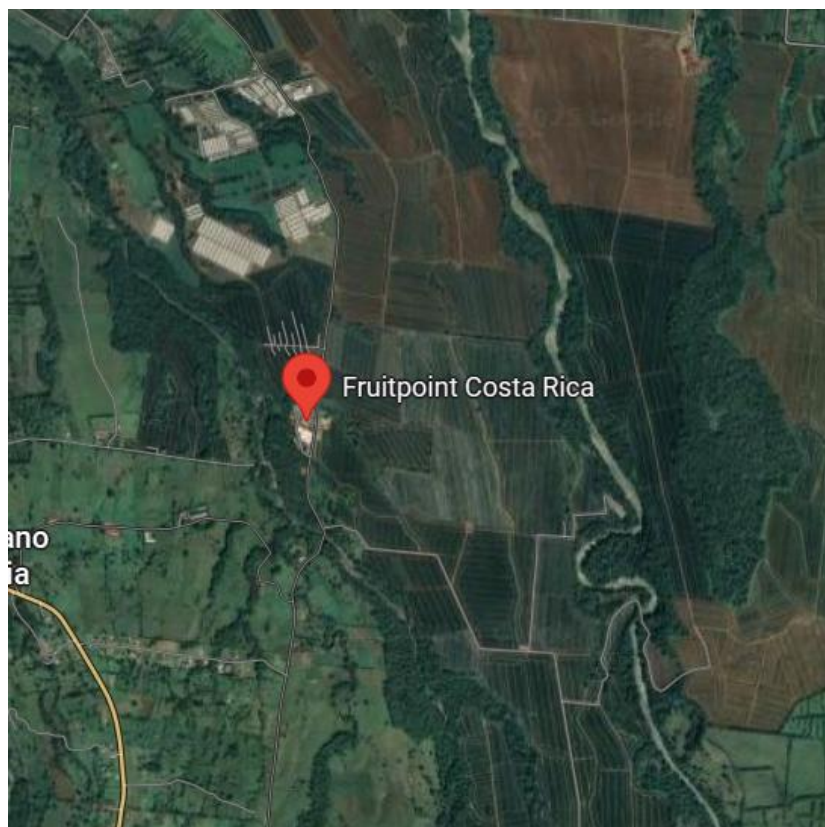
## 2 MARCO TEORICO

### 2.1 Marco referencial o institucional

### 2.2 Antecedentes de la Institución

La organización nace en 1994 como empresa comercializadora de piña, con exportaciones a Europa, ante la expansión del negocio, para el 2014 se oficializa el nombre de Fruitpoint Costa Rica (<https://www.fruitpoint.net/es-es/>) y para el 2020 adquieren una planta de producción.

La planta productora y los subprocesos derivados se ubican en Venecia de San Carlos, Alajuela, Costa Rica, (ver figura 1) oficialmente iniciaron las operaciones en enero 2021, esto ha sido un trabajo de nuevos aprendizajes y con ello un gran reto como organización a nivel productivo y comercial.



**Figura 1 Ubicación de Fruitpoint, Venecia de San Carlos, Costa Rica, fuente Google maps**

### 2.3 Misión y visión

#### Misión

Satisfacer a nuestros diversos consumidores finales a través del desarrollo y comercialización de piña de excelente calidad, respetando el medio ambiente y capital humano.

#### Visión

Ser una de las mejores fincas productoras de piña de Costa Rica, manteniendo en forma continua altos estándares de calidad e innovación y permaneciendo cien por ciento comprometidos con el desarrollo socio ambiental y bienestar del capital humano.

Valores

**Ética:** Implementar relaciones entre compañeros y clientes comerciales bajo la moral y buenos comportamientos.

**Camaradería:** Existencia de compañerismo, en el desarrollo organizacional.

**Trabajo en equipo:** Garantizar un buen clima organizacional.

**Transparencia:** Trabajar y comunicarse siempre con la verdad.

**Honestidad:** Establecer relaciones interpersonales, basado en la confianza.

**Innovación:** Fomentar la mejora continua en la producción de recursos.

**Respeto:** Hacia los clientes y colaboradores.

**Compromiso:** Integridad e interés para la satisfacción de nuestros clientes internos y externos.

#### 2.4 Productos que ofrece

Fruitpoint basa su estrategia operativa 100% sobre la comercialización de piña y sus derivados, entre los productos actuales disponibles para los clientes se encuentran;



**Figura 2** Ensilado como subproducto

- **Piña para exportación:** “Producimos y exportamos piña en diversidad de calibres e intensidad de color, dependiendo del destino del producto, lo que nos hace brindar a los clientes productos que se ajusten a las necesidades de demanda de su mercado.”



**Figura 3** Piña empacada para exportación

La organización asegura procesos internos desde la producción hasta la exportación con los más altos estándares de calidad e inocuidad, así como, un compromiso ambiental. Algunos países donde se comercializa la fruta fresca; “Alemania, Austria, Bélgica, España, Estonia, Francia, Italia, Polonia, Portugal, Suiza, entre otros.” (Fruitpoint Costa Rica).

- **Piña para jugo y IQF:** Existe una serie de necesidades a nivel del mercado nacional de jugo de piña y piña para congelar, que Fruitpoint satisface, es a partir de

los mismos procesos de cosecha y transporte, así mismo, este proceso también se encuentra certificado con Global G.A.P.

- **Ensilado:** Fruitpoint en la búsqueda de traer soluciones innovadoras ha creado un ensilado para uso en ganadería a partir de la planta de piña conocido como rastrojo, esta solución que es única en el mundo y ha contribuido a disminuir las plagas principalmente la mosca (*Stomoxys calcitrans*), este siempre ha sido motivo de molestias para los ganaderos vecinos y a partir de esta adversidad la organización encontró una oportunidad tanto económica, social y ambiental.

2.5 Otra teoría propia del tema de interés

2.6 Conceptos y definiciones

### **Cambio climático y calentamiento global**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2025), el cambio climático corresponde a las variaciones en las temperaturas y en los patrones climáticos, originadas tanto por procesos naturales como por actividades humanas. Entre estas últimas se encuentran la agricultura, la explotación petrolera, la generación de energía, la industria, el transporte y el uso del suelo, todas ellas responsables de la emisión de GEI.

Por su parte, el IPCC, (2014), lo define como “variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades que persisten durante largos períodos de tiempo”. (pág. 127). En esa misma línea, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) “distingue entre el cambio climático atribuible a las actividades

humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales” (IPCC, 2025, párr. 60).

En el ámbito nacional, el Plan de Descarbonización de Costa Rica 2018-2050 señala que el cambio climático es resultado de las emisiones de GEI producidas por la actividad humana (Ministerio de Ambiente y Energía, 2025, pág. 16). A su vez, el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) relaciona las causas del fenómeno con sistemas naturales y humanos derivados del desarrollo, principalmente con el uso de hidrocarburos en la industria. Además, subraya los principales retos en la reducción de los GEI, así como la necesidad de avanzar en mitigación y adaptación mediante la investigación científica que impulse el desarrollo del país (IMN, 2025).

En cuanto al calentamiento global, este describe el incremento reciente de la temperatura promedio del planeta, mientras que el cambio climático hace referencia al mecanismo que lo origina. Los registros de temperatura evidencian que los años más cálidos se concentran en las últimas décadas, en concordancia con el aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico. Dicho incremento responde a procesos naturales y, sobre todo, a actividades humanas que intensifican el calentamiento global (Caballero, Lozano & Ortega, 2007). Gases como el dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, metano CH<sub>4</sub>, y otros compuestos absorben la radiación infrarroja que la Tierra emite tras recibir energía solar, atrapándola en la atmósfera y elevando la temperatura del planeta (Garritz, 1998).

### **Gases de efecto invernadero y sector agrícola**

Benavides Ballesteros & León Aristizabal (2007) señalan que el efecto invernadero se produce por la presencia de GEI en la atmósfera que absorben y emiten radiación. En

donde, entre los principales gases se encuentra el vapor de agua H<sub>2</sub>O, dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, metano CH<sub>4</sub>, óxido nitroso N<sub>2</sub>O, ozono O<sub>3</sub>, así como gases fluorados, entre ellos el hexafluoruro de azufre SF<sub>6</sub>, los hidrofluorocarbonos HFC y los perfluorocarbonos PFC. Lo anterior se clasifica en dos categorías, directos e indirectos. Los GEI directos son aquellos que generan efecto invernadero de forma inmediata al ser liberados a la atmósfera, como el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso y los compuestos halogenados. Por su parte, los indirectos actúan como precursores de otros GEI o del ozono troposférico, e incluyen a los óxidos de nitrógeno, los compuestos orgánicos volátiles (exceptuando el metano) y el monóxido de carbono.

Los principales GEI emitidos por las actividades antropogénicas a nivel mundial son:

El dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, el metano CH<sub>4</sub> y el óxido nitroso N<sub>2</sub>O. Globalmente, la causa principal del incremento en las emisiones de éstos GEI son las actividades relacionadas con el sector energético que representan 26% de las emisiones, seguido del sector industrial (19%), forestal (17%), agrícola (14%), residencial y comercial (8%) y de manejo de desechos (3%). (Saynes Santillán et al., 2016)

Los datos mencionados ubican al sector agrícola en el 4to lugar en importancia de GEI, “este sector emite grandes cantidades de los llamados “gases que no son CO<sub>2</sub>”. Estos gases corresponden a Metano (CH<sub>4</sub>) y Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O). (Saynes Santillán et al., 2016, pág. 84).

Montzka et al., (2011), indica que; “Globalmente las actividades agrícolas son la fuente más importante de N<sub>2</sub>O emitido por los suelos”, esta afirmación encuentra lugar por el uso intensificado de fertilizantes nitrogenados y quema de biomasa. (pág. 84)

Por su parte, “El Metano (CH<sub>4</sub>) es emitido por fuentes naturales como los humedales, pero también por actividades humanas como fugas de los sistemas de gas natural y las crecientes actividades ganaderas” Saynes Santillán et al., (2016), es de los gases con mayor presencia a nivel de atmosfera, “El CH<sub>4</sub> es emitido por la industria, la agricultura y el manejo de los desechos” es decir, se encuentra con mucha facilidad en cualquier actividad productiva, pero a nivel agro es la de mayor importancia. (pág. 85).

Por otra parte, el CO<sub>2</sub> se relaciona principalmente con los efectos indirectos que produce, ejemplo, la reducción en la fertilidad y productividad de los suelos cultivados (Saynes Santillán et al., 2016, pág. 85). Autores como González et al. (2005) relacionan fuentes de emisión del CO<sub>2</sub> principalmente con la utilización de energía y el uso de combustibles fósiles.

### **CO<sub>2</sub> Biogénico**

En el caso del CO<sub>2</sub> biogénico, se debe entender que es un proceso “obtenido mediante la oxidación del carbono biogénico” (INTECO, 2019, pág. 14), mientras el carbono biogénico por su parte dice ser “carbono derivado de la biomasa” (INTECO, 2019, pág. 14). La biomasa se define como el “material de origen biológico, excluyendo el material incrustado en formaciones geológicas y material transformado transformados en material fosilizado”. (INTECO, 2019, pág. 14)., este concepto podría abarcar elementos

como árboles, cultivos, pastos, hojarasca, algas, animales, estiércol y otros desechos que sean de origen biológico.

Las emisiones de compuestos orgánicos biogénicos y antropogénicos modifican la concentración y capacidad oxidativa de la atmósfera. En este sentido, la atmósfera desempeña un papel crucial en los procesos de cambio global, dado que actividades y procesos locales o regionales pueden tener repercusiones a escala planetaria. Al ser un componente importante de este sistema, recibe tanto emisiones primarias procedentes de actividades antropogénicas como emisiones secundarias asociadas a fuentes ambientales difusas inducidas por perturbaciones humanas o por la propia dinámica de los ciclos biogeoquímicos (Duarte et al. 2006).

Según Camargo Caicedo et al. (2010), en el caso de la elaboración de un inventario de emisiones biogénicas se requiere de información sobre el uso del suelo, la distribución de cultivos y las condiciones meteorológicas, a fin de aplicar factores de emisión que permitan cuantificar la tasa de generación de compuestos. Esta tasa depende, entre otros aspectos, del comportamiento de la especie vegetal y está condicionada por factores como la temperatura, la radiación solar, la localización, el clima, el estrés ambiental y los estados fenológicos de la planta.

### **Remoción de GEI**

La remoción se entiende como la eliminación de un GEI y sus precursores de la atmósfera mediante un sumidero. En particular, la remoción de CO<sub>2</sub> hace referencia a la actividad antropogénica mediante la cual se extrae CO<sub>2</sub> de la atmósfera y se almacena de manera duradera en reservorios geológicos, terrestres, oceánicos o en productos. Esto

incluye tanto la mejora antrópica de los sumideros biológicos o geoquímicos como la captura directa de carbono, pero excluye la absorción natural de CO<sub>2</sub> no generada por actividades humanas (IPCC, 2018).

Por su parte, un sumidero es todo proceso, actividad o mecanismo que elimina un GEI, un aerosol o sus precursores de la atmósfera (IPCC, 2018). Y, un reservorio es el componente del sistema climático que almacena o retiene un GEI. En la misma línea, la remoción se relaciona con los métodos o técnicas que reducen el CO<sub>2</sub> atmosférico mediante el incremento de los sumideros naturales de carbono o a través de procesos de ingeniería química para su captura y almacenamiento (IPCC, 2014).

Al considerar las variaciones netas de las emisiones y absorciones por los sumideros de GEI, se establecen las actividades relacionadas al cambio del uso de la tierra y la selvicultura limitada a la forestación, reforestación y deforestación, a las actividades adicionales como la gestión agrícola, gestión forestal, gestión de pastos y restablecimiento de la vegetación. En sí, actividades conjuntas de forestación, reforestación, gestión de tierras agrícolas, gestión de bosques, gestión de pastos, y restablecimiento de la vegetación (Arbestain & Pinto, 2004).

En la misma línea, los bosques primarios actúan como sumideros netos de carbono, ya que capturan más carbono del que emiten. Esto se debe a que el crecimiento de los árboles supera su tasa de mortalidad. En este sentido, diversos autores destacan la importancia de incluir este sumidero en los inventarios de carbono y de fortalecer su protección, gestión y conservación, garantizando así un servicio ambiental y aportando a las estrategias de adaptación frente al cambio climático (Miñano et al., 2018).

De manera complementaria, Cordero Rivera (2012) compara los bosques primarios con las plantaciones forestales desde la perspectiva del secuestro de carbono. Según su análisis, los bosques primarios presentan un funcionamiento complejo y actúan como sumideros a largo plazo, mientras que las plantaciones forestales son ecosistemas con menor biodiversidad, mayor vulnerabilidad y una capacidad más limitada de secuestro de carbono debido a la degradación del suelo y a sus ciclos cortos de explotación. No obstante, las plantaciones también pueden ofrecer ciertos beneficios y servicios ambientales, aunque sin llegar a sustituir a los bosques naturales.

Personas autoras como García Martínez et al. (2025) resaltan que las plantaciones forestales proporcionan diversos bienes y servicios, entre ellos la provisión de madera, la regulación del agua y del aire, el control de la erosión del suelo, la conservación de biodiversidad, el valor estético, el secuestro de carbono y la regulación climática. Desde una perspectiva ambiental, se destaca su papel como sumideros de carbono y agentes de mitigación del cambio climático. La cantidad de carbono capturado y almacenado en la biomasa arbórea y en el suelo de las plantaciones forestales depende de factores como la especie, la edad, la densidad, el manejo silvícola y las condiciones ambientales. En este sentido, se enfatiza que las plantaciones jóvenes presentan un mayor potencial de captura de CO<sub>2</sub>.

Las plantaciones, pastos cultivados y árboles frutales cuyo período de desarrollo supera un año se consideran cultivos perennes, independientemente del número de cosechas o cortes que generen. Estos se caracterizan por contar con una fase de desarrollo y una etapa productiva que puede abarcar múltiples cosechas o ciclos de producción (Instituto

Nacional de Estadística y Geografía & Universidad de Guadalajara, 2012). Según Rodríguez et al. (2018), los cultivos perennes tienen el potencial de almacenar CO<sub>2</sub> tanto en su biomasa aérea como en la radicular. En sistemas de labranza mínima o reducida, el carbono almacenado en el suelo no se expone de manera significativa cada año, lo que favorece su permanencia. En este sentido, los cultivos perennes aportan diversos servicios ecosistémicos, entre ellos la fijación de carbono, la captación de nutrientes y agua, así como la mitigación de emisiones de óxido nitroso. No obstante, dichos beneficios dependen de las prácticas de manejo agroquímico y de las condiciones ambientales.

Por su parte, se debe enfatizar en la necesidad de estimar y declarar las emisiones de GEI provenientes de las tierras de cultivo, tanto en sistemas de cultivos anuales como en los perennes. Estos últimos comprenden árboles y arbustos que pueden combinarse con cultivos herbáceos o establecerse en forma de huertos, viñedos y plantaciones de cacao, palma, coco, banano, frutales y frutos secos, así como en sistemas de policultivo. Este tipo de vegetación leñosa perenne tiene la capacidad de generar depósitos significativos de carbono en biomasa de larga duración. En contraste, en los cultivos anuales se asume que el incremento de biomasa de cada ciclo se compensa con las pérdidas ocasionadas por la cosecha y la mortalidad durante el mismo año, lo que implica la ausencia de acumulación neta de carbono en la biomasa (Lasco et al., 2006).

## 2.7 Piña y la relación con GEI

### **Ciclo de vida de la piña**

La piña a diferencia de cultivos anuales puede mantener una producción prolongada mediante la sucesión de nuevas plantas hijas que emergen de la planta original, siendo esta una característica que la define como planta perenne. Por esto, su ciclo se conforma por el desarrollo del hijuelo, que emite raíces adventicias y hojas nuevas, incrementando la absorción de nutrientes para el crecimiento vegetativo y la formación de reservas. Luego, el desarrollo vegetativo se ralentiza y se produce la inducción floral, momento en que cesa la formación de hojas y comienza la floración y fructificación, consumiendo las reservas de la planta. Tras la producción y madurez de la fruta, la planta inicial muere, pero es reemplazada por hijuelos que inician un nuevo ciclo, pudiendo repetirse indefinidamente si las condiciones son las adecuadas. Lo anterior, considera el ciclo hasta la primera cosecha de 15-16 meses, y la segunda cosecha se realiza 11-12 meses después (Aguirre & Arboleda, 2008).

Este cultivo requiere climas cálidos con temperaturas entre 20 y 28 °C, suelos bien drenados y ligeramente ácidos. La propagación se realiza mediante hijuelos, bulbillos o coronas, los cuales deben ser seleccionados y desinfectados previamente. Antes de la siembra, se prepara el terreno mediante sistemas óptimos y manteniendo una densidad aproximada de 33 300,00 plantas por hectárea. Entre las principales labores culturales se encuentran la fertilización equilibrada, la inducción floral, así como, el control de malezas, plagas y enfermedades fúngicas. La cosecha es manual y depende del grado de maduración y del destino del fruto, con rendimientos promedio de 20 toneladas por hectárea que en condiciones óptimas puede alcanzar inclusive las 70 toneladas por hectárea (Vargas, 2009).

### **Comercio internacional de piña**

A nivel mundial este cultivo registró un incremento del 5,2 % en las exportaciones para el año 2024, alcanzando un total de 3,6 millones de toneladas, impulsadas principalmente por Costa Rica y Filipinas, que concentraron el 68 % y el 19 % de la cuota del mercado, respectivamente. La producción costarricense se destinó en su mayoría a Estados Unidos y la Unión Europea, mientras que Filipinas orientó sus envíos principalmente hacia China. En términos generales, las exportaciones de ambos países aumentaron, reflejando una demanda sólida y sostenida en los principales mercados importadores. Por su parte, el volumen mundial de importaciones de piña creció aproximadamente un 4,8 %, alcanzando cerca de 3,1 millones de toneladas en 2024. La demanda del producto se mantuvo estable tanto en el consumo doméstico como en el sector de la hostelería, especialmente en mercados desarrollados (FAO, 2024a).

El consumo de productos sostenibles, especialmente de origen agrícola como la piña, ha mostrado un incremento significativo impulsado por nichos de mercado conformados por consumidores dispuestos a pagar precios más altos por bienes percibidos como ambientalmente responsables. Sin embargo, esta demanda no siempre es estable con respecto a las variaciones en el precio, ya que puede presentar una alta sensibilidad ante estos cambios. Además, este consumo de productos sostenibles depende de otros factores como el posicionamiento de la marca y la percepción del consumidor. (Marulanda Marulanda, 2021).

Lo anterior, debe traducirse en beneficios tangibles y percibidos, lo que exige estrategias de marketing que permitan diferenciar el producto, superar la competencia

internacional y justificar el precio establecido. De esta manera, el incremento en el consumo de productos sostenibles está determinado no solo por el precio, sino también por la percepción del valor y la efectividad de la estrategia comercial (Marulanda Marulanda, 2021).

Por su parte, el mercado centroamericano de piña se ha ido consolidando a nivel mundial con un aumento significativo en los volúmenes exportados por Costa Rica, destacándose como uno de los principales productores al representar a la región centroamericana con un 10 % de la producción mundial en los últimos diez años. Dentro de este periodo la piña ha perfilado dentro de los cuatro principales productos de exportación de la región, teniendo una participación para el 2008 de 11,56 %. Así, se establece la existencia de una elevada concentración de comercio exportador por parte de Costa Rica, siendo este un país imponente ante la producción y comercialización de la fruta (Cerdeña Ramírez, 2014).

A nivel Centroamericano, Costa Rica lidera la exportación regional de piña, especialmente fresca y en concentrado, con una cadena comercial sólida y una institucionalidad que impulsa su posicionamiento en mercados de Norteamérica, Europa y Asia. Guatemala muestra un crecimiento moderado en sus exportaciones, aunque gran parte de su producción se destina al consumo interno y su estructura comercial sigue en desarrollo. En El Salvador, el mercado es reducido y dependiente de importaciones, con escasa integración internacional. Honduras presenta un sector más consolidado, con grandes empresas exportadoras como DOLE y Monty Farms, que abastecen tanto el mercado externo como el interno. Finalmente, Nicaragua tiene un comercio emergente

dominado por pequeños productores, centrado en el mercado local y con esfuerzos en curso para fortalecer su institucionalidad y capacidad exportadora (Díaz Porras & Monge Gutiérrez, 2019).

A nivel general, el consumo de productos sostenibles ha impulsado el crecimiento de la demanda de piña orgánica y de comercio justo. En este contexto, Costa Rica ha desempeñado un papel importante gracias a su capacidad para producir y exportar piña fresca y orgánica hacia mercados exigentes. El país ha logrado posicionarse como uno de los principales proveedores de piña orgánica, especialmente para naciones como Dinamarca y Francia, y cuenta con una ventaja competitiva en certificaciones de sostenibilidad. Además, su participación en el comercio de piña bajo el sello de Comercio Justo refuerza su liderazgo en la producción sostenible, respondiendo al incremento global del consumo responsable y ambientalmente consciente (Bonilla, 2011).

En Costa Rica, la producción de piña ha estado asociada a impactos ambientales y sociales significativos, como el uso intensivo de agroquímicos y la contaminación, pero en los últimos años se han impulsado diversas iniciativas orientadas a mejorar su sostenibilidad.

Certificaciones como GLOBALG.A.P., SA8000, Comercio Justo, Orgánico y Rainforest Alliance han promovido prácticas responsables como la conservación de ecosistemas, el uso eficiente del agua y la reducción de agroquímicos y energía. Estas certificaciones, junto con los esfuerzos de organizaciones como la Red de Agricultura Sostenible (RAS) y Rainforest Alliance, han fortalecido el vínculo entre la producción de piña y los principios de la agricultura sostenible, además del diálogo nacional que busca

construir un modelo de producción y comercio responsable que reduzca los impactos negativos y promueva la sostenibilidad del cultivo (Bach, 2011).

### **Emisiones en la piña**

En la producción de piña, la fertilización es uno de los factores más importantes para lograr una buena productividad y rentabilidad (Marca Huamanca et al., 2018). En Costa Rica se emplea el tipo de fertilización convencional (sintética) y orgánica. La fertilización convencional, basada en el uso frecuente de fertilizantes nitrogenados y potásicos, reduce la materia orgánica, el carbono y la humedad del suelo, afectando la actividad microbiana y aumentando las emisiones de GEI. Por el otro lado, la fertilización orgánica mejora la calidad del suelo al incrementar su contenido de materia orgánica, carbono y humedad, estimulando la actividad microbiana y reduciendo la degradación ambiental, aunque puede generar mayores emisiones de N<sub>2</sub>O. En conjunto, la fertilización orgánica favorece la sostenibilidad del suelo, mientras que la convencional tiende a degradarlo y aumentar las emisiones de GEI (Brenes et al, 2021).

El uso de fertilizantes o las características naturales del suelo generan acidez o pH bajo, en donde se requiere un control adecuado para mantener la productividad y fertilidad del área de producción. Esto es realizado mediante el encalado, el cual busca neutralizar la acidez del suelo. Los materiales más empleados son la cal molida o piedra caliza (CaCO<sub>3</sub>) y la cal dolomita (CaCO<sub>3</sub> \* MgCO<sub>3</sub>) que reaccionan en el suelo, liberan CO<sub>2</sub>, contribuyendo así a las emisiones de GEI. En contraste, los compuestos de cal formados por óxidos e hidróxidos no producen emisiones de CO<sub>2</sub>, ya que carecen de carbono inorgánico en su estructura. Por tanto, aunque el encalado es esencial para la corrección de

la acidez, su uso de carbonatos implica un impacto climático asociado que debe considerarse en las estrategias de manejo sostenible del suelo (FAO, 2017).

Otra fuente significativa de emisiones en la producción agrícola, como en el caso de la piña, es el consumo de combustibles fósiles, ampliamente utilizados en las etapas de producción, cosecha, empaque y comercialización. Su uso en equipos, vehículos y maquinaria agrícola genera emisiones de GEI como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O al ser el resultado de la combustión en los motores. Por ello, se debe considerar las fuentes móviles (vehículos de carga, transporte, tractores y maquinaria de campo) y las fuentes estacionarias (generadores, bombas y otros equipos fijos) dentro de las emisiones de la empresa al contribuir en el impacto ambiental de la actividad productiva (FAO, 2024b).

Para el caso de Costa Rica, el uso de combustible diésel en maquinaria agrícola representa una fuente significativa de emisiones de GEI en el sector agrícola, en donde, se determinó que el 99 % de la maquinaria agrícola utiliza diésel. Estas emisiones provienen de la combustión interna de los motores de los tractores y demás equipos agrícolas, cuyo consumo de diésel varía según la potencia del motor, las horas de trabajo y el tipo de cultivo. El combustible fósil, particularmente el diésel, se convierte así en un factor determinante de la huella de carbono del sector agrícola. En donde, pese a la relevancia de esta fuente no ha llegado a ser contabilizada en los inventarios nacionales de GEI al incluirse dentro del sector transporte. Lo anterior parte de la necesidad de incorporar un registro específico para la maquinaria agrícola en los planes de descarbonización y control de emisiones del país (Gómez Calderón et al., 2021).

Por otro lado, la labranza convencional y la labranza mínima representan dos sistemas de producción en la piña que generan emisiones de GEI. En donde, la labranza convencional, al perturbar e invertir el suelo, acelera la mineralización de la materia orgánica y provoca la liberación de carbono en forma de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, contribuyendo a la pérdida de carbono orgánico del suelo y a su degradación. En cambio, la labranza mínima, propia de la agricultura de conservación, busca reducir la perturbación del suelo y favorecer el secuestro de carbono, promoviendo sistemas agrícolas más sostenibles y con menor impacto climático. A largo plazo, esta última práctica tiene el potencial de mejorar el almacenamiento de carbono y mitigar las emisiones de GEI (Fonseca Vargas et al., 2019).

El aumento en el desarrollo del cultivo de piña ha incrementado el volumen de desecho orgánico, especialmente de la biomasa producida a partir de la renovación de la plantación (rastrajo). El rastrajo de la piña es una fuente significativa de emisiones de GEI principalmente del CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> debido su descomposición tras la renovación de las plantaciones. Se suele utilizar tres tipos de manejo del rastrajo, el de herbicida químico con mayores emisiones de ambos gases, el manejo con herbicida más quema con fuego y el manejo en verde con los valores más bajos. Estos resultados muestran que el uso de herbicidas y la quema aumentan la liberación de carbono y materia orgánica al ambiente, intensificando el papel del rastrajo como fuente de GEI. En contraste, el manejo en verde, aunque puede ser más costoso y lento para la preparación del terreno, reduce las emisiones y presenta una ligera ganancia de nitrógeno en el suelo, lo que sugiere un menor impacto climático y un potencial beneficio para la sostenibilidad del cultivo (Fallas Rojas & Vargas, 2019).

### **Fijación de dióxido de carbono en piña**

Los procesos que comprenden el cambio climático global y su influencia en el ciclo de carbono en ecosistemas naturales han tenido un auge desde el ámbito científico, debido a que las plantas son parte del balance global de este cambio por su absorción de CO<sub>2</sub> mediante la fotosíntesis. La fotosíntesis se entiende como la transformación del CO<sub>2</sub> de la atmósfera en compuestos orgánicos como la sacarosa, el almidón y la celulosa mediante la energía lumínica (Yepes & Buckeridge, 2011). En el caso de la piña, este presenta un metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM). En donde, la tasa de crecimiento y productividad de la biomasa de las CAM terrestres son menores en comparación con plantas C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub> (Rodríguez Escriba et al., 2016).

Las plantas con metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM) han desarrollado adaptaciones fisiológicas que les permiten sobrevivir en ambientes áridos y con poca disponibilidad de agua. Su fotosíntesis presenta un ciclo de dos fases: durante la noche, las estomas se abren para fijar CO<sub>2</sub> en forma de ácidos orgánicos, y durante el día, con las estomas cerradas, esos ácidos liberan el CO<sub>2</sub> interno para la síntesis de materia orgánica.

Este mecanismo reduce la pérdida de agua y optimiza la fijación de carbono, otorgando a las plantas CAM una ventaja ecológica en condiciones extremas y un potencial de respuesta a largo plazo ante el incremento de CO<sub>2</sub> atmosférico (Magos López, 2016). Esto explica la eficiencia de la piña en el uso del agua, pero también su menor tasa de fijación de carbono en comparación con las plantas C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub>.

Los cultivos contribuyen al secuestro y remoción de carbono al capturar CO<sub>2</sub> atmosférico mediante la fotosíntesis, almacenándolo en su biomasa aérea y subterránea, y

transfiriéndolo al suelo a través de raíces y residuos vegetales que aumentan el carbono orgánico del suelo. Los cultivos perennes, como frutales y plantaciones, así como los sistemas agroforestales y huertos pueden almacenar distintas cantidades de toneladas de CO<sub>2</sub> según el tipo de cultivo. Entre los cultivos con mayor potencial destacan el mango, los cítricos, la guayaba, la uva y el banano. También prácticas como los cultivos de cobertura, el intercalado, la agroforestería y el uso de compost aumentan el carbono del suelo y reducen las emisiones de GEI (Ilakiya et al., 2024).

Autores como Mishra (2022) en su estudio sobre sistemas agroforestales de teca y piña, establecieron una relación directa entre la biomasa de la piña y la remoción de GEI a través del secuestro de carbono. En el estudio se determinó que el crecimiento de la piña influye significativamente en la biomasa acumulada, la cual está condicionada por la densidad de plantación y el manejo del sistema. De este modo, la remoción de GEI se produce mediante la captura de carbono atmosférico en la biomasa de la piña que, de otro modo, permanecería en forma de CO<sub>2</sub>, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático. Aunque la piña aporta una fracción menor del total de biomasa y carbono secuestrado dentro del sistema agroforestal, su contribución no es nula. Además, al proveer biomasa reciclada al suelo, favorece la acumulación de carbono orgánico y, por ende, apoya indirectamente la reducción de las emisiones de GEI.

Por su parte, estudios como el de Lim Kim Choo & Ahmed (2014), mediante un experimento comparativo de emisiones de GEI en suelos orgánicos con alto contenido de material vegetal, tanto sin cultivar como cultivados con piña, determinaron que la emisión anual de CO<sub>2</sub> fue menor en los suelos con piña en comparación con aquellos sin cultivo o

tratados con cloroformo. Esta reducción se asocia a la actividad fotosintética de la piña y a la respiración radicular al contrarrestar la descomposición del material orgánico y la respiración microbiana, procesos que suelen generar mayores emisiones. Asimismo, la presencia del cultivo de piña contribuye a mitigar la liberación del carbono almacenado en este tipo de suelos, favoreciendo así la reducción de las emisiones netas de GEI en ecosistemas impactados por el drenaje y las prácticas agrícolas.

### 3 MARCO METODOLOGICO

#### 3.1 Fuentes de información

Para esta investigación se aplica el uso de fuentes primarias y secundarias, procurando dar valor y alcanzar resultados trazables y aplicables. Se consideran las fuentes según la siguiente interpretación;

##### **Fuentes Primeras:**

Según Gómez, 2006, las fuentes primarias constituyen el objetivo de la búsqueda bibliográfica y proporcionan datos de primera mano. Mientras que Cruz, 2019, ejemplifica las fuentes primarias como; libros, revistas científicas y de entretenimiento, periódicos, documentos oficiales, informes técnicos, tesis, artículos, observación, encuestas, entrevistas y experiencias en campo.

##### **Fuentes Secundaria:**

Estas fuentes proporcionan un listado o resumen de análisis e interpretaciones de las fuentes primarias. Cruz, 2019, indica que contienen información organizada, elaborada, producto de análisis, extracción o reorganización que refiere a documentos primarios.

El cuadro 1 muestra un resumen de los tipos de fuentes de información empleadas en el documento:

Cuadro 1 Fuentes de información

<b>Tipo de fuente</b>	<b>Referencia / Autor</b>	<b>Año</b>	<b>Uso dentro del estudio</b>	<b>Descripción / Aporte Principal</b>
<b>Artículo científico (CAM)</b>	Magos López, J.	2016	Marco teórico (metabolismo CAM)	Explica la fisiología CAM, eficiencia hídrica y fijación de carbono, utilizado para contextualizar el comportamiento de la piña.
<b>Organismo internacional / metodología</b>	IPCC – Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (AFOLU)	2006 / 2019	Metodología de cálculo de GEI y carbono	Fuente base para estimaciones de biomasa, carbono y CO <sub>2</sub> equivalente en sistemas agrícolas y forestales.
<b>Normativa internacional (acuerdos climáticos)</b>	Conferencia de Estocolmo, Conferencia de Ginebra, Protocolo de Kioto, Acuerdo de París	1972–2015	Antecedentes y marco global de cambio climático	Respaldan la evolución de la gestión climática y contextualizan la importancia del estudio.
<b>Instituciones nacionales</b>	Datos meteorológicos e institucionales de Costa Rica (Ej. IMN, SINAC, MINAE)	Variado	Descripción del sitio y variables climáticas	Brindan datos de clima, ubicación, patrones ambientales y contexto geográfico.
<b>Mapas</b>	Mapas elaborados por la autora con SIG	—	Figura 1	Representan ubicación del sitio de estudio y distribución de parcelas.
<b>Datos primarios</b>	Muestreo propio (autoría personal)	2025	Metodología y resultados	Mediciones de campo: biomasa, variables estructurales, datos de parcelas.

<b>Literatura científica sobre captura de carbono y biomasa</b>	Diversos autores	Variado	Discusión/comparación de resultados	Permiten comparar tasas de captura, valores de referencia y eficiencia según sistemas productivos.
<b>Lineamientos técnicos ambientales</b>	Manuales y guías metodológicas nacionales	Variado	Enfoque de cumplimiento ambiental y reportes de GEI	Sirven para alinear el estudio con requerimientos institucionales o normativos.

### 3.2 Técnicas de Investigación

Aplicar la técnica de experiencias en campo, recolectar datos directos de finca es el punto de partida en las fuentes primarias, esto da paso a tener elementos de estudio y análisis. Seguido se aplica información existente tanto de fuentes primarias como secundarias para dar con el resultado esperado.

### 3.3 Método de Investigación.

Esta investigación considera un alcance de carácter exploratorio, es decir, “el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado “(Hernández, 2010).

Actualmente la revisión literaria mostró que existen vagas o nulas investigaciones al respecto, por ende, al aplicar este alcance se tendrán una línea base que quizás no sea el fin de este tema en sí mismo, pero, si dará valor metodológico para investigaciones futuras.

Según Hernández, 2010, este alcance es como un viaje a un lugar desconocido, dará paso a tener mejor conocimiento sobre el comportamiento de un elemento de la agricultura con gran valor comercial en Costa Rica y otros países.

Se realiza con un enfoque cuantitativo, es decir, medición de variables que se analizan con métodos estadísticos. Se requiere literatura en materia ambiental dirigida a cambio climático, en fuentes como IPCC, FAO y otras revistas científicas.

## 4 DESARROLLO

En la Zona Norte dependiendo de la variedad del cultivo, el destino del producto y de las condiciones topográficas, se define la densidad de siembra; que corresponde a la cantidad de hijuelos o retoños plantados por hectárea. Estos pueden ser axilares, basales y de corona, siendo estos últimos los menos utilizados dado el lento crecimiento y de mayor necesidad nutricional para su desarrollo.

Los hijuelos que se seleccionan para plantar se clasifican según peso; los rangos más utilizados son los siguientes:

- a. 200,0 g – 400,0 g
- b. 401,0 g – 600,0 g
- c. 601,0 g – 800,0 g
- d. 801,0 g – 1000,0 g

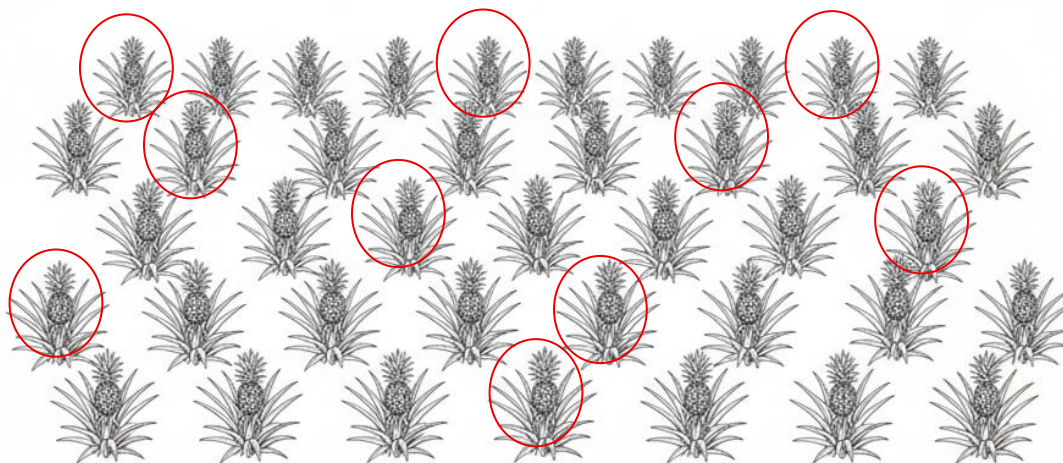
Según, la Comisión Nacional de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (CONITTA) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG); en Costa Rica se planta de 30 000 a 70 000 hijos/ha; históricamente con variedades conocidas como Cayena y Montelirio; no obstante, dada la inversión en investigación que ha realizado el sector, en la actualidad se utiliza mayoritariamente la variedad MD2, la cual posee condiciones favorables de crecimiento, adaptación, resistencia y productividad (calidad en general del fruto). (pág. 6)

Para el caso en estudio que corresponde a la organización Fruitpoint y quien opera a una densidad de siembra de 71,000 plantas/ha, se determina el tamaño de muestra,

utilizando como error máximo permisible un 10%. Los elementos de análisis se seleccionaron mediante un sistema de muestreo sistemático, un total de 160 plantas adultas que provienen de hijos tipo guía o basal según sea conocido.

La actividad en el campo consistió en seleccionar dos bloques plantados con semilla MD2 y se encontraran realizando el aprovechamiento de fruta (primer ciclo de cosecha); entre las líneas de siembra se seleccionaron plantas sin importar tamaño o vigorosidad (desarrollo); se extrae por completo la planta de la tierra (sin fruto), se elimina la raíz y residuos de suelo para su correspondiente pesaje.

La selección de plantas se realizó mediante un muestreo probalístico, se aplicó bajo un análisis de las características de la investigación y de la población, las variables que se midieron permiten tener pruebas estadísticas para la muestra, principalmente calcular el tamaño del error.



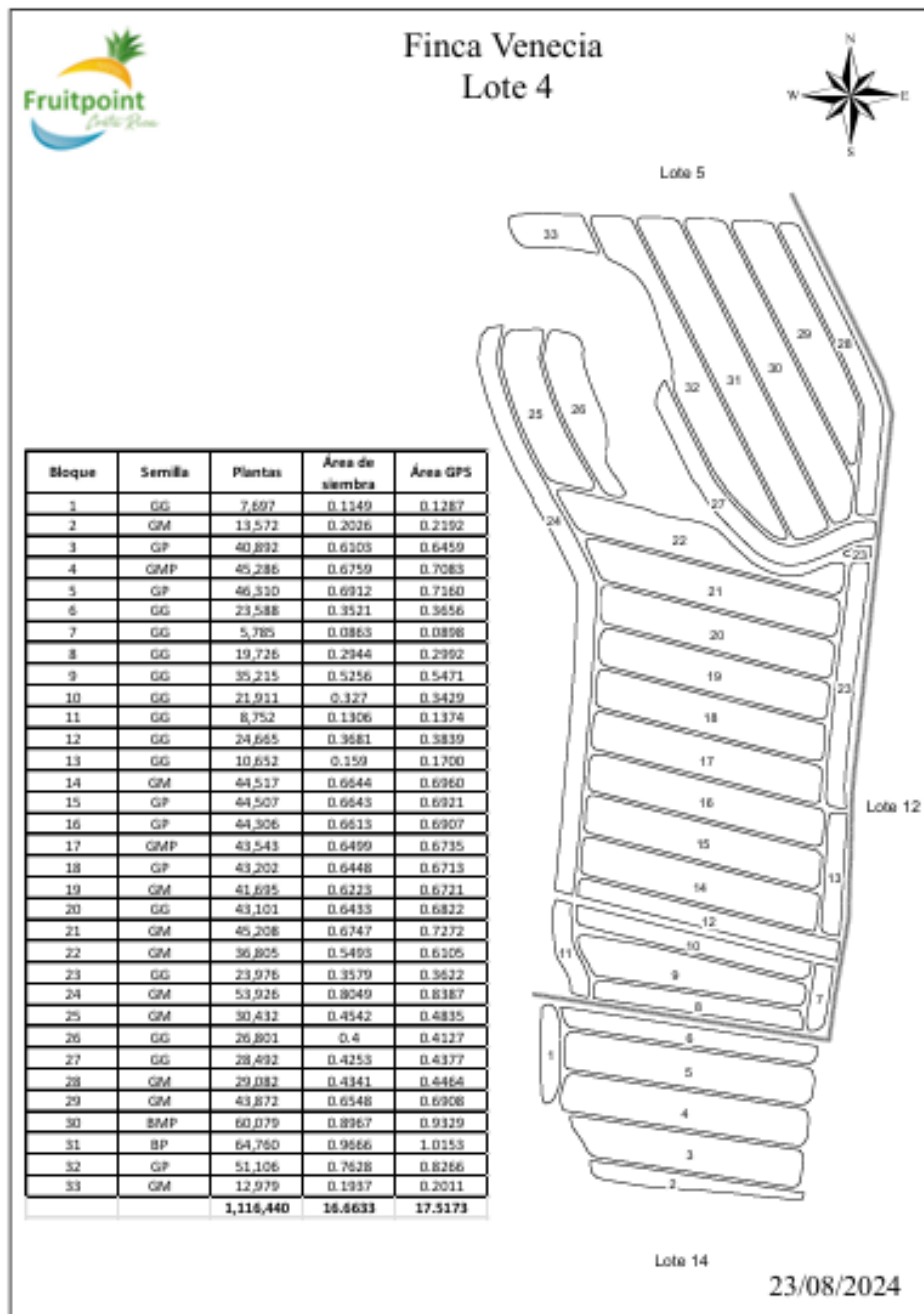
**Figura 4 Selección sistemática de plantas de *Ananas comosus* para pesaje**

Se aplicó una selección sistemática, como se ejemplifica en la figura 3, iniciando con una planta al azar y siguiendo un patrón por hilera siguiendo en zigzag, extrayendo una de cada cuatro plantas; esto permitió obtener variabilidad en las muestras, seleccionando desde plantas muy robustas a plantas con poco desarrollo. Dentro de los mismos bloques se pudo observar heterogeneidad en los individuos, micrositios con plantas de mayor crecimiento sobre todo a la orilla de los callejones y hacia el centro plantas de menor tamaño.

Cada planta seleccionada se extrae de forma manual, tratando de no dañar tallo ni hojas; se incluyen (pedúnculo, hijuelos de pedúnculo, tallo e hijuelos de tallo, hojas verdes y secas); inclusive, aquellas que quedan remanentes después de la extracción. La labor se realiza inmediatamente posterior a la primera cosecha del fruto, como se observa en la figura 4 antes de realizar el pesaje, se contempla recortar la raíz en la base del tallo evitando también pesar sustrato y otras arvenses.

**Figura 5 Preparación de muestras para el pesaje**





**Figura 6 Distribución de bloques en el lote 4, área plantada y cantidad de individuos**

El lote seleccionado correspondió al número 4, el cual se ubica a una distancia aproximada de 100 metros de la planta procesadora, posee una extensión de 16.66 has. Está

compuesto por varios bloques, para el muestreo se eligieron el número 4 y 5, estos se observan en la figura 5.

El bloque 4 posee una extensión de 0.67 has, con una cantidad aproximada de 45 286 plantas en total. La figura 5 nos muestra el tipo de semilla plantado, este corresponde a GMP (Guía Mediano). Se seleccionaron 80 individuos.

El bloque 5 con una extensión de 0.69 has, cantidad aproximada de 46 310 plantas en total. El tipo de semilla plantado corresponde a GP (Guía pequeña). Se seleccionaron 80 individuos.

Para el pesaje de la planta se utilizó una balanza analítica nueva (digital) y un recipiente plástico que permitió contener la totalidad de la planta (como se observa en la figura 6), por ende, se inició asegurando que la balanza estaba en un punto equilibrado según el nivel de burbuja y seguido se pesó el balde vacío para determinar el valor que se debía restar del peso total, este correspondió a 0,386 gramos.



**Figura 7 Pesaje de muestra con balanza digital**

La medición se realizó inmediatamente extraída la planta para evitar que esta perdiera agua durante el proceso (peso verde); además la labor fue dentro de la plantación por lo tanto el uso de vestimenta apropiada y equipo de protección personal como guantes y anteojos fue de uso obligatorio. En caso de presencia de rayería o fuertes lluvias se suspendía la labor.

#### **Fijación de CO<sub>2</sub> del cultivo:**

Método de cálculo: Diferencia de existencias se basa en la ecuación que se plantea en la figura 7, este método se basa en los cambios que suceden de un momento a otro.

<p><b>ECUACIÓN 2.5</b></p> <p><b>CAMBIOS EN LAS EXISTENCIAS DE CARBONO EN UN DEPÓSITO DADO SEGÚN LA DIFERENCIA ANUAL PROMEDIO ENTRE ESTIMACIONES EN DOS MOMENTOS DIFERENTES (MÉTODO DE DIFERENCIA DE EXISTENCIAS)</b></p> $\Delta C = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)}$
--

**Figura 8 Ecuación Método de diferencia de existencias**

Donde:

$\Delta C$  = cambio en las existencias anuales de carbono del depósito, ton C año<sup>-1</sup>

(fijación de CO<sub>2</sub> en un año)

$C_{t1}$  = existencias de carbono del depósito en el momento  $t_1$ , ton C

$C_{t2}$  = existencias de carbono del depósito en el momento  $t_2$ , ton C

$t_2$  = Fecha de medición en campo

$t_1$  = Fecha de siembra

Se presenta el cálculo aplicado para alcanzar  $C_{t1}$  o  $C_{t2}$ , la diferencia recae en el valor de la biomasa, para el primer caso corresponde al peso de los hijos y en el segundo al peso recolectado en el campo para plantas adultas.

**$C_{t1}$  o  $C_{t2}$**  = Biomasa (kg) x Fracción de carbono (%) x Balance de masas / conversión a ton

Donde;

Biomasa (kg): Peso de hijos/plantas adultas

Fracción de carbono (%): Contenido de carbono (resultado del análisis en laboratorio que se observa en la figura 8)

Balance de masas:  $CO_2/C = 44/12 = 3,67$  (constante)

Conversión a ton: 1000

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA		CIUDAD DE LA INVESTIGACIÓN LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES		CIA Centro de Investigaciones Agronómicas	
<b>REPORTE DE ENSAYO</b> RE-R01 (V6)					
Nº DE REPORTE:	<b>97041</b>				
USUARIO:	AMBERE CONSULTORES AMBIENTALES				
RESPONSABLE:	ZANNYA CORDOBA UMAÑA	UBICACIÓN:	ALAJUELA, SAN CARLOS, VENEZIA	FECHA DE RECEPCIÓN:	30/09/2025
CORREO:	consultores ambere@gmail.com,	CULTIVO:	PIÑA	EMISIÓN DE REPORTE:	10/10/2025
TELEFONO:	8866-6155	ANÁLISIS:	CN	Nº DE MUESTRAS:	1
				PÁGINA:	1/1
<b>ANÁLISIS QUÍMICO FOLIAR</b>					
				<b>C</b>	
				<b>43,36</b>	
ÚLTIMA LÍNEA DE RESULTADOS					
OBSERVACIONES: Se procesa la planta completa,					

**Figura 9 Fracción de Carbono**

**Ct<sub>1</sub>:**

Según el histórico de la organización, en el lote 4 se plantaron hijos clasificados como “GP”, con un peso promedio de 0,250 kilogramos (biomasa para t1), plantados con fecha 2 de agosto del 2024. En el lote 5 los hijos se clasificaron como “GMP”, con un peso promedio de 0,350 kilogramos (biomasa para t1), plantados con fecha 31 de julio del 2024.

A continuación, se presenta un ejemplo de aplicación para cálculo de Ct<sub>1</sub> en semilla tipo GMP:

$Ct_1 \text{ o } Ct_2 = \text{Biomasa (kg)} \times \text{Fracción de carbono (\%)} \times \text{Balance de masas} /$   
conversión a ton

$$Ct_1 = 0,350 \text{ kg} \times 43,36\% \text{ (según figura 8)} \times 44/12 / 1000$$

$$Ct_1 = 0,00056$$

**Ct<sub>2</sub>:**

Este carbono correspondió propiamente al de las mediciones realizadas del 28 de agosto al 10 de septiembre del 2025 para las plantas que proceden del GP y del 10 de septiembre al 11 de septiembre del 2025 para las plantas de GMP.

En continuidad con la fórmula de cálculo para el Ct<sub>2</sub> se realiza el siguiente ejemplo en semilla GMP considerando un peso de 2,846 kg:

**Ct<sub>1</sub> o Ct<sub>2</sub> = Biomasa (kg) x Fracción de carbono (%) x Balance de masas /**  
conversión a ton

$$Ct_2 = 2,846 \text{ kg} \times 43,36\% \times 44/12 / 1000$$

$$Ct_2 = 0,00453$$

$$t_2 - t_1 =$$

Esta variable corresponde a la diferencia en días entre la fecha de siembra y la fecha en que se realizó la medición en campo, según el cuadro 2 se determinó un promedio de crecimiento entre los dos bloques para tener un resultado aplicable.

**Cuadro 2 Periodo de crecimiento de plantas de piña hasta la primera cosecha**

<b>Biomasa hijo (kg)*:</b>	<b>Promedio</b>	<b>Crecimiento (prom_ años)</b>
Lote 4 (GMP)	0,250	1,09
Lote 5 (GP)	0,350	1,11
<b>Promedio de crecimiento</b>		<b>1,10</b>

$\Delta C$

En el cuadro 3 damos continuidad con los resultados de  $Ct_1$  y  $Ct_2$ , para este caso se cuantifica la fijación total de carbono para esa planta de ejemplo.

**Cuadro 3 Fijación de carbono por planta**

$$\Delta C = \frac{0,00453 - 0,00056}{1,10} = 0,00397$$

Por tanto, esa planta de piña logró fijar un total de 0,00397 ton CO<sub>2</sub> en un año.

Para los resultados de Fruitpoint se aplicó esta metodología en una hoja de cálculo de Microsoft Excel, este cálculo se realizó para cada unidad muestreada según los datos del Anexo 4.

En el cuadro 4 se indica datos a nivel de hectárea según el bloque, esta información proporcionada por Fruitpoint muestra la cantidad de unidades cosechadas y plantadas.

**Cuadro 4 Cantidad de plantas de piña a considerar en la remoción**

	<b>Bloque 4 (GP)</b>	<b>Bloque 5 (GMP)</b>
Unidades cosechadas/ha	67450	67450
Unidades plantadas/ha	71000	71000
Mortalidad	-3550	-3550

Además, el cuadro 4 evidencia una mortalidad estimada un 5%, estos valores son propios de la organización.

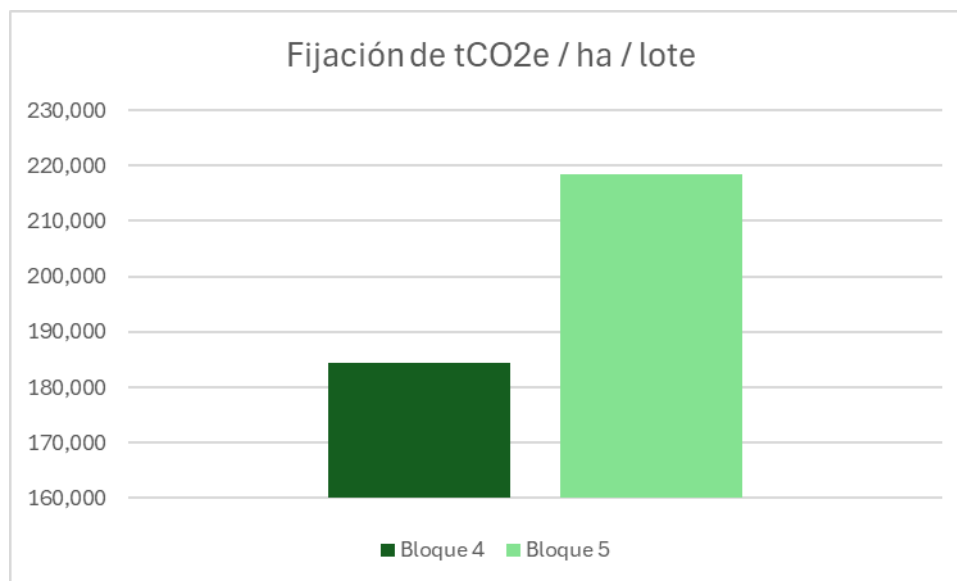
En este caso las emisiones por la descomposición de ese 5% de mortalidad no fueron consideradas en el cálculo de emisiones, no obstante, tampoco representan parte de la fijación de CO<sub>2</sub> por hectárea. El cuadro 5 proporciona un resumen de tCO<sub>2</sub>e/ha según los bloques evaluados.

**Cuadro 5 Resumen de la fijación de tCO<sub>2</sub>/ha y por tipo de semilla**

<b>Lote</b>	<b>t CO<sub>2</sub>/año/ha</b>
Lote 4	184,389
Lote 5	218,374
Promedio por ha	<b>201,381</b>

Se puede concluir según el cuadro 5, que una hectárea de piña *Ananas comosus*, remueve anualmente 201,381 tCO<sub>2</sub>e a una densidad de siembra de 71 mil individuos y una mortalidad de un 5% antes de la primera cosecha.

La figura 9 evidencia que la fijación en toneladas de dióxido de carbono es mayor en el bloque 5.



### Figura 10 Fijación de tCO<sub>2</sub>e/ha/lote

Si bien en ambos bloques se mantuvo la misma cantidad de elementos muestreados, existe diferencia en el tipo de semilla; las del lote 5 tenían pesos iniciales de 350 gramos mientras que las del 4 se encontraban en 250 gramos, esto infiere en la biomasa adulta.

### Evaluación estadística:

Para asegurar el porcentaje de error máximo permitido del 10% mencionado, se calcularon los parámetros estadísticos por tipo de semilla que vendrían siendo al mismo tiempo por bloque muestreado, se consideró un análisis que describe como los resultados de estos estadísticos afectan la confiabilidad de los valores presentados al enfrentarse con una población determina.

**Cuadro 6 Estadísticos de semilla GP**

<b>Parámetros estadísticos para el error de muestreo</b>		
<b>Indicador</b>	<b>GP</b>	<b>GMP</b>
<i>Intensidad de muestreo</i>	0,11%	0,11%
<i>n</i>	80	80
<i>*N</i>	71000	71000
<i>Promedio</i>	2,12	2,62
<i>desviación</i>	0,84	1,12
<i>cv</i>	0,09	0,12
<i>error estándar</i>	0,19	0,25
<i>% error muestreo</i>	<b>8,86%</b>	<b>9,49%</b>
<i>límite inferior</i>	1,93	2,37
<i>límite superior</i>	2,31	2,87

Los valores indicados en el cuadro 6, muestran el comportamiento de cada tipo de semilla o de bloque, mostrando ligeras variaciones principalmente en la desviación, que

podría considerarse baja y moderada según GP y GMP, y el acercamiento al máximo de error establecido, para aumentar su comprensión se amplía cada indicador a continuación;

**Intensidad de muestreo:** Proporción de la muestra respecto al total de la población.

En este caso la intensidad es baja como un valor individual.

**n:** Tamaño de la muestra (por tipo de semilla), representó 80 plantas en cada bloque.

**N:** Corresponde a la población de individuos plantados por hectárea, valor interno de la organización.

**Promedio:** Es el valor central del conjunto de datos, en este caso sobre el cálculo de biomasa en kilogramos de las plantas adultas que fueron pesadas.

**Desviación estándar:** Dispersión o variabilidad de los resultados del pesaje de plantas adultas. Con valores bajos se evidencia que los datos se tienden a agrupar cerca del promedio.

**Coefficiente de variación -Cv-:** Relaciona la desviación estándar con la media obtenida de los pesajes de plantas adultas, lo que se entiende como un valor en %.

**Error estándar:** Utiliza el valor poblacional, muestral y el coeficiente de variación; se realizó con una distribución normal y una probabilidad del 95%.

**% error muestreo:** Diferencia que existe entre los resultados de la muestra y el valor real de toda la población.

**Límite inferior y superior:** Corresponde al margen de variabilidad, intervalo de donde puede ubicarse la muestra, límite inferior y superior.

Según los resultados, la intensidad de muestreo parece baja frente al total de unidades, sin embargo, se dio una baja variabilidad en la desviación estándar y en el coeficiente de variación, lo que demostró homogeneidad en los datos. El error de muestreo no alcanzó el límite del 10% y los límites inferior y superior mostraron que existe un buen nivel de confianza de que la biomasa real se encuentra dentro de esos rangos.

En la búsqueda de disminuir la intensidad del muestreo era necesario aumentar el tamaño muestral, no obstante, se dieron limitantes principalmente de tiempo y de recurso humano, así como climáticas, es importante resaltar que estos valores si son representativos estadísticamente porque los indicadores muestran promedios confiables al relacionarlo con la población.

Se visualizó que el error de muestreo se acercó más al límite esperado para la semilla GMP, así como, una variabilidad moderada en la desviación estándar, es decir, que los datos tenían algún tipo de heterogeneidad en ese bloque.

### **Emisiones de GEI**

Para determinar un posible equilibrio entre emisiones y remociones, se creó un inventario de GEI para las fuentes ubicadas en campo, en el cuadro 8 se muestran datos de consumo de referencias para un estudio de ciclo de vida de piña en Costa Rica, que según Ingwersen. W (2012) incluye estas fuentes:

**Cuadro 7 Datos de consumo por fuente de emisión**

<b>Producto</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Combustibles (diésel)	kg/ha/año	440
Combustibles (gasolina)	kg/ha/año	37,4
Fertilizante Nitrogenado	kg/ha/año	401
Fertilizante Calcio	kg/ha/año	15

Para el caso de Fruitpoint no se consideró cambio de uso de tierras porque la finca tiene más de 20 años con el mismo cultivo, tampoco emisiones que suceden en el área de empaque como energía eléctrica, ni las instalaciones donde se produce el ensilado a base de rastrojo, no obstante, si se incluye emisiones por incorporación de rastrojo verde al suelo y la labranza, aunque esta última genera emisiones tipo biogénicas antropogénicas fueron calculadas y sumadas en las toneladas de GEI.

### **Metodología de cálculo**

En los cálculos de emisiones se aplicaron factores de emisión para relacionar el dato con un GEI, se desarrolló para Dióxido de Carbono CO<sub>2</sub>, Metano CH<sub>4</sub> y Óxido Nitroso N<sub>2</sub>O.

Además, para tener una unidad común de reporte como las toneladas de dióxido de carbono equivalente tCO<sub>2</sub>e, se aplicaron potenciales de calentamiento global del último reporte del IPCC en el AR6.

Los factores de emisión publicados en Costa Rica por el Instituto Meteorológico Nacional están dados en litros para el caso de los combustibles, por ende, se realiza la

conversión usando la densidad recomendada por la Refinadora Costarricense de Petróleo (ver cuadro 9) a una temperatura de 15°, en el caso de la gasolina no existe diferencia entre usar plus o super.

**Cuadro 8 Densidad de combustibles**

<b>Densidad</b>	<b>Diésel</b>	<b>Gasolina</b>
Densidad kg/m <sup>3</sup>	820	740
Densidad kg/l	0,82	0,74

Para determinar los datos en litros se requirió calcular el volumen de los combustibles mediante una fórmula básica que considera el producto en unidades de masa como kilogramos divididos por la densidad del elemento, el cuadro 10 refleja este cálculo.

**Cuadro 9 Fórmula para cálculo de volumen**

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Masa}}{\text{Densidad}}$$

Con la densidad aplicada en los combustibles tipo gasolina y diésel, se obtiene nuevos valores representados en el cuadro 11, estos resultados finales se usaron en la metodología de cálculo para estimar las emisiones de GEI por ha.

**Cuadro 10 Datos de consumo por fuente de emisión modificados**

<b>Producto</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Combustibles (diésel)	l/ha/año	536,59
Combustibles (gasolina)	l/ha/año	50,54
Fertilizante Nitrogenado	kg/ha/año	401
Fertilizante Calcio	kg/ha/año	15

En el caso de fertilizantes nitrogenados y carbonato de calcio se utilizó los factores de emisión del IPPC en el capítulo 11 “Emisiones de N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados y emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la aplicación de cal y urea”, usando la base del 2006 y el refinamiento 2019.

La base de fertilizante que se consideró fue 10-30-10 o más conocida como NPK, es decir con una base de nitrógeno N al 10%, fósforo P de 30% y un 10% de potasio K. En el contexto de los GEI, el nitrógeno aplicado al suelo puede transformarse en óxido nitroso N<sub>2</sub>O a través de procesos microbiológicos naturales, especialmente cuando existen condiciones que favorecen su conversión en el suelo.

En la figura 10, se detalla la fórmula general de cálculo de emisiones de GEI que fue utilizada para determinar las toneladas de dióxido de carbono equivalente, dato utilizado para comparar con los resultados de fijación de dióxido de carbono por ha.

**Figura 11 Fórmula general de cálculo de emisiones de GEI**

Donde;

tCO<sub>2</sub>e = Toneladas de dióxido de carbono equivalente

Dato = Consumo según la fuente de GEI

FE = Factor de emisión según la fuente y GEI

PCG = Potencial de calentamiento global según GEI

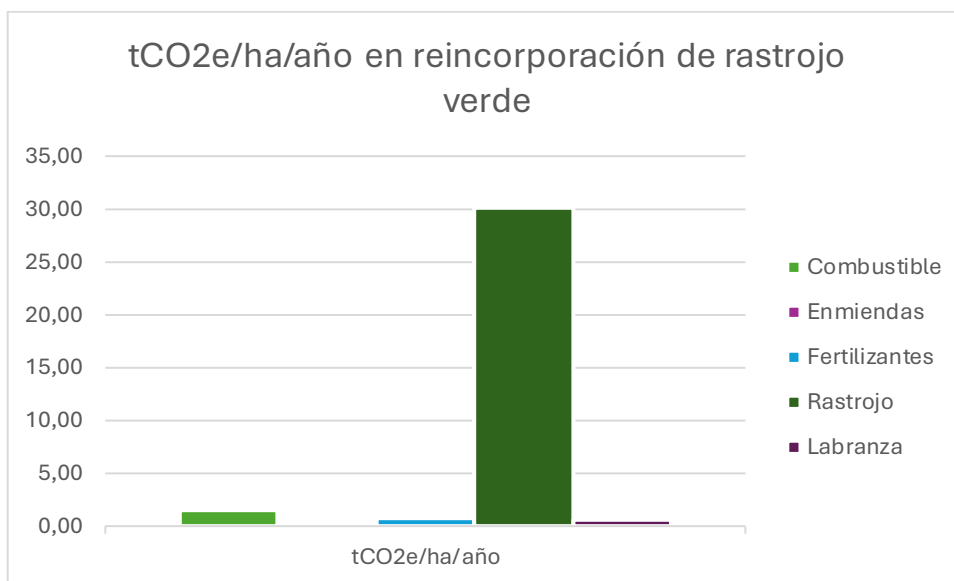
Los resultados por cada una de las fuentes de emisión presentes en la finca se detallan en el cuadro 13, estos resultados son dados en toneladas de dióxido de carbono equivalente, unidad reconocida mundialmente en términos de GEI.

**Cuadro 11 Emisiones de GEI en tCO<sub>2</sub>/ha/año por fuente**

<b>Fuente</b>	<b>tCO<sub>2</sub>e/ha/año</b>
Combustible	1,56
Enmiendas	0,01
Fertilizantes	0,80
Rastrojo	30,14
Labranza	0,60
<b>Total</b>	<b>33,11</b>

Estos valores podrían verse afectados según las prácticas operativas de cada finca, no obstante, mostramos como el residuo considerado rastrojo es el punto focal en el inventario de emisiones de GEI.

Por su parte, a nivel visual la figura 11 refleja que las emisiones de GEI en las fincas piñeras tienen gran dependencia del manejo que se emplee con el rastrojo, seguido pero muy lejano por el uso de combustibles.



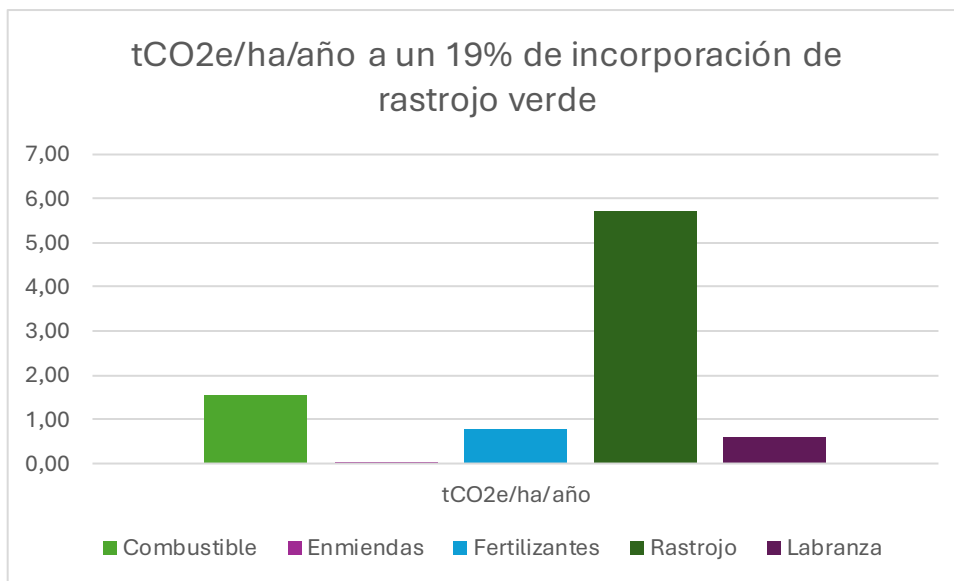
**Figura 12 tCO2e/ha/año en reincorporación de rastrojo verde**

Para el caso específico de la organización, se consideró que apenas un 19% del rastrojo se queda en el campo (Fruitpoint, 2025) y la otra parte se utiliza en la formulación del ensilado, por ende, los resultados para Fruitpoint se reflejan en el cuadro 14.

**Cuadro 12 Emisiones de GEI en tCO2/ha/año por fuente a un 19% de rastrojo verde**

<b>Fuente</b>	<b>tCO2e/ha/año</b>
Combustible	1,56
Enmiendas	0,01
Fertilizantes	0,80
Rastrojo	5,73
Labranza	0,60
<b>Total</b>	<b>8,69</b>

La figura 12 representa un compartamiento con menor varianza entre las fuentes, reflejando que si bien el rastrojo se mantiene como principal fuente de emisión se logra ubicar en valores más agrupados, no obstante, deben existir emisiones de GEI que suceden en la producción del ensilado.



**Figura 13 tCO<sub>2</sub>e/ha/año con 19% reincorporación de rastrojo verde**

Es importante mencionar que dentro de estos totales se están considerando las emisiones biogénicas antropogénicas tanto de labranza como en el rastrojo.

### **Relación entre fijación y emisión de CO<sub>2</sub>**

La fijación de CO<sub>2</sub> en promedio por hectárea es de 161 t mientras que la emisión de GEI en un tratamiento de rastrojo verde incorporado al suelo es de 33,11 tCO<sub>2</sub>e, lo que demuestra que, en un escenario de considerar el mismo periodo de cálculo, la planta de piña tiene valores de fijación superiores que las emisiones ocasionadas por el manejo en finca.

En el caso de Fruitpoint los resultados son más favorables, esto bajo la razón de que el rastrojo se emplea como materia prima para un ensilado que se comercializa en ganaderos de la zona.

## 5 CONCLUSIONES

1. Mediante el análisis de la densidad poblacional por hectárea y la fórmula de cálculo para muestra se logró determinar la cantidad de elementos representativos y con válides estadística para realizar las labores de pesaje en campo.
2. Los resultados del pesaje son valores indispensables para realizar los cálculos de biomasa, por ende, se aplicó una selección sistemática de plantas en dos lotes diferentes, esto dio oportunidad a tener amplia representatividad de la realidad en campo, es decir, desde plantas muy pequeñas con menor exposición al sol hasta plantas muy frondosas ubicadas en los bordes con alta oferta de iluminación.
3. Al seleccionar un laboratorio reconocido para determinar la fracción de carbono se extrajo un valor que representa el comportamiento específico de la piña; este proceso tuvo sus inicios recolectando una planta de piña desde el tronco hasta las hojas y trasladándolas para su análisis en hornos de secado especializados.
4. La fracción de carbono que se obtuvo corresponde a 43,36 % de Carbono, lo que se interpretó como una planta con buen contenido de fibra y agua, siendo muy similar al estándar para todo tipo de vegetación, no obstante, el valor específico da mayor credibilidad y confianza en los resultados.
5. Una planta de piña posterior a la primera cosecha en semillas de 250 gramos puede fijar 184,38 tCO<sub>2</sub>e por hectárea por año, mientras que una semilla de 350 gramos alcanza 218,37 tCO<sub>2</sub>e, en promedio 201,381 tCO<sub>2</sub>e.
6. Las emisiones de GEI en una hectárea con aplicación del 100% de rastrojo verde al suelo emite 33,11 tCO<sub>2</sub>e, considerando las emisiones biogénicas antropogénicas,

mientras que en el caso de Fruitpoint con consumos teóricos y apenas un 19% de reincorporación de rastrojo emite 8,69 tCO<sub>2</sub>e.

7. Según los valores obtenidos la fijación de carbono en una planta de piña al término de la primera cosecha es superior que la emisión que sucede en un año, teniendo como base el promedio de fijación de carbono por 201,38 tCO<sub>2</sub>e y una emisión de 33,11 tCO<sub>2</sub>e existe un residual positivo de 168,27 tCO<sub>2</sub>e.
8. Para el caso de Fruitpoint considerando una fijación promedio de 201,38 tCO<sub>2</sub>e. y un inventario de GEI por 8,69 tCO<sub>2</sub>e el remante de fijación corresponde a 191,019 tCO<sub>2</sub>e.
9. En un mismo periodo de reporte (un año) la fijación CO<sub>2</sub> supera la emisión de GEI en la producción de piña, no obstante, la fijación de dióxido de carbono se considera temporal, se requiere evaluar el ciclo completo para determinar si la emisión por su descomposición en el tiempo y la constante reproducción de hijos se podrían equilibrar para mantener en el tiempo el secuestro de carbono.
10. Si bien no existe una hipótesis declarada, se evidencia que las plantas como la piña tienen un aporte en su ciclo productivo a nivel de fijación de CO<sub>2</sub> que funciona como secuestro de carbono durante el tiempo de crecimiento de la planta.

## 6 RECOMENDACIONES

1. Para mejorar la precisión de la biomasa en el elemento inicial de siembra conocido como “hijo de piña” conviene repetir el mismo proceso de pesaje que se realizó en la planta post cosecha, realizándolo con cada uno antes del proceso de siembra.
2. Realizar la misma práctica de evaluación en el proceso post cosecha de segunda, para considerar todo el ciclo productivo de la planta, esto para discutir aspectos como la descomposición de la planta al término de la vida útil y el carbono que se mantiene almacenado en los hijos que se resiembran.
3. Estimar las emisiones de GEI con datos internos de consumo para fuentes identificadas en campo como; fertilizantes nitrogenados, diésel de maquinaria, gasolina en vehículos operativos y aguas residuales domésticas en fincas.
4. Gestionar las emisiones de GEI del subproducto “Ensilado” en la búsqueda de comparar emisiones en el escenario de reincorporación de rastrojo verde al suelo y evaluar posibles emisiones evitadas.
5. A nivel de la organización promover los resultados como parte de la narrativa comercial principalmente con clientes internacionales y establecer este estudio como un indicador ambiental anual.
6. Propiciar el consumo de fertilizantes de lenta liberación o de bases orgánicas, siendo este la segunda fuente de emisión en importancia y disponer sumideros de carbono que sean durables y permitan una remoción de CO<sub>2</sub> a largo plazo.
7. Integrar este estudio en otras fincas, con diversas prácticas de manejo y tratamiento de residuos post cosecha incluyendo piña orgánica, además, realizarlo en diversos

sectores (caribe y pacífico) nacionales para evaluar como influye la diferencia de suelos, clima y propiamente el sistema de manejo.

8. Capacitar a personal de Fruitpoint y otras fincas interesadas para darle continuidad al estudio y tener mayor representatividad científica con los resultados.
9. Coordinar con alguna instancia como CANAPEP o revista científica obteniendo la publicación de los resultados, para alcanzar comunicación masiva en el sector.
10. Indagar con diversos agentes de verificación externa y/o certificaciones ambientales la posibilidad de incluir la piña como un mecanismo de neutralización de emisiones anuales, considerando resultados en todo el ciclo productivo.
11. Fomentar una alianza sector público – privado para establecer un seguimiento de resultados con bases de datos de consulta pública que puedan ser insumos para el reporte de emisiones y remociones nacionales y la incorporación de nuevos mercados de exportación.

## 7 BIBLIOGRAFIA

- Agencia de protección ambiental de Estados Unidos [EPA], 2025. *Indicadores del cambio climático: Concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero*.  
[https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-atmospheric-concentrations-greenhouse-gases?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-atmospheric-concentrations-greenhouse-gases?utm_source=chatgpt.com)
- Aguirre, D., & Arboleda, E. (2008). Impacto ambiental del cultivo de piña y características de éste (caso Siquirres). *Ambientico*, 177(149-214), 3-8.  
[https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/18437/177\\_3-8.pdf](https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/18437/177_3-8.pdf)
- Aqua Fundación. 2025. Fotosíntesis de las plantas: ¿Cómo funciona?  
<https://www.fundacionaquae.org/wiki/fotosintesis-plantas/>
- Arbestain, M. C., & Pinto, M. (2004). Los sumideros de carbono en el marco del Protocolo de Kioto. *Edafología*, 11(1), 27-36.  
<http://www.edafologia.net/revista/tomo11a/articulo27.pdf>
- Bach, O. (2011). Agricultura, agroforestería y cambio climático. Decimoséptimo Informe Estado de la Nación 2010 (pp. 1-21). Programa Estado de la Nación, San José, Costa Rica.  
<https://repositorio.conare.ac.cr/items/c5e88506-7e4a-420d-9895-alc1edec80c5>
- Benavides Ballesteros, H. O. & León Aristizabal, G. E. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. Subdirección de Meteorología (Bogotá, Colombia). 96p. <https://www.studocu.com/co/document/universidad-de->

[cundinamarca/quimica-ambiental/gases-de-efecto-invernadero-y-el-cambio-climatico/27572280](https://doi.org/10.1016/j.cundinamarca/quimica-ambiental/gases-de-efecto-invernadero-y-el-cambio-climatico/27572280)

- Bonilla, F. L. (2011). Modelo de valoración de la gestión productiva de la piña, para su certificación. *Revista Nacional de Administración*, 2(2), 129-144. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4716514>
- Brenes, S. C., Murillo, J. H., & Cordero, W. P. (2021). Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña (*Ananas comosus*) en ultisoles de Sarapiquí, Costa Rica tomando como referencia el bosque secundario. *Perspectivas Rurales Nueva Época*, 19(37), 44-68. <https://doi.org/10.15359/prne.19-37.3>
- Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista digital universitaria*, 8(10), 1-12. ISSN: 1067-6079. [https://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art78/oct\\_art78.pdf](https://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art78/oct_art78.pdf)
- Camargo Caicedo, Y., Bolaño Ortiz, T. R., & Álvarez Mancilla, A. (2010). Emisiones de compuestos orgánicos volátiles de origen biogénico y su contribución a la dinámica atmosférica. *Intropica: Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales*, 5(1), 77-86. ISSN: 2389-7864.
- Cerda Ramírez, N. V. (2014). Competitividad y acceso al mercado centroamericano de piña producida en Nicaragua. *REICE: Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas*, 2(3), 188-207. <https://doi.org/10.5377/reice.v2i3.1455>

Cordero Rivera, A. (2012). Bosques y plantaciones forestales: dos ecosistemas diferentes. En M. A. Rodríguez Guitián & J. Ferreiro da Costa (Coords.), 2011: Año internacional dos bosques. Unha perspectiva desde Galicia (pp. 7-17). Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvemento Rural (IBADER), Universidade de Santiago de Compostela. ISSN 1698-5427.

Cruz, M. 2019. Fuentes de información.  
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icea/article/view/4864/6748>

Díaz Porras, R. A., & Monge Gutiérrez, M. J. (2019). Cadenas agroindustriales de piña en Centroamérica (Cuadernos de Política Económica 002). Heredia, Costa Rica: Centro Internacional de Política Económica para el Desarrollo Sostenible (CINPE), Universidad Nacional.  
<https://repositorio.una.ac.cr/server/api/core/bitstreams/4a947ddb-d7e5-4d8e-8220-bf20f7fdb61/content>

Dirección de Cambio Climático. s.f., Programa País Carbono Neutralidad 2.0.  
<https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2021/12/PPCN-Organizacional-2021-act.pdf>

Duarte, C. M., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo Buendía, M., Ríos, A. F., Simó, R. & Valladares, F. (2006). Cambio Global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra. CSIC. Consejo superior de investigaciones científicas.  
<https://e-archivo.uc3m.es/entities/publication/702e6cd4-f568-496c-9171-11d83e0f5751>

- Fallas Rojas, T., & Vargas, C. R. (2019). Factores de emisión de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en rastrojo de piña (*Ananas comosus* (L.) Merr. Var. *Comosus*), en San Carlos, Costa Rica. *Revista AgroInnovación en el Trópico Húmedo*, 2(1), 2-11. ISSN: 2215-5368.
- Fonseca Vargas, R., Furcal Beriguete, P., Campos Rodríguez, R., & Esquivel Segura, E. (2019). Retención de carbono en un suelo dedicado al cultivo de piña (*Ananas comosus* (L.)) bajo un manejo convencional y de mínima labranza. *Revista Tecnología en Marcha*, 32(4), 116-132. <https://doi.org/10.18845/tm.v32i4.4797>
- García Martínez, R., León Bañuelos, L. A., Montoya Jiménez, J. C., & Tenorio Calixto, M. (2025). Almacén de carbono en las plantaciones forestales como estrategia para la mitigación del cambio climático. *Ciencia Latina: Revista Multidisciplinar*, 9(1), 6762-6778. ISSN: 2707-2215.
- Garriz, A. (1998). Una revisión crítica del calentamiento global y de la hipótesis de su origen antropogénico. *Educación Química*, 9(3), 124-127. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.1998.3.66552>
- Gobierno de Costa Rica, 2021. Plan Nacional de Descarbonización Costa Rica. <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2019/02/PLAN.pdf>
- González, M. R. M., Padrino, M. V. C., Ramírez, E. M., & García, M. F. (2005). Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero en la agricultura. *Ingeniería de recursos naturales y del ambiente*, Volumen II (4), 14-18. <https://www.redalyc.org/pdf/2311/231117588003.pdf>
- Gómez Calderón, N., Rodríguez Yánez, J. E., Fernández Fernández, E. F., Gómez Calderón, N., Rodríguez Yánez, J. E., & Fernández Fernández, E. F. (2021). Gases de efecto

invernadero emitidos por los vehículos agrícolas en Costa Rica. Cuadernos de Investigación UNED, 13(1). <https://doi.org/10.22458/urj.v13i1.3278>

Gómez, M. 2006. Introducción a la metodología de la investigación científica.

[https://www.google.co.cr/books/edition/Introducci%C3%B3n\\_a\\_la\\_metodolog%C3%ADa\\_de\\_la\\_in/9UDXPe4U7aMC?hl=es-419&gbpv=1&dq=que+es+una+fuelle+primaria+y+secundaria+en+la+investigaci%C3%B3n+cientifica&pg=PA52&printsec=frontcover](https://www.google.co.cr/books/edition/Introducci%C3%B3n_a_la_metodolog%C3%ADa_de_la_in/9UDXPe4U7aMC?hl=es-419&gbpv=1&dq=que+es+una+fuelle+primaria+y+secundaria+en+la+investigaci%C3%B3n+cientifica&pg=PA52&printsec=frontcover)

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2025, septiembre 4). Global Warming of 1.5 °C. IPCC.

<https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/glossary/>

Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático (IPCC). (2018). Anexo I:

Glosario [Matthews, J. B. R. (Ed.)]. En Calentamiento global de 1,5 °C: Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C ... (versión en español).

[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15\\_Glossary\\_spanish.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15_Glossary_spanish.pdf)

Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático (IPCC). (2014). Anexo

II: Glosario [K. J. Mach, S. Planton y C. von Stechow (eds.)]. En Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del IPCC (pp. 127-141).

[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/03/AR5\\_SYR\\_Glossary\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/03/AR5_SYR_Glossary_es.pdf)

- ICI Business. 2022. El potencial del mercado europeo para las piñas frescas. <https://www.cbi.eu/market-information/fresh-fruit-vegetables/pineapples/market-potential>
- Ilakiya, T., Parameswari, E., Swarnapriya, R., Yazhini, G., Kalaiselvi, P., Davamani, V., Singh, S., Vinothini, N., Dharani, C., Garnepudi, S. L., & Ajaykumar, R. (2024). Unlocking the Carbon Sequestration Potential of Horticultural Crops. *Journal of Carbon Research*, 10(3), 65. <https://doi.org/10.3390/c10030065>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía & Universidad de Guadalajara. (2012). Importancia y distribución de los cultivos perennes en los Estados Unidos Mexicanos: Censo Agropecuario 2007 (Monografía). ISBN 978-607-494-325-2
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2019). INTE/ISO 14064-1:2019. 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 (Norma idéntica a ISO 14064-1:2018). INTECO.
- Instituto Meteorológico Nacional. (2025, septiembre 4). Cambio climático. Programa de Cambio Climático. <http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/cambio-climatico/cambio-climatico/>
- Ingwersen, Wesley. (2012). Life cycle assessment of fresh pineapple from Costa Rica. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652612002661?via%3Dihub>
- Lasco, R. D., Ogle, S., Raison, J., Verchot, L., Wassmann, R., Yagi, K., Bhattacharya, S., Brenner, J. S., Daka, J. P., González, S. P., Krug, T., Li, Y., Martino, D. L.,

- McConkey, B. G., Smith, P., Tyler, S. C., & Zhakata, W. (2006). Capítulo 5: Tierras de cultivo. En 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volumen 4 Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (pp. 5.1-5.63). Instituto para las Estrategias Ambientales Globales (IGES). [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4\\_Volume4/V4\\_05\\_Ch5\\_Cropland.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_05_Ch5_Cropland.pdf)
- Lim Kim Choo, L. N., & Ahmed, O. H. (2014). Partitioning Carbon Dioxide Emission and Assessing Dissolved Organic Carbon Leaching of a Drained Peatland Cultivated with Pineapple at Saratok, Malaysia. *The Scientific World Journal*, 102(22), 10759-10762. <https://doi.org/10.1155/2014/906021>
- Magos López, N. A. (2016). La fotosíntesis CAM [Infografía]. Repositorio Institucional, Universidad Veracruzana. <https://cdigital.uv.mx/server/api/core/bitstreams/90e0da2d-5069-4dbf-84dc-e93751afae53/content>
- Marca Huamancha, C., Borjas Ventura, R., Rebaza Fernández, D., Bello Amez, S., & Julca Otiniano, A. (2018). Efecto de la fertilización mineral y de un fertilizante biológico en piña [*Ananas comosus* (L.) Merr.] en el cultivar MD2 ('Golden'). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(1), 59-68. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7901>
- Marulanda Marulanda, V. (2021). Análisis de la relación entre el precio y el consumo de piña orgánica [Tesis Postgrado, Universidad EAFIT]. <https://hdl.handle.net/10784/30894>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (1991). Piña. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-0543.pdf>

- Ministerio de Ambiente y Energía. (2025, septiembre 4). Plan Nacional de Descarbonización. Dirección de Cambio Climático. <https://cambioclimatico.minae.go.cr/wp-content/uploads/2019/11/PLAN-NACIONAL-DESCARBONIZACION.pdf>
- Miñano, E. V., Baker, T. R., Banda-R, K., Coronado, E. H., Monteagudo, A., Phillips, O. L., Torres, D. D. C., Rios, W. F., Flores, G., Huaman, D., Huaman, K. T., Pizango, G. H., Aleman, E. L., Melo, J. B., Pickavance, G. C., Rios, M., Rojas, M., Salinas, N., & Martinez, R. V. (2018). En el sumidero de carbono en los bosques primarios amazónicos es una oportunidad para lograr la sostenibilidad de su conservación. *Folia Amazónica*, 27(1), 101-109. <https://doi.org/10.24841/fa.v27i1.456>
- Mishra, A. P. (2022). Soil fertility and carbon sequestration potential of Teak-Pineapple agroforestry system under coastal rainfed agro-ecological situation [Tesis de maestría]. Odisha University of Agriculture and Technology.
- Naciones Unidas. 2007. De Estocolmo a Kioto: Una breve historia del cambio climático. [https://www.un.org/en/chronicle/article/stockholm-kyoto-brief-history-climate-change?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.un.org/en/chronicle/article/stockholm-kyoto-brief-history-climate-change?utm_source=chatgpt.com)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2025, septiembre 4). ¿Qué es el cambio climático? FAO. <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2024a). Guidance for sustainable fruit and vegetable production and value-chain management. FAO. <https://openknowledge.fao.org/items/02869ac3-208c-4bdc-9043-e4cc45083dc6>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2024b). Medición de las huellas de carbono y agua en la cadena de valor de la piña [Guía metodológica]. FAO. <https://doi.org/10.4060/cd1688es>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2017). Guía Metodológica para la Huella de Carbono y la Huella de Agua en la Producción Bananera [Guía metodológica]. FAO. ISBN 978-92-5-130108-1
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático, 2021. Cambio Climático 2021. Un resumen para todo el mundo. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/outreach/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SummaryForAll\\_Spanish.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/outreach/IPCC_AR6_WGI_SummaryForAll_Spanish.pdf)
- Portal Frutícola. 2012. Costa Rica: Ganaflor, primera finca piñera que conoce su huella de carbono y buscará neutralidad. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2012/06/05/costa-rica-ganaflor-primera-finca-pinera-que-conoce-su-huella-de-carbono-y-buscara-neutralidad/>
- Refinadora Costarricense de Petróleo. 2023. Ficha de datos de seguridad diésel. <https://www.recope.go.cr/wp-content/uploads/2023/05/FDS-Diesel-V2-2023-.pdf>
- Refinadora Costarricense de Petróleo. 2023. Ficha de datos de seguridad gasolina superior. <https://www.recope.go.cr/wp-content/uploads/2023/05/FDS-Gasolina-Superior-2023-V3.pdf>
- Rodríguez, J. C., Saiz Rodríguez, J. A., Lizárraga Celaya, C., López Avendaño, J. E., Yopez González, E., Ochoa Meza, A., Rodríguez Casas, J., Paz Pellat, F., & Watts Thorp, C. (2018). Los agroecosistemas ¿funcionan como sumidero de carbono? En Estado

actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México 2018 (Cap. 1.9). Universidad de Sonora. [https://www.researchgate.net/publication/331287639\\_Los\\_agroecosistemas\\_funcionan\\_como\\_sumidero\\_de\\_carbono](https://www.researchgate.net/publication/331287639_Los_agroecosistemas_funcionan_como_sumidero_de_carbono)

Rodríguez Escriba, R. C., Rodríguez Cartaya, I. D., Lorente, G. Y., López, D., Izquierdo, R. E., Borroto, L. S., Bonet, C., Garza García, Y., Aragón, C. E., Podestá, F. E., Rodríguez, R., & González Olmedo, J. L. (2016). Efecto del déficit hídrico sobre cambios morfo-fisiológicos y bioquímicos en plantas micropropagadas de piña 'MD-2' en la etapa final de aclimatización. *Cultivos Tropicales*, 37(no. Especial), 64-73. ISSN: 0258-5936.

Saynes Santillán, V., Etchevers Barra, J. D., Paz Pellat, F., Alvarado Cárdenas, L. O., Saynes Santillán, V., Etchevers Barra, J. D., Paz Pellat, F., & Alvarado Cárdenas, L. O. (2016). Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 83-96. ISSN: 0187-5779.

Sistema Nacional de Consulta Jurídica, 1994. Convenio Marco de Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (ONU). [https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=21871&nValor3=23213&strTipM=TC](https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=21871&nValor3=23213&strTipM=TC)

Vargas, V. (2009). Manejo técnico del cultivo de piña. Instituto Nacional de Innovación Agraria; Folleto técnico. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/180>

Yepes, A., & Buckeridge, M. S. (2011). Plant responses to meteorological events related to climate change—Review. *Colombia Forestal*, 14(2), 213-232. ISSN: 0120-0739.



## 8 ANEXOS

## Anexo 1: ACTA DEL PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN



## ACTA (CHARTER) DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN (TFG)

**Nombre y apellidos:** Zannya Córdoba Umaña  
**Lugar de residencia:** Ciudad Quesada, San Carlos, Alajuela.  
**Institución:** Ambere Consultores Ambientales  
**Cargo/puesto:** Administradora

Información principal y autorización del PFG	
Fecha: 5/6/2025	<b>Nombre del proyecto:</b> Estimación de la fijación de carbono en plantas de piña MD-2 sembradas por basal en Fruitpoint, Venecia, Costa Rica
Fecha de inicio del proyecto: 25/6/2025	<b>Fecha tentativa de finalización:</b> 3 meses posterior a la fecha de inicio
<b>Tipo de TFG:</b> Tesina	
<b>Objetivos del proyecto:</b> Objetivo General: Determinar la fijación de carbono en plantas de piña de la variedad MD-2 procedentes de basales durante el ciclo productivo en Fruitpoint, Venecia, Alajuela, Costa Rica, para cuantificar su contribución en el balance de carbono de la finca a través de mediciones en campo y aplicación de metodologías reconocidas. Objetivos específicos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar el proceso de siembra, mantenimiento y cosecha de piña en Fruitpoint mediante entrevistas y flujos de procesos para la selección del diseño muestral.</li> <li>• Calcular la fracción de carbono en plantas de piña variedad MD-2 desde la etapa de siembra hasta la cosecha, utilizando análisis foliar y de tronco para determinar la cantidad de carbono almacenado del cultivo.</li> </ul>	



- Señalar la capacidad de fijación de carbono de las plantas de piña MD-2, basándose en su capacidad de captura de carbono durante todo el ciclo productivo, para ofrecer un valor concreto que contribuya al balance de carbono en las fincas piñeras.

**Descripción del producto:**

La piña ha sido a lo largo de los años uno de los productos que ha impulsado la economía de Costa Rica (Procomer, 2024), sin embargo, es uno de los cultivos más señalados en temas ambientales, por ello, muchos de los compradores principalmente europeos están fomentando que las empresas productoras ejecuten acciones en materia de gases de efecto invernadero. Si bien en la cuantificación de las emisiones de GEI se han tenido avances importantes, es necesario reconocer que como cualquier otra planta que realiza un proceso de fotosíntesis absorbe Dióxido de Carbono convirtiéndose en un sumidero de carbono temporal que es importante de mencionar durante el ciclo del cultivo.

Esta absorción de carbono busca estimar, para dotar a la empresa de un valor que le permita evidenciar el aporte propiamente por la planta en el ciclo productivo. Se realizará con un enfoque cuantitativo, dado que se va basará en medición de variables que serán analizadas con métodos estadísticos, y se requiere literatura en materia ambiental dirigida a cambio climático, en fuentes como IPCC, FAO y otras revistas científicas.

El alcance será de carácter exploratorio, es decir "el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado" (Hernández, 2010), actualmente la revisión literaria mostró que existen vagas o nulas investigaciones al respecto, únicamente el IPCC a referenciado y de forma general elementos descriptivos sobre el tema sin entrar a detalle, por ende al aplicar este alcance se tendrán una línea base que quizás no sea el fin de este tema en sí mismo, pero, si dará valor metodológico para investigaciones futuras.

**Necesidad del proyecto:**

El consumo de piña en mercados internacionales ha presentado una acelerada aceptación y la demanda ha ido en aumento, países desarrollados de Europa han establecido

+506 2283 6464  
info@uci.ac.cr  
www.uci.ac.cr

Avenida 15, Calle 25  
Barrio Escalante  
Costa Rica

Conocimiento,  
creatividad  
y conectividad



estándares de calidad para someter las importaciones de esta preciada fruta y tener así los mejores productos en sus hogares.

No obstante, los cambios sociales y ambientales han llevado a estos países a considerar otros aspectos además de la calidad para seleccionar a sus proveedores, por ello, han creado nuevos requerimientos para asegurar que el producto es cultivado con consciencia, es decir, sostenible.

El Pacto Verde una iniciativa que ha dado motivo a EU a garantizar prácticas sostenibles sobre múltiples productos entre ellos la agricultura, por ende se creó la "Ley Europea del clima" que incluye entre muchos aspectos ser carbono neutralidad 2030-2050 y para ello se establecen rutas como la "Estrategia de adaptación al cambio climático de la Unión Europea" y la estrategia "De la granja a la mesa" donde se debe garantizar que no existe fraude alimenticio en la cadena de valor, ambos, poco a poco serán fichados para empresas exportadores. (Dorgambide, 2024).

Ejemplo actual de aplicación son los formularios en línea que cada unidad organizacional debe llenar con información de sus operaciones como Blonk Sustainability Tools a favor de un comprador para conocer toda su cadena de valor y tomar acciones de reducción sobre ellas. (Blonk, 2024).

Este proyecto nace en respuesta a una parte de esas demandas ambientales que los compradores de piña han presentado a sus proveedores costarricenses, uno de gran relevancia en estos tiempos, la gestión de emisiones de GEI considerando el inventario de gases de efecto invernadero, acciones de reducción, sistemas de gestión certificados y otros. Al verse frente a estos temas las organizaciones requieren de valores con sustento metodológico para presentar ante sus partes interesadas.

Si bien existen herramientas que acerquen en valores las emisiones, no es lo mismo para el caso de las remociones en piña, por ende, para buscar equilibrar una posible ecuación entre las emisiones y las remociones se debe generar este último valor.

**Justificación de impacto del proyecto:**

+506 2283 6464  
info@uci.ac.cr  
www.uci.ac.cr

Avenida 15, Calle 25  
Barrio Escalante  
Costa Rica

Conocimiento,  
creatividad  
y conectividad



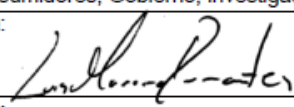

Toda planta que realiza fotosíntesis remueve Dióxido de Carbono  $\text{CO}_2$  y lo libera en forma de Oxígeno O, el cultivo de piña es uno de esos, este produce emisiones en su ciclo productivo principalmente por las prácticas humanas en la aplicación de fertilizantes que se transforman en gases de efecto invernadero, pero, también proporciona una fijación de carbono temporal que trae consigo un aporte al balance de carbono en las fincas piñeras. A nivel de sector productivo el beneficio es directo a la comunidad productora de piña, que tengan interés de sus impactos ambientales, los resultados van a colaborar a la mejora de la imagen de la organización, mantener y mejorar oportunidades de negocios con clientes internacionales, así mismo, podrán atribuir un valor de carbono fijado en el cálculo del inventario de gases de efecto invernadero y llegar a un posible equilibrio entre las emisiones y las remociones.

Si bien no existe un problema puntual detrás del tema si es de relevancia en la actualidad, se han estudiado otros tipos de cultivos importantes para Costa Rica como palma aceitera (Universidad Earth, s.f.) cacao (Andrade, 2008), café, (Segura, 2006) sin embargo, la piña es uno de nuestros principales motores de exportación y requiere de este tipo de recursos para asegurar una ventaja competitiva.

Otro aporte del tema es dirigido a nivel de investigación, si bien el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, 2006, sugiere que los cultivos temporales tienen una relación neutral entre las emisiones y las remociones, sin embargo, existe un gran vacío de información que demuestre esta afirmación, más en piña considerando que la renovación del cultivo se hace tras la segunda cosecha que puede significar hasta dos años. Los resultados podrán ser replicados y será línea base de otras investigaciones tanto en este cultivo como en otros empleando la metodología que se propone para este caso.

Existen contribuciones indirectas resultado de la investigación en política pública y cumplimiento de normativas, por ejemplo, contribuir a las estrategias de mitigación de cambio climático nacionales e internacionales, acceder a nuevos mercados y con visión a



<p>estándares de sostenibilidad y puede ser insumo para la toma de decisiones técnicas sobre manejo de la plantación.</p> <p>Para el cumplimiento de la investigación Fruitpoint otorgará las muestras para estudio, para el pesaje se cuenta en forma de préstamo con balanzas digitales de la Universidad Técnica Nacional, para el análisis de las pruebas de laboratorio se cuenta con financiamiento de la empresa Ambere Consultores Ambientales, por ende, se cuenta con recursos suficientes para que se cumplan los objetivos propuestos.</p>	
<p><b>Restricciones:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Logísticas: acceso a la plantación, disponibilidad de las balanzas, limitaciones en tiempo y representatividad del muestreo.</li> <li>2. Técnicas: Conocimiento en la aplicación de metodologías de cálculo, escasas de fuentes relevantes y actualizadas.</li> <li>3. Naturales: Condiciones climáticas y alteración del elemento por condiciones fitosanitarias.</li> </ol>	
<p><b>Entregables:</b></p> <p>Borradores de la entrega final del Proyecto Final de Graduación – PFG. Se entregará el documento PFG Informe técnico a la empresa Fruitpoint</p>	
<p><b>Identificación de grupos de interés:</b></p> <p>Cliente(s) directo(s): Fruitpoint, otros agricultores de piña, cámara de piñeros. Cliente(s) indirecto(s): Consultores ambientales, consumidores, Gobierno, investigadores.</p>	
<p><b>Aprobado por (Tutor):</b> Mariano Barrantes Núñez</p>	<p><b>Firma:</b> </p>
<p><b>Estudiante:</b> Zannya Córdoba Umaña</p>	<p><b>Firma:</b> </p>

**Anexo 2: Estructura de trabajo**

N°	EDT	Nombre de tarea	Duración	Predecesoras
0	<b>1.</b>	<b>Hito: Aprobación de Chárter</b>		
1	<b>1.1</b>	<b>Planificación de actividades</b>	5 días	
2	<b>1.2</b>	<b>Contenido introductorio</b>		
3	<b>1.3</b>	Antecedentes	2 días	1
4	1.3.1	Problemática	2 días	3
5	1.3.2	Justificación del problema	2 días	4
6	1.3.3	Supuestos y restricciones	2 días	5
7	1.3.4	Objetivos	2 días	6
8	<b>1.4</b>	<b>Marco teórico</b>		
9	1.4.1	Marco referencial		
10	1.4.1.1	Antecedentes de la organización	1 día	7
11	1.4.1.2	Misión y visión	1 día	10
12	1.4.1.3	Productos que ofrece	2 día	10
13	1.4.2	Otras teorías	1 día	10
14	1.4.2.1	Revisión bibliográfica	10 días	7
15	<b>1.5</b>	<b>Marco metodológico</b>		
16	1.5.1	Fuentes de información	6 días	14
17	1.5.2	Técnicas de investigación	2 días	14
18	1.5.3	Métodos de investigación	2 días	14
19	<b>1.6</b>	<b>Desarrollo</b>		
20	1.6.1	Recolección de muestras	12 días	17
21	1.6.2	Análisis de laboratorio	12 días	17
22	1.6.3	Construcción de fórmulas	20 días	20;21



**Anexo 4: Hoja de datos para cálculo de fijación de CO<sub>2</sub>**

ID	Bloque	Lote	Tipo de semilla	Fecha final de plantado	Fecha pesado
1	4	4	GP	2/8/2024	28/8/2025
2	4	4	GP	2/8/2024	28/8/2025
3	4	4	GP	2/8/2024	28/8/2025
4	4	4	GP	2/8/2024	28/8/2025
5	4	4	GP	2/8/2024	28/8/2025
6	4	4	GP	2/8/2024	28/8/2025
7	4	4	GP	2/8/2024	28/8/2025
8	4	4	GP	2/8/2024	28/8/2025
9	4	4	GP	2/8/2024	28/8/2025
10	4	4	GP	2/8/2024	28/8/2025
11	4	4	GP	2/8/2024	28/8/2025
12	4	4	GP	2/8/2024	28/8/2025
13	4	4	GP	2/8/2024	28/8/2025
14	4	4	GP	2/8/2024	28/8/2025
15	4	4	GP	2/8/2024	28/8/2025
16	4	4	GP	2/8/2024	28/8/2025
17	4	4	GP	2/8/2024	28/8/2025
18	4	4	GP	2/8/2024	28/8/2025
19	4	4	GP	2/8/2024	28/8/2025
20	4	4	GP	2/8/2024	28/8/2025
21	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
22	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
23	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
24	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
25	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
26	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
27	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
28	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
29	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
30	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
31	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
32	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
33	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
34	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
35	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
36	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
37	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
38	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025

39	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
40	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
41	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
42	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
43	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
44	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
45	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
46	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
47	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
48	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
49	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
50	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
51	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
52	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
53	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
54	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
55	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
56	4	4	GP	2/8/2024	2/9/2025
57	4	4	GP	2/8/2024	10/9/2025
58	4	4	GP	2/8/2024	10/9/2025
59	4	4	GP	2/8/2024	10/9/2025
60	4	4	GP	2/8/2024	10/9/2025
61	4	4	GP	2/8/2024	10/9/2025
62	4	4	GP	2/8/2024	10/9/2025
63	4	4	GP	2/8/2024	10/9/2025
64	4	4	GP	2/8/2024	10/9/2025
65	4	4	GP	2/8/2024	10/9/2025
66	4	4	GP	2/8/2024	10/9/2025
67	4	4	GP	2/8/2024	10/9/2025
68	4	4	GP	2/8/2024	10/9/2025
69	4	4	GP	2/8/2024	10/9/2025
70	4	4	GP	2/8/2024	10/9/2025
71	4	4	GP	2/8/2024	10/9/2025
72	4	4	GP	2/8/2024	10/9/2025
73	4	4	GP	2/8/2024	10/9/2025
74	4	4	GP	2/8/2024	10/9/2025
75	4	4	GP	2/8/2024	10/9/2025
76	4	4	GP	2/8/2024	10/9/2025
77	4	4	GP	2/8/2024	10/9/2025
78	4	4	GP	2/8/2024	10/9/2025
79	4	4	GP	2/8/2024	10/9/2025
80	4	4	GP	2/8/2024	10/9/2025

---

81	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
82	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
83	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
84	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
85	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
86	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
87	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
88	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
89	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
90	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
91	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
92	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
93	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
94	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
95	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
96	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
97	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
98	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
99	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
100	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
101	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
102	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
103	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
104	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
105	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
106	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
107	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
108	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
109	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
110	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
111	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
112	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
113	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
114	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
115	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
116	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
117	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
118	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
119	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
120	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
121	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
122	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025

123	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
124	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
125	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
126	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
127	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
128	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
129	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
130	4	5	GMP	31/7/2024	10/9/2025
131	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
132	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
133	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
134	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
135	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
136	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
137	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
138	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
139	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
140	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
141	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
142	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
143	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
144	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
145	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
146	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
147	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
148	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
149	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
150	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
151	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
152	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
153	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
154	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
155	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
156	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
157	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
158	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
159	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025
160	4	5	GMP	31/7/2024	11/9/2025

Continuación de tabla

ID	Días crecimiento	Biomasa hijo (kg)	Biomasa adulta (kg)	Incremento biomasa (kg)
1	391	0,250	3,241	2,991
2	391	0,250	2,764	2,514
3	391	0,250	3,145	2,895
4	391	0,250	2,579	2,329
5	391	0,250	2,284	2,034
6	391	0,250	2,097	1,847
7	391	0,250	3,053	2,803
8	391	0,250	1,556	1,306
9	391	0,250	2,700	2,450
10	391	0,250	2,361	2,111
11	391	0,250	2,245	1,995
12	391	0,250	2,385	2,135
13	391	0,250	1,763	1,513
14	391	0,250	1,567	1,317
15	391	0,250	0,786	0,536
16	391	0,250	1,149	0,899
17	391	0,250	1,267	1,017
18	391	0,250	3,158	2,908
19	391	0,250	2,615	2,365
20	391	0,250	2,901	2,651
21	396	0,250	2,632	2,382
22	396	0,250	2,229	1,979
23	396	0,250	2,929	2,679
24	396	0,250	1,491	1,241
25	396	0,250	2,265	2,015
26	396	0,250	2,240	1,990
27	396	0,250	3,019	2,769
28	396	0,250	3,544	3,294
29	396	0,250	1,904	1,654
30	396	0,250	2,646	2,396
31	396	0,250	2,293	2,043
32	396	0,250	1,579	1,329
33	396	0,250	3,944	3,694
34	396	0,250	3,608	3,358
35	396	0,250	3,601	3,351
36	396	0,250	2,461	2,211
37	396	0,250	2,998	2,748
38	396	0,250	2,382	2,132
39	396	0,250	3,464	3,214
40	396	0,250	2,789	2,539

41	396	0,250	1,930	1,680
42	396	0,250	1,471	1,221
43	396	0,250	2,602	2,352
44	396	0,250	4,235	3,985
45	396	0,250	3,078	2,828
46	396	0,250	1,274	1,024
47	396	0,250	2,441	2,191
48	396	0,250	1,095	0,845
49	396	0,250	3,240	2,990
50	396	0,250	1,773	1,523
51	396	0,250	1,926	1,676
52	396	0,250	2,409	2,159
53	396	0,250	1,572	1,322
54	396	0,250	2,110	1,860
55	396	0,250	1,089	0,839
56	396	0,250	0,632	0,382
57	404	0,250	0,901	0,651
58	404	0,250	2,001	1,751
59	404	0,250	2,180	1,930
60	404	0,250	1,555	1,305
61	404	0,250	0,833	0,583
62	404	0,250	0,999	0,749
63	404	0,250	1,671	1,421
64	404	0,250	1,610	1,360
65	404	0,250	1,782	1,532
66	404	0,250	2,044	1,794
67	404	0,250	1,373	1,123
68	404	0,250	0,532	0,282
69	404	0,250	1,036	0,786
70	404	0,250	1,323	1,073
71	404	0,250	3,014	2,764
72	404	0,250	2,777	2,527
73	404	0,250	1,206	0,956
74	404	0,250	0,872	0,622
75	404	0,250	1,969	1,719
76	404	0,250	1,379	1,129
77	404	0,250	2,502	2,252
78	404	0,250	1,032	0,782
79	404	0,250	1,376	1,126
80	404	0,250	1,195	0,945
81	406	0,350	3,604	3,254
82	406	0,350	4,461	4,111

83	406	0,350	3,221	2,871
84	406	0,350	1,845	1,495
85	406	0,350	1,972	1,622
86	406	0,350	5,046	4,696
87	406	0,350	4,441	4,091
88	406	0,350	4,060	3,710
89	406	0,350	2,420	2,070
90	406	0,350	4,495	4,145
91	406	0,350	2,186	1,836
92	406	0,350	4,022	3,672
93	406	0,350	3,456	3,106
94	406	0,350	1,806	1,456
95	406	0,350	4,179	3,829
96	406	0,350	4,044	3,694
97	406	0,350	2,102	1,752
98	406	0,350	2,629	2,279
99	406	0,350	3,561	3,211
100	406	0,350	4,429	4,079
101	406	0,350	2,905	2,555
102	406	0,350	2,178	1,828
103	406	0,350	2,594	2,244
104	406	0,350	1,109	0,759
105	406	0,350	1,278	0,928
106	406	0,350	2,352	2,002
107	406	0,350	2,108	1,758
108	406	0,350	2,610	2,260
109	406	0,350	2,824	2,474
110	406	0,350	3,041	2,691
111	406	0,350	2,396	2,046
112	406	0,350	1,692	1,342
113	406	0,350	2,693	2,343
114	406	0,350	2,947	2,597
115	406	0,350	2,420	2,070
116	406	0,350	4,056	3,706
117	406	0,350	1,774	1,424
118	406	0,350	2,395	2,045
119	406	0,350	1,633	1,283
120	406	0,350	2,293	1,943
121	406	0,350	1,552	1,202
122	406	0,350	2,964	2,614
123	406	0,350	2,805	2,455
124	406	0,350	4,606	4,256

125	406	0,350	2,147	1,797
126	406	0,350	3,678	3,328
127	406	0,350	1,851	1,501
128	406	0,350	0,887	0,537
129	406	0,350	1,580	1,230
130	406	0,350	1,517	1,167
131	407	0,350	2,493	2,143
132	407	0,350	1,755	1,405
133	407	0,350	1,127	0,777
134	407	0,350	1,416	1,066
135	407	0,350	2,645	2,295
136	407	0,350	4,509	4,159
137	407	0,350	3,466	3,116
138	407	0,350	1,198	0,848
139	407	0,350	0,796	0,446
140	407	0,350	0,970	0,620
141	407	0,350	1,643	1,293
142	407	0,350	2,450	2,100
143	407	0,350	1,193	0,843
144	407	0,350	1,764	1,414
145	407	0,350	1,460	1,110
146	407	0,350	1,948	1,598
147	407	0,350	2,900	2,550
148	407	0,350	1,273	0,923
149	407	0,350	4,353	4,003
150	407	0,350	4,669	4,319
151	407	0,350	3,569	3,219
152	407	0,350	3,327	2,977
153	407	0,350	4,612	4,262
154	407	0,350	3,376	3,026
155	407	0,350	0,956	0,606
156	407	0,350	1,216	0,866
157	407	0,350	2,483	2,133
158	407	0,350	2,296	1,946
159	407	0,350	2,955	2,605
160	407	0,350	1,695	1,345

Continuación de tabla

ID	Carbono (kg)	CO2 fijado	CO2 fijado/año
1	1,297	4,755	4,370
2	1,090	3,997	3,673
3	1,255	4,603	4,230
4	1,010	3,703	3,403
5	0,882	3,234	2,972
6	0,801	2,936	2,699
7	1,215	4,456	4,096
8	0,566	2,076	1,908
9	1,062	3,895	3,580
10	0,915	3,356	3,085
11	0,865	3,172	2,915
12	0,926	3,394	3,120
13	0,656	2,405	2,211
14	0,571	2,094	1,924
15	0,232	0,852	0,783
16	0,390	1,429	1,314
17	0,441	1,617	1,486
18	1,261	4,623	4,249
19	1,025	3,760	3,456
20	1,149	4,215	3,874
21	1,033	3,787	3,480
22	0,858	3,146	2,892
23	1,162	4,259	3,914
24	0,538	1,973	1,813
25	0,874	3,204	2,944
26	0,863	3,164	2,908
27	1,201	4,402	4,046
28	1,428	5,237	4,813
29	0,717	2,630	2,417
30	1,039	3,809	3,501
31	0,886	3,248	2,985
32	0,576	2,113	1,942
33	1,602	5,873	5,398
34	1,456	5,339	4,907
35	1,453	5,328	4,896
36	0,959	3,515	3,231
37	1,192	4,369	4,015
38	0,924	3,390	3,115
39	1,394	5,110	4,696
40	1,101	4,037	3,710

41	0,728	2,671	2,455
42	0,529	1,941	1,784
43	1,020	3,739	3,437
44	1,728	6,336	5,823
45	1,226	4,496	4,132
46	0,444	1,628	1,496
47	0,950	3,483	3,201
48	0,366	1,343	1,235
49	1,296	4,754	4,369
50	0,660	2,421	2,225
51	0,727	2,665	2,449
52	0,936	3,433	3,155
53	0,573	2,102	1,932
54	0,806	2,957	2,718
55	0,364	1,334	1,226
56	0,166	0,607	0,558
57	0,282	1,035	0,951
58	0,759	2,784	2,558
59	0,837	3,068	2,820
60	0,566	2,075	1,907
61	0,253	0,927	0,852
62	0,325	1,191	1,094
63	0,616	2,259	2,076
64	0,590	2,162	1,987
65	0,664	2,436	2,239
66	0,778	2,852	2,621
67	0,487	1,785	1,641
68	0,122	0,448	0,412
69	0,341	1,250	1,148
70	0,465	1,706	1,568
71	1,198	4,394	4,039
72	1,096	4,018	3,692
73	0,415	1,520	1,397
74	0,270	0,989	0,909
75	0,745	2,733	2,512
76	0,490	1,795	1,650
77	0,976	3,580	3,291
78	0,339	1,243	1,143
79	0,488	1,790	1,645
80	0,410	1,502	1,381
81	1,411	5,173	4,647
82	1,783	6,536	5,870

83	1,245	4,565	4,100
84	0,648	2,377	2,135
85	0,703	2,579	2,316
86	2,036	7,466	6,706
87	1,774	6,504	5,842
88	1,609	5,898	5,298
89	0,898	3,291	2,956
90	1,797	6,590	5,919
91	0,796	2,919	2,622
92	1,592	5,838	5,244
93	1,347	4,938	4,435
94	0,631	2,315	2,079
95	1,660	6,088	5,468
96	1,602	5,873	5,275
97	0,760	2,785	2,502
98	0,988	3,623	3,254
99	1,392	5,105	4,585
100	1,769	6,485	5,825
101	1,108	4,062	3,649
102	0,793	2,906	2,610
103	0,973	3,568	3,204
104	0,329	1,207	1,084
105	0,402	1,475	1,325
106	0,868	3,183	2,859
107	0,762	2,795	2,510
108	0,980	3,593	3,227
109	1,073	3,933	3,533
110	1,167	4,278	3,843
111	0,887	3,253	2,922
112	0,582	2,134	1,916
113	1,016	3,725	3,346
114	1,126	4,129	3,709
115	0,898	3,291	2,956
116	1,607	5,892	5,292
117	0,617	2,264	2,033
118	0,887	3,251	2,920
119	0,556	2,040	1,832
120	0,842	3,089	2,775
121	0,521	1,911	1,716
122	1,133	4,156	3,733
123	1,064	3,903	3,506
124	1,845	6,766	6,078

125	0,779	2,857	2,566
126	1,443	5,291	4,752
127	0,651	2,386	2,143
128	0,233	0,854	0,767
129	0,533	1,956	1,756
130	0,506	1,855	1,666
131	0,929	3,407	3,060
132	0,609	2,234	2,006
133	0,337	1,235	1,110
134	0,462	1,695	1,522
135	0,995	3,649	3,277
136	1,803	6,612	5,939
137	1,351	4,954	4,450
138	0,368	1,348	1,211
139	0,193	0,709	0,637
140	0,269	0,986	0,885
141	0,561	2,056	1,846
142	0,911	3,339	2,999
143	0,366	1,340	1,204
144	0,613	2,248	2,019
145	0,481	1,765	1,585
146	0,693	2,541	2,282
147	1,106	4,054	3,641
148	0,400	1,467	1,318
149	1,736	6,364	5,716
150	1,873	6,867	6,168
151	1,396	5,118	4,597
152	1,291	4,733	4,251
153	1,848	6,776	6,086
154	1,312	4,811	4,321
155	0,263	0,963	0,865
156	0,375	1,377	1,237
157	0,925	3,391	3,046
158	0,844	3,094	2,779
159	1,130	4,142	3,720
160	0,583	2,138	1,921