

ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO PARA UNA HECTÁREA  
CULTIVADA CON CAÑA DE AZÚCAR DESDE UNA PERSPECTIVA ORGÁNICA

KATHERINE BALLESTEROS MENESES

KATHERINE SOTELO GONZÁLEZ

UNIVERSIDAD ICESI

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL

SANTIAGO DE CALI

2013

ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO PARA UNA HECTÁREA  
CULTIVADA CON CAÑA DE AZÚCAR DESDE UNA PERSPECTIVA ORGÁNICA

KATHERINE BALLESTEROS MENESES

KATHERINE SOTELO GONZÁLEZ

Proyecto de Grado para optar el Título de Ingeniero Industrial

ANDRÉS LÓPEZ, BEATRIZ EUGENIA SIERRA

UNIVERSIDAD ICESI

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL

SANTIAGO DE CALI

2013

## **Nota de aceptación**

El trabajo de grado titulado “**Estimación de la Huella de Carbono para una hectárea cultivada con Caña de Azúcar desde una perspectiva Orgánica**”, realizado por las estudiantes Katherine Ballesteros Meneses y Katherine Sotelo González cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad ICESI de Cali para optar el título de Ingeniero Industrial.

---

**Presidente del jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Santiago de Cali, 6 de Diciembre del 2013**

## **DEDICATORIA**

*Quiero dedicarle este proyecto a mi familia que me han ha apoyado inalcanzablemente para poder cursar toda mi carrera, han sido mi fuerza y mi compañía en todo momento, por su apoyo incondicional, por todos esos momentos compartidos, gracias a todos por sus consejos y su paciencia, por su incondicional amor y apoyo en el transcurso de mis estudios de Pregrado.*

## **KATHERINE BALLESTEROS MENESES**

*Quiero dedicarle este proyecto a mi Madre que me ha apoyado para poder cursar toda mi carrera, que han sido mi fuerza y mi compañía en todo momento, el cual admiro y quiero con todo mi corazón y espero recompensar en los años que me queden todos sus esfuerzos. Doy gracias por sus consejos y su paciencia, por todo el apoyo en el transcurso de mis estudios de Pregrado.*

## **KATHERINE SOTELO GONZALEZ**

## 1. TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. TEMA.....	2
2.1 Título del proyecto.....	2
2.2 Definición del problema .....	2
2.3 Análisis del problema.....	2
2.4. Justificación.....	5
2.5 Delimitación y alcance.....	5
3. OBJETIVOS.....	7
3.1 Objetivo General .....	7
3.2 Objetivo del Proyecto .....	7
3.3 Objetivos Específicos .....	7
4. MARCO DE REFERENCIA .....	8
4.1 Antecedentes .....	8
4.2 Marco teórico.....	14
4.2.1 Tratados Internacionales .....	16
4.2.2 Normativas Internacionales .....	18
4.2.3 Metodologías para el cálculo de la Huella de Carbono.....	22
5. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	29
6. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO.....	33
6.1 Recursos disponibles .....	33
6.2 Equipo de Investigadores.....	34
7. DESARROLLO DEL PROYECTO .....	35
7.1 Descripción general del proceso de caña de azúcar orgánica .....	35
7.1.1 Adecuación del Terreno.....	39
7.1.3 Siembra .....	50
7.1.4 Riego .....	52
7.1.5 Fertilización.....	55
7.1.6 Control de Malezas .....	57
7.2 Evaluación de los procesos.....	58
7.2.1 Definición del alcance 1 .....	59

8.	RESULTADOS OBTENIDOS .....	80
8.1	Resultados Maquinaria.....	80
8.2	Insumos o Utilización de productos químicos.....	84
8.3	Resumen del Inventario de GEI estimado en las labores evaluadas .....	85
9.	CONCLUSIONES .....	91
10.	RECOMENDACIONES .....	93
11.	Glosario.....	100
12.	BIBLIOGRAFÍA .....	103
13.	ANEXOS.....	2

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. La proporción de algunos GEI en las atmósferas contempladas en el Protocolo de Kyoto.....	15
FIGURA 2. Alcances de los Inventarios de GEI.....	23
FIGURA 3. Pasos para identificar y calcular emisiones de GEI.....	24
FIGURA 4. Categorías que evalúa el IPCC.....	27
FIGURA 5. Equipo CO2 Meter GCH-2018 junto con sus especificaciones.....	33
FIGURA 6. Decámetro.....	34
FIGURA 7. Patrón utilizado en el subsolado de campos cultivados con caña (dos pases).....	46
FIGURA 8. Patrón utilizado en el subsolado de campos cultivados con caña (dos pases).....	47

## LISTA DE GRAFICAS

GRÁFICA 1. Índices de población mundial y consumo de azúcar (1980-2010) .....	9
GRÁFICA 2. Consumo per cápita de azúcar como función del PIB per cápita, 2010 .....	9
GRÁFICA 3. Distribución Regional de tierras de cultivo orgánicas en Colombia....	11
GRAFICA 4. Estimación Teórica y Experimental en TMCE para las labores descepada y rastrillada .....	81
GRAFICA 5. Estimación Teórica en TMCE para la labor de Corte de Semilla .....	82
GRAFICA 6. Estimación Teórica y Experimental de la labor aplicación de vinaza y compostaje.....	83
GRAFICA 7. Estimación Teórica de los insumos TMCE.....	84
GRAFICA 8. Adición de Fertilizantes CO <sub>2</sub> e.....	86
GRAFICA 9. Energía - Combustión CO <sub>2</sub> e.....	88
GRAFICA 10. Porcentaje Total de Gases de Efecto invernadero.....	89
GRAFICA 11. Porcentaje de CO <sub>2</sub> equivalente .....	90

## LISTA DE DIAGRAMAS

DIAGRAMA 1. Comité Técnico 207 de Gestión Ambiental.....	19
Diagrama 2. Diagrama de procesos de la construcción de riego y drenajes .....	42
DIAGRAMA 3. Árbol de decisión para estimar las emisiones procedentes de los vehículos todo terreno .....	60
DIAGRAMA 5. Árbol de decisiones aplicable a las emisiones directas de NO <sub>2</sub> procedentes de los suelos orgánicos.....	73

## LISTA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. Demarcación del terreno de la hectárea .....	29
ILUSTRACIÓN 2. Tipo de maquinaria identificada en los procesos a partir de fuentes móviles .....	30
ILUSTRACIÓN 3. Ciclo de la toma de datos para actualizar la herramienta .....	32
ILUSTRACIÓN 4. Nivelación .....	41
ILUSTRACIÓN 5. Movimiento de la maquinaria en la descepada .....	44
ILUSTRACIÓN 6. Proceso de descepada .....	45
ILUSTRACIÓN 7. Movimiento de la maquinaria en el subsolado .....	46
ILUSTRACIÓN 8. Rastroarado .....	47
ILUSTRACIÓN 9. Movimiento de maquinaria en surcadora .....	49
ILUSTRACIÓN 10. Organización de los paquetes de tallos de caña de azúcar ....	50
ILUSTRACIÓN 11. Alce de los paquetes al camión .....	51
ILUSTRACIÓN 12. Tabla de descripción de los tipos de riego en el Ingenio de estudio .....	53
ILUSTRACIÓN 13. Trincheras para riego .....	54
ILUSTRACIÓN 14. Aplicación de Vinaza al cultivo .....	55
ILUSTRACIÓN 15. Aplicación de Compost al cultivo .....	56

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. Instrumento Nacional de Ratificación .....	13
TABLA 2. Gases de Efecto Invernadero .....	16
TABLA 3. Descripción de los tipos de riego por tubería y por canales abiertos.....	38
TABLA 4. Lista de Chequeo de los datos necesarios para determinar la ecuación que se ajuste al proceso .....	59
TABLA 5. Componentes del combustible (Diesel-ACPM).....	63
TABLA 6. Factores de Emisión por defecto para fuentes y maquinaria móviles todo terreno para ecuación Nivel 1 .....	65
TABLA 7. Tabla con los Potenciales de Calentamiento Global .....	75
TABLA 8. Composición del fertilizante GREEN LIFE.....	78
TABLA 10. Resumen de Inventario de GEI estimado en las labores evaluadas (ton/hectárea y %/hectárea al año) .....	85

## RESUMEN

El Calentamiento Global es un problema que hoy en día afecta a la humanidad, pues la temperatura normal del Planeta ha ido ascendiendo gradualmente debido al incremento de las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Una de las causas es la contaminación atmosférica por actividades humanas o antropógenas presentes en los procesos industriales como el uso de la energía, la agricultura y la cantidad de desechos.

Hay una creciente evidencia internacional acerca de los efectos de la actividad humana sobre las modificaciones del cambio climático, lo cual lleva a que los gobiernos implementen políticas de mitigación, adaptación de las actividades económicas y productivas. De esta forma se crea la necesidad de cuantificar las emisiones de GEI de un producto, actividad o empresa y surge la Huella de Carbono como un concepto para la contribución de las organizaciones a ser entidades ambientalmente responsables y ser un elemento de concientización entre los ciudadanos para realizar prácticas más sostenibles. Con este indicador ambiental, se pretende cuantificar la cantidad de emisiones de GEI, medidas en emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente, que son liberadas a la atmósfera debido a las actividades cotidianas o a la producción de un producto.

La Huella de Carbono se ha convertido en un importante indicador en el debate público sobre cambio climático, atrayendo la atención de los consumidores, negocios, gobiernos, ONGs e instituciones que están conscientes del impacto de sus actividades en el medio ambiente y desean cuantificarlo para gestionarlo o reducirlo.

A partir de esto, el sector azucarero se encuentra interesado en estimar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de un cultivo de caña de azúcar con una perspectiva orgánica. Este proyecto titulado ***“ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO PARA UNA HECTÁREA CULTIVADA CON CAÑA DE AZÚCAR DESDE UNA PERSPECTIVA ORGÁNICA”***, se basa en la construcción de una herramienta que estime los GEI en un cultivo de caña de azúcar orgánica en las labores de descepada, rastrillada, corte de semilla, aplicación de vinaza y compostaje, y utilización de insumos orgánicos, que le permita al ingenio actualizar los datos constantemente. A futuro el inventario de GEI servirá para mejorar los procesos y obtener certificaciones por su responsabilidad social y ambiental.

## ABSTRACT

Global warming is a problem that today affects humanity, as the average temperature of the planet has been gradually ascending due to increasing concentrations of greenhouse gases (GHG). One cause is air pollution by human or anthropogenic activities present in industrial processes such as energy use, agriculture and the amount of waste.

There is growing international evidence on the effects of human activity on the changes of climate change, which leads to policies that governments implement mitigation, adaptation of economic and productive activities. Thus the need to quantify GHG emissions of a product, activity or enterprise is created and the carbon footprint is a concept for the contribution of organizations to be environmentally responsible organizations and be an element of awareness among citizens make more sustainable practices. With this environmental indicator is to quantify the amount of greenhouse gas emissions measured in CO<sub>2</sub> equivalent, that are released into the atmosphere due to daily activities or production of a product.

The carbon footprint has become an important indicator in the public debate on climate change, attracting the attention of consumers, businesses, governments, NGOs and institutions are aware of the impact of their activities on the environment and want to manage quantify or reduce.

From this, the sugar industry is interested in estimating emissions of greenhouse gases (GHG) from a sugarcane crop with an organic perspective. This project called **"CARBON FOOTPRINT ESTIMATION FOR A HECTARE WITH CANE ORGANIC PERSPECTIVE"**, is based on building a tool that estimates the GHG in a crop of organic sugar cane in the work of descepada, raked, cut seed, vinasse and composting application, and use of organic inputs, which allows you to update data constantly. A future GHG inventory will be used to improve processes and obtain certifications for its social and environmental responsibility.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Huella de Carbono es un indicador ambiental que permite medir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero que se generan de un producto, actividad o empresa. La Huella de Carbono se ha convertido en un importante indicador en el debate público sobre cambio climático, atrayendo la atención de los consumidores, negocios, gobiernos, ONGs e instituciones que están conscientes del impacto de sus actividades en el medio ambiente y desean cuantificarlo para gestionarlo o reducirlo.

A partir de esto, el sector Azucarero se encuentra interesado en el diseño de una herramienta que mida las emisiones de Gases de Efecto invernadero (GEI) que se generan en un cultivo de caña de azúcar con una perspectiva orgánica desde la preparación del suelo hasta el uso de fertilizantes. Este proyecto requiere de la profundización del sector ambiental mediante la capacidad de analizar, interpretar y comprender los diferentes factores que interactúan en el cultivo.

Este proyecto de grado además de contribuir a una mejor comprensión y aprendizaje de conceptos, metodologías, formas de evaluación y criterios a tener en cuenta en la planeación y realización de Trabajo de Pregrado en el Programa de Ingeniería Industrial en la Universidad Icesi; busca la integración y aplicación de conocimientos previos desarrollados durante la carrera profesional, fortalecimiento de aprendizaje individual y de la aplicación de ciertas competencias como trabajo en equipo, compromiso, responsabilidad, liderazgo, orientación al logro, dedicación, gestión de conocimiento, como también estar abiertos a sugerencias y a críticas constructivas.

Además, se espera que aporte a los Ingenios, a la carrera misma y a nuestras vidas como futuros profesionales la capacidad de gestionar, implementar y establecer estrategias con el objetivo de dar solución a necesidades académicas, empresariales y sociales de la región y del país.

## **2. TEMA**

### **2.1 Título del proyecto**

Estimación de la Huella de Carbono para una hectárea cultivada con Caña de Azúcar desde una perspectiva Orgánica.

### **2.2 Definición del problema**

Debido al aumento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), la Huella de Carbono surge como un indicador que permite contabilizar las emisiones de GEI de un producto, actividad o empresa.

Es por esto, que el sector azucarero requiere de una herramienta que le ayude a medir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el cultivo de caña de azúcar orgánica para determinar el impacto ambiental y que a futuro los ingenios puedan utilizar estos cálculos para mejorar sus procesos u obtener nuevas oportunidades de negocio.

### **2.3 Análisis del problema**

El Calentamiento Global es un problema que hoy en día afecta a la humanidad, pues la temperatura normal del Planeta ha ido ascendiendo gradualmente debido al incremento de las concentraciones de *Gases de Efecto Invernadero* (GEI). Una de las causas es la contaminación atmosférica por actividades humanas o antropógenas presentes en los procesos industriales como el uso de la energía, la agricultura y la cantidad de desechos.

Hay una creciente evidencia internacional acerca de los efectos de la actividad humana sobre las modificaciones del cambio climático, lo cual lleva a que los gobiernos implementen políticas de mitigación, adaptación de las actividades económicas y productivas. De esta forma se crea la necesidad de cuantificar las emisiones de GEI de un producto, actividad o empresa y surge la Huella de Carbono como un concepto para la contribución de las organizaciones a ser entidades ambientalmente responsables y ser un elemento de concientización entre los ciudadanos para realizar prácticas más sostenibles. Con este indicador ambiental, se pretende cuantificar la cantidad de emisiones de GEI, medidas en emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente, que son liberadas a la atmósfera debido a las actividades cotidianas o a la producción de un producto. Esto permite definir mejores objetivos, políticas de reducción de emisiones más efectivas e iniciativas de ahorros de costo. Todo esto con el fin de obtener un

mejor conocimiento de los puntos críticos para la reducción de emisiones, bajo la responsabilidad de la organización.

Según el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte indica que mejorar la gestión de las emisiones de GEI de una empresa a través del levantamiento de un inventario de GEI refleja una visión empresarial. Las empresas frecuentemente citan las siguientes cinco metas de negocios como razones para desarrollar un inventario de emisiones de GEI:

- Manejo de riesgos de GEI e identificación de oportunidad desde reducción.
- Reporte público y participación en programas voluntarios de GEI.
- Participación en programas de reporte obligatorio.
- Participación en mercados de GEI.
- Reconocimiento por actuación temprana.

De acuerdo a lo anterior, se origina el Protocolo de Kyoto en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático que fue aprobado en la Sede de las Naciones Unidas, en Nueva York, el 9 de mayo de 1992. Esta Convención es fruto de un proceso internacional de negociación a raíz de la publicación del Primer Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés).

La Convención Marco sobre el Cambio Climático busca “la estabilización de la concentración de Gases de Efecto Invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático”. Su objetivo es reducir las emisiones de GEI de los principales países industrializados y según la propuesta inicial de 1997, los países firmantes debían lograr que en el plazo que va de 2008 a 2012 esas emisiones descendieran un 5,2% por debajo de las registradas en 1990.

De acuerdo al Protocolo de Kyoto de la Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, 1998, *en el artículo 2.1, con el fin de promover el desarrollo sostenible, cada una de las partes [...] al cumplir los compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones contraídos en virtud del Artículo 3, se deberá: fomentar la eficiencia de los sectores de la economía nacional; promocionar modalidades agrícolas sostenibles a la luz del cambio climático; investigar, promocionar, desarrollar y aumentar el uso de formas nuevas y renovables de energía, de tecnologías de secuestro del dióxido de carbono y de tecnologías avanzadas y novedosas que sean ecológicamente racionales.*

Colombia dentro de su naturaleza agrícola es caracterizada por los monocultivos tecnificados como caña de azúcar, café, flores, algodón, plátano, banano, sorgo, maíz, arroz, palma africana, papa, yuca, entre otros. El sector azucarero colombiano juega un papel importante en el mercado mundial. Según los datos de la Organización Internacional del Azúcar (OIA), la producción de 2,28 millones de toneladas de azúcar durante 2007 ubicó a Colombia como el décimo tercer productor, y con la exportación de 716 mil

toneladas, el país se ubicó en ese año en la décima posición de la lista de principales exportadores de este producto en el mundo.

El sector azucarero se encuentra ubicado en el valle geográfico del río Cauca, el cual abarca 47 municipios desde el norte del departamento del Cauca, la franja central del Valle del Cauca, hasta el sur del departamento de Risaralda. Un ingenio ubicado en el Valle geográfico del río Cauca, está interesado en evaluar el impacto que tiene sus procesos respecto a los GEI desde la perspectiva de implementar un cultivo de caña de azúcar orgánica para ofrecer al mercado un producto mínimamente procesado, cultivado en tierra sana y bajo el compromiso de mantener y recuperar la fertilidad de los suelos.

Según las organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), la agricultura orgánica permite que los ecosistemas se adapten mejor a los efectos de los cambios climático ya que incrementa la circulación de los nutrientes y la energía, mejora la capacidad de retención de nutrientes y agua del suelo, como también ofrece un mayor potencial para reducir la emisión de Gases de Efecto Invernadero. De acuerdo al ingenio de estudio, las emisiones de dióxido de carbono por hectárea de los sistemas de agricultura orgánica son del 48% al 66% menor que los sistemas convencionales. Esto se logra por medio de fertilizantes orgánicos que mejoran la degradación de los suelos y reduce sustancialmente la cantidad de agua que se requiere, por su capacidad de retención debido a la materia orgánica y cobertura permanente del suelo.

El Ingenio además de trabajar en la protección de los consumidores contra riesgos innecesarios a la salud, necesita determinar el impacto generado durante el proceso del cultivo respecto a las Emisiones de Gases de Efecto invernadero, desde la adecuación y preparación de terreno, siembra, riego, fertilización y control de malezas. Para efectos del presente trabajo solo se evaluarán:

**Adecuación de Terreno:** Descepada y Rastrillada

**Siembra:** Corte de Semilla por medio de Camión

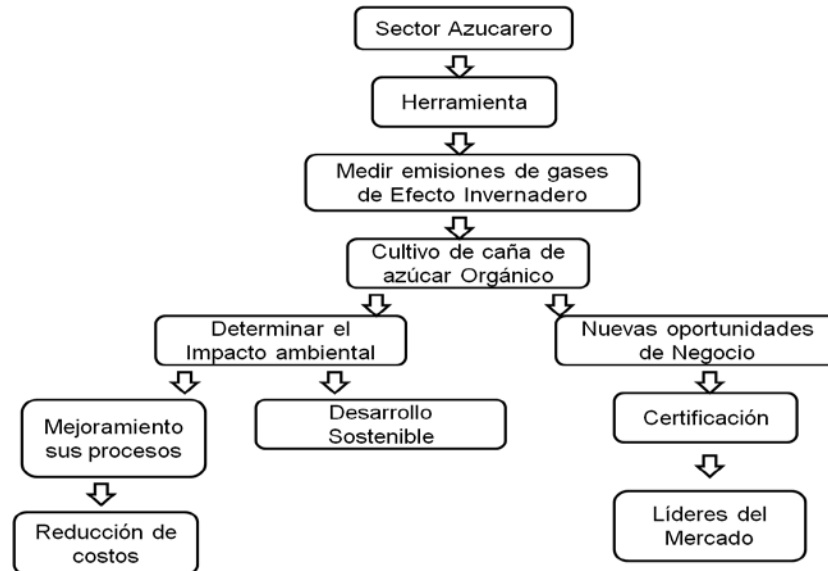
**Fertilización:** Maquinaria para aplicación de Vinaza y Compostaje; Utilización de insumos de carácter orgánico para el cultivo de caña de azúcar.

Para obtener la estimación de la Huella de Carbono generada por las labores de adecuación de terreno, siembra y fertilización en el cultivo de caña de azúcar se diseñará una herramienta en Excel que mida las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Toneladas Métricas de Carbono Equivalentes (TMCE) dadas dentro de una hectárea (66 surcos). Para el desarrollo de esta herramienta se tuvieron en cuenta los equipos, maquinaria, insumos y mano de obra en cada una de las fases del cultivo.

Por otro lado, el diseño de la herramienta permitirá nuevas oportunidades de negocio para obtener certificaciones de Huella de Carbono que den fe que el productor y el producto llenan las normas y regulaciones establecidas por una agencia u organismo, constituyendo una aceptación en el mercado a buenos

precios. A largo plazo, se podrá mejorar sus procesos y reducir costos involucrados a medida que contribuyan al desarrollo sostenible con el fin de satisfacer necesidades ambientales, económicas y sociales de la actual y futura generación.

**FIGURA 1. Diagrama del Planteamiento del Problema**



## 2.4. Justificación

La aplicación de este proyecto al entorno regional y nacional es muy amplia pues en el valle geográfico del río Cauca se encuentran localizados los trece ingenios azucareros que fabrican casi todo el azúcar producido en Colombia; es una región que posee las condiciones idóneas para el crecimiento de la caña de azúcar, por lo tanto, se ve influenciada por factores y variables que interfieren en la generación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

Con la realización de este trabajo se podrá contribuir a la aplicación de proyectos de la misma índole, a otros ingenios de la región y al país para la toma de decisiones eficaces y eficientes con conciencia ambiental sobre los sistemas que utilizan para el desarrollo de su producción, la cual deben ser sostenibles con el medio ambiente.

## 2.5 Delimitación y alcance

El proyecto de la “Estimación de la Huella de Carbono para una hectárea cultivada de Caña de Azúcar desde una perspectiva Orgánica” en un Ingenio del Valle del Cauca es de tipo Industrial Aplicado, para el cual se utilizarán

herramientas descriptivas y cuantitativas, debido a que presenta una interpretación de una realidad de hecho y se han analizado una serie de valores numéricos a partir de esta realidad de hecho, con el fin de estimar las emisiones de GEI. Éste abarca la descripción del proceso del cultivo de caña de azúcar orgánica desde la preparación del terreno hasta la aplicación de fertilizantes orgánicos cuyo desarrollo será llevado a cabo en un Ingenio del Departamento del Valle del Cauca.

Se analizará una hectárea del cultivo de caña orgánica para evaluar y estimar el impacto de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en términos de TMCE de insumos, maquinaria, equipos, entre otros. Adicional a esto, se espera diseñar en dos semestres una herramienta para ser entregada en diciembre de 2013 con su manual de uso, para que el Ingenio pueda proyectar los datos obtenidos de este trabajo en el mejoramiento de su proceso de cultivo de caña orgánica. La contribución de este proyecto al sector azucarero radica en los principios de conservación del medio ambiente y de la gestión ambiental en la agricultura orgánica.

De esta manera, la herramienta que se diseñará en el proyecto será un elemento útil que el ingenio podrá usar para mejorar sus procesos y procedimientos, los cuales van de la mano con una certificación de Huella de Carbono que garantiza un producto con menor contaminación y sin haber sido mezclado con productos no orgánicos desde el campo hasta el mercado.

Por otro lado, el proyecto quedará en una base de datos que servirá como modelo para que trabajos posteriores desarrollen diferentes actividades relacionadas, ya sea de tipo académico o empresarial que quieran profundizar en el tema de Huella de Carbono en cultivo de caña orgánica, con aplicación a la Ingeniería Industrial.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo General**

Contribuir al conocimiento de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero generadas por el Sector Azucarero.

#### **3.2 Objetivo del Proyecto**

Diseñar una herramienta para estimar la Huella de Carbono durante los procesos de descepada, rastrillada, corte de semilla, aplicación de fertilizantes y utilización de insumos orgánicos en una hectárea de cultivo de caña de azúcar.

#### **3.3 Objetivos Específicos**

- Caracterizar las diferentes fases del cultivo de caña de Azúcar orgánica desde la Adecuación y Preparación de terreno, Siembra, Riego y hasta el Control de malezas.
- Evaluar y estimar los impactos en términos de carbono en las fases del cultivo de descepada, rastrillada, corte de semilla, aplicación de fertilizantes y utilización de insumos orgánicos.
- Construir una herramienta para la estimación de la Huella de Carbono en formato digital que permita a la empresa actualizar los datos regularmente.

## 4. MARCO DE REFERENCIA

### 4.1 Antecedentes

El proceso del cultivo de caña de azúcar en Colombia se dio gracias al Conquistador español, Sebastián de Belalcázar, quien cultivó caña de azúcar en su estancia en Yumbo. Gracias a que el Valle del Cauca es rico en suelo, en recursos hídricos y las condiciones del clima favorecen el cultivo de la caña de azúcar, la planta se logra expandir por la cuenca del río Cauca y producir una cosecha durante todo el año.

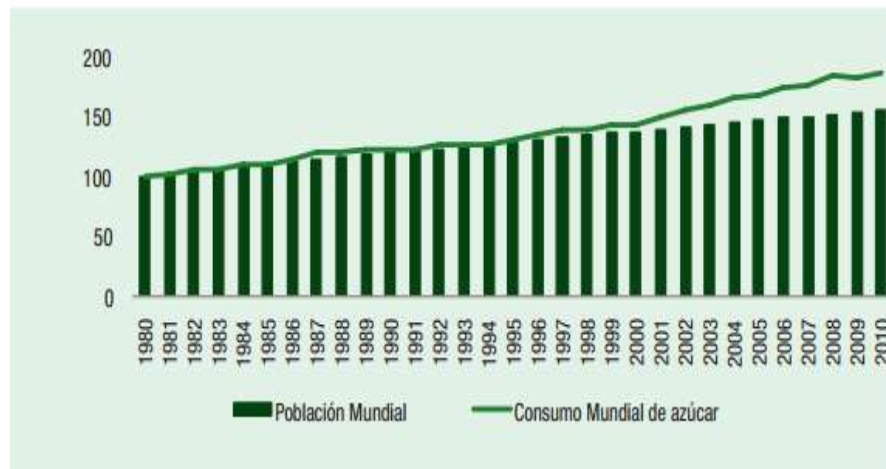
En la época Colonial, la producción de panela, azúcar y mieles fue una tarea artesanal y por lo tanto, esto fue constante hasta comienzos del Siglo XX, cuando se inauguró una moderna planta en el Ingenio Manuelita, ubicado en Palmira- Cerrito (Cassalet, *et all.*, 2000). Para el año 1930 sólo se encontraban tres ingenios en el Valle del Cauca: Manuelita, Providencia y Riopaila; desde esos años la industria azucarera empezó a expandirse en la región hasta completar 22 ingenios.

El sector azucarero ocupa una importante posición en las preferencias y gustos de la humanidad, es apreciada en todas las culturas y se ha vuelto un ingrediente indispensable en la gastronomía. Según el informe anual 2011-2012 de Asocaña el resultado es que hoy en día la caña de azúcar es el cultivo de mayor producción en el mundo. De acuerdo con los datos de la FAO, en 2010 se produjeron 1.685 millones de toneladas de caña de azúcar, el doble de la producción de maíz, que es el segundo producto agrícola del mundo en importancia.

De acuerdo con un estudio realizado por la OIA en el 2010, el crecimiento del consumo de azúcar es probablemente el factor más influyente en el mercado mundial. Este estudio se basó en dos conclusiones: una, es que el aumento de la renta o del ingreso permite que se consuma azúcar en países en desarrollo y la segunda es que el crecimiento de la población constituye el principal factor del consumo de azúcar en los mercados maduros.

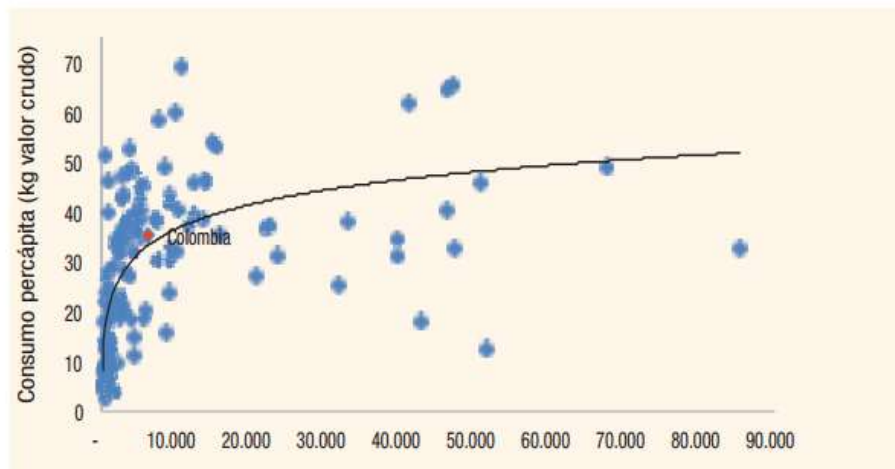
En la gráfica 1 se puede observar los índices de población mundial y consumo de azúcar (1980 – 2010) y en la gráfica 2 se puede ver el consumo per cápita de azúcar como función del PIB per cápita, 2010.

**GRÁFICA 1. Índices de población mundial y consumo de azúcar (1980-2010)**



Fuente: OIA, Banco Mundial - Elaboración: informe anual 2011- 2012 de Asocaña

**GRÁFICA 2. Consumo per cápita de azúcar como función del PIB per cápita, 2010**



Fuente: OIA, Banco Mundial - Elaboración: informe anual 2011- 2012 de Asocaña

Es por esto que la caña de azúcar dentro del Valle del Cauca toma importancia, convirtiéndose en un monocultivo, es decir, se comenzaron a sustituir cultivos como la soya, el sorgo, el algodón, el frijol, entre otros, por el de la caña de azúcar. La fabricación de este producto va desde la preparación de la caña, extracción de jugo de la caña, sulfitado y alcalizado del jugo, calentamiento, clarificación del jugo, filtración de lodos, evaporación, cristalización, centrifugación, secado hasta el envase del azúcar terminado (Cassalet, op. Cit., 1995).

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto grandes industrias se han visto en la tarea de elaborar cultivos orgánicos ya que permite la fertilización de la tierra y frena la desertificación; favorece la retención del agua y no contamina los acuíferos; fomenta la biodiversidad; mantiene los hábitats de los animales silvestres, permitiendo y favoreciendo la vida de numerosas especies; respeta los ciclos naturales de los cultivos, evitando la degradación y contaminación de los ecosistemas. Además, Los productos derivados de este cultivo son más saludables ya que están libres de residuos tóxicos.

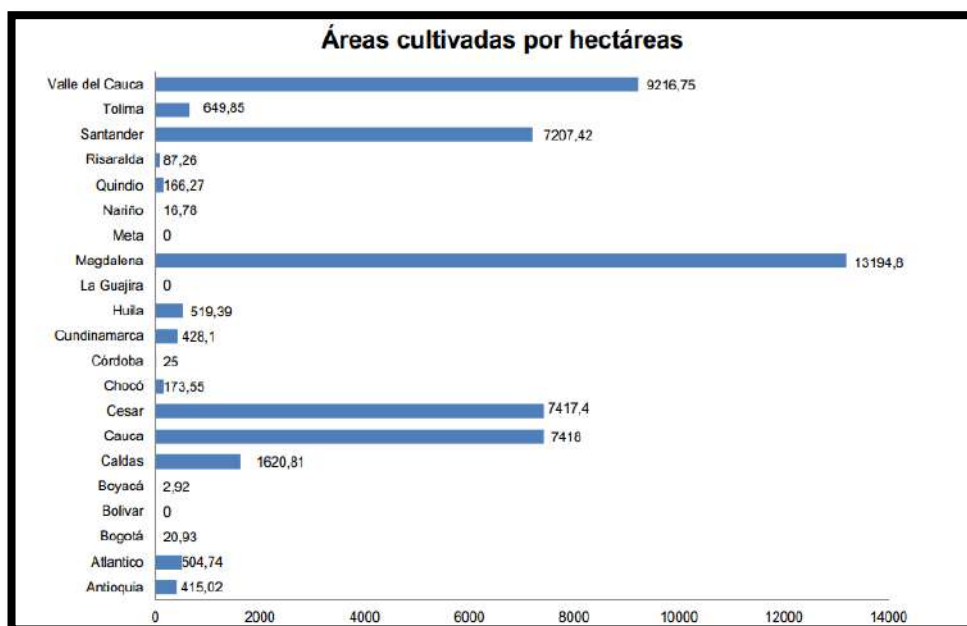
Según Proexport Colombia, Promoción de las Exportaciones para los Productos Orgánicos, 2013 indica que los productos orgánicos más representativos en el mercado Agrícola son las verduras, las hierbas secas, el Café y los Azúcares (Incluyendo la panela). Estos sectores se han visto en la tarea de elaborar cultivos orgánicos, los cuales son definidos según las Organizaciones de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) como productos orgánicos certificados que se producen, almacenan, elaboran, manipulan y comercializan de conformidad con especificaciones técnicas precisas (normas), y cuya certificación de productos "orgánicos" corre a cargo de un organismo especializado.

Cuando la entidad verifica el cumplimiento y las normas que rigen estos productos orgánicos se concede una etiqueta al producto. La etiqueta de calidad orgánica se aplica al proceso de producción, y garantiza que el producto se ha creado y elaborado en forma que no perjudique al medio ambiente.

El cultivo orgánico a base de caña de azúcar está regido por una serie de normas a nivel estatal, nacional e internacional, incluyendo las normas internacionales propuestas por el departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) que deben ser seguidas por el agricultor y el productor. El uso de químicos, fertilizantes sintéticos están prohibidos, como también, el control de las malezas y la nutrición son de interés técnico en lo que se refiere al cultivo. Adicionalmente la caña de azúcar cultivada orgánicamente es atractiva para el agricultor, detallista y productor, puesto que al tener un sello orgánico pueden alcanzar precios de 1,50 y 2,5 dólares por libra (Victoria, *op.cit.* 2000).

Proexport, menciona que el volumen del mercado en Colombia para alimentos orgánicos en el sector de la venta al por menor y gastronómico está entre 2 y 3 millones de dólares americanos (a nivel de precios de consumo). En el siguiente gráfico se puede observar la distribución regional de tierras de cultivos orgánicos en Colombia.

### GRÁFICA 3. Distribución Regional de tierras de cultivo orgánicas en Colombia



Fuente: OIA, Banco Mundial - Elaboración: informe anual 2011- 2012 de Asocaña

Según la FAO, 2008, Brasil es el principal país productor y exportador de azúcar de caña en América Latina y el Caribe. Brasil cuenta con 223 ingenios azucareros que procesan el 35 por ciento del total de la caña que se utiliza en ese país; el resto de caña se produce para producir alcohol. De hecho el aumento en la producción de azúcar obedece en buena medida a la disminución de la caña que se destina para la producción del alcohol carburante.

De todos es conocida la importancia que las exportaciones de azúcar revisten par Cuba, aunque no aparece en la lista de los países que producen caña de azúcar orgánica. A finales de la década de los 80 la participación del azúcar en las exportaciones cubanas, representó el 75 por ciento (GEPLACEA, 1990). Diez años después la producción azucarera de Cuba se redujo aproximadamente a la mitad y en la misma proporción se redujeron las exportaciones.

México ocupa el tercer lugar en la producción azucarera de la región (prom. 1992-98), su participación relativa alcanza el 14.4 por ciento del total de azúcar producido en los 20 países de América Latina y el Caribe.

La industria azucarera de Argentina, pasa por una situación difícil, los precios domésticos han caído significativamente y con el actual nivel de precios varios de los productores de azúcar podrían quebrar.

La industria azucarera de Guatemala continúa creciendo y mejorando su producción, rendimientos, capacidad, exportaciones, así como tecnología. De acuerdo con la ASAZGUA (Asociación de Productores de Azúcar de Guatemala), la industria azucarera espera incrementar su capacidad de producción un 50% para el año 2000. En Guatemala la caña de azúcar es el cultivo más rentable entre los cultivos tradicionales como el café, el banano y la palma, sin embargo, los precios bajos del azúcar de los últimos dos años han cambiado esta relación, debido a que esta industria depende en gran medida de las exportaciones al mercado internacional.

La industria azucarera de Colombia cuenta con condiciones agroclimáticas inmejorables y la contribución de CENICAÑA al proceso de transferencia tecnológica, aseguran una posición muy relevante en los rendimientos azucareros del campo cañero.

En la Conferencia de Copenhague de 2009 la mayoría de gobiernos adoptó como propósito la recomendación de los científicos de limitar el calentamiento global a menos de 2 °C. Colombia es un país limpio en materia de emisiones que causan el cambio climático; su huella ecológica de carbono fue en 2006, un 28% de la huella promedio mundial, 12 veces menor que Estados Unidos, aproximadamente 5 veces menor que la Unión Europea, la mitad de China y una tercera parte de la México (Global Footprint Network, 2009). Una economía baja en carbono trae oportunidades que el país puede aprovechar: mejores procesos productivos, construcción sostenible, productos más eficientes en su fabricación y que permiten al consumidor reducir sus emisiones; transporte y servicios con bajas emisiones, demanda de nuevos combustibles, aprovechamiento de residuos, nuevos conceptos de logística, transferencia de tecnologías y una nueva generación de negocios.

La FAO reconoce que la agricultura es una de las principales fuentes contribuyentes al cambio climático global con casi una tercera parte del aporte. Colombia, de acuerdo al último inventario de Gases de Efecto Invernadero del IDEAM (1990- 2008). El sector agrícola (incluyendo rumiantes domésticos) es el que más aporta a las emisiones de GEI, siendo responsable de un 38% del 68,566 Gg CO<sub>2</sub> equivalente. De ahí a de impulsar nuevas prácticas agrícolas que usen más eficazmente los fertilizantes, fomenten la reforestación, el aprovechamiento energético de los residuos y reduzcan las emisiones de los rumiantes.

La preocupación ambiental y las altas exigencias de mercado por encontrar productos que sean amigables con el medio ambiente, ha generado que las empresas u organizaciones tomen conciencia sobre las iniciativas de prevención y control con respecto a la contaminación.

El ingenio azucarero de estudio se ha visto en la tarea de encontrar herramientas que ayuden a medir las emisiones de dióxido de carbono. En la tesis de maestría de Ingeniería Industrial, de la Universidad Icesi de José Luis Rojas y Ángela María Concha, 2011 se ha identificado ciertos aspectos de las

labores agrícolas que generan impactos al medio ambiente, como la preparación del suelo, pues debido a la alta utilización de maquinaria (tractor) la cual está relacionada con el consumo de combustible, genera emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. En este proyecto de grado se logró diseñar una herramienta que permitió obtener cálculos de las emisiones de CO<sub>2</sub> de tres alternativas de labranza tradicional y de labranza reducida en el cultivo de caña de azúcar. El objetivo fue contribuir a la unión estratégica entre el sistema de gestión ambiental y la productividad del Ingenio.

No obstante, las Directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), tienen publicado herramientas en Excel para la estimación automática de la Huella de Carbono ingresando los datos en los campos que allí lo solicitan. Cabe aclarar que el diseño de la herramienta de este proyecto no se basó en ninguna otra herramienta, fue creación propia.

El inventario que se realizó incluyó el Sector Energía y Sector No Energía. La metodología empleada corresponde a las Directrices del IPCC de 2006. Los coeficientes de emisión usados para los cálculos de emisiones fueron aquellos valores por defecto sugeridos por el IPCC, en ocasiones en que no se dispuso de coeficientes que dieran cuenta de las condiciones propias del país.

Por otra parte, según el informe ejecutivo segunda comunicación Nacional de Colombia ante la *Comisión Mundial de las Naciones Unidas para el cambio climático* (CMNUCC) Colombia ya ha iniciado el camino hacia la adaptación al cambio climático, hay una conciencia en las instituciones nacionales por sacar del mundo de las predicciones la información científica y convertirla en pedagogía, en ciencia aplicable a la vida cotidiana. Los acuerdos que ha llegado el mundo frente al cambio climático han llegado a las leyes colombianas. En la siguiente tabla se puede observar los tratados internacionales en leyes para el país.

**TABLA 1. Instrumento Nacional de Ratificación**

Tratado Internacional	Instrumento Nacional de ratificación
Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio climático -CMNUCC-1992	Ley 164 de 1995
Protocolo de Kioto - 1997	Ley 629 de 2000

Fuente: Informe ejecutivo segunda Comunicación Nacional de Colombia ante la CMNUCC.

La CMNUCC es la herramienta jurídica y política más importante para convocar a los países del mundo a tomar compromisos serios frente al cambio climático.

Este instrumento reúne los esfuerzos encaminados a hacer frente a los desafíos a los que se enfrenta la humanidad.

En 2001 Colombia presentó la Primera Comunicación Nacional (PCN) ante la CMNUCC, coordinada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, con la participación de entidades públicas y privadas. Como resultado de esta comunicación se generaron proyecciones hasta el año 2050, referentes al aumento en la temperatura media anual del aire para el territorio nacional, la variación en la precipitación, la desaparición de los nevados y de los páramos y el ascenso del nivel del mar. Sin embargo el componente de educación, formación y sensibilización de públicos no tuvo una clara participación dentro de esta comunicación, dado que el estado de desarrollo del Artículo 6 en el marco de la CMNUCC aún no estaba avanzado, y de igual forma la relevancia de su inclusión en las medidas para enfrentar el cambio climático no se estimaba aún con la suficiente fuerza.

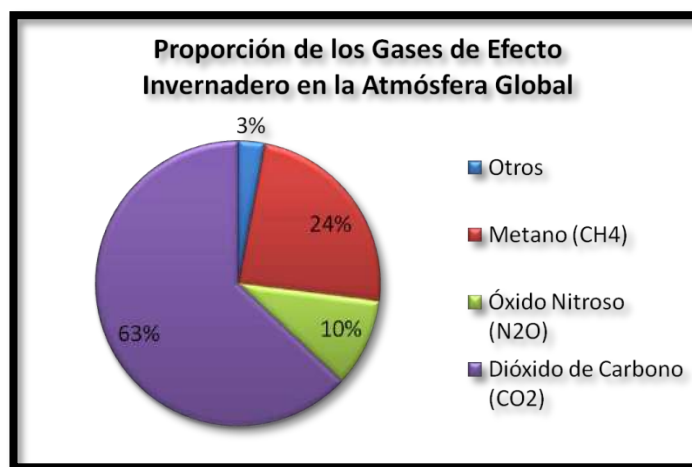
Según el informe ejecutivo segunda comunicación Nacional de Colombia ante la CMNUCC en agosto de 2002 se da la aprobación de los lineamientos de la Política Nacional de Cambio Climático, donde se incluyó la estrategia No. 5, referente a “promover la divulgación y concientización pública”. Allí se propone desarrollar un programa de comunicación nacional y regional sobre los distintos temas y conceptos asociados al cambio climático, tanto al interior del SINA como por fuera de este.

## **4.2 Marco teórico**

El Cambio Climático es un cambio significativo y duradero de los patrones locales o globales del clima, las causas pueden ser naturales, como por ejemplo, variaciones en la energía que se recibe del Sol, erupciones volcánicas, circulación oceánica, procesos biológicos y otros, o puede ser causada por influencia antropógena (por las actividades humanas), como por ejemplo, a través de la emisión de CO<sub>2</sub> y otros gases que atrapan calor, o alteración del uso de grandes extensiones de suelos que causan, finalmente, un calentamiento global.

Ahora bien, El *Calentamiento Global* es el aumento de la temperatura de la tierra, ocasionado primordialmente, por el uso de los combustibles fósiles y otros procesos industriales que llevan a una acumulación de gases en la atmósfera. Estos gases se denominan Gases de Efecto Invernadero (GEI) y son un grupo minoritario de gases que forman parte de la atmósfera los cuales pueden ser de origen natural o proveniente de las actividades humanas, que según el Protocolo de Kyoto son: vapor de agua (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), Óxido nitroso (NO<sub>2</sub>), perfluorocarbonos (PFC), Hidrofluorcarbono (HFC) y Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). Siendo los últimos tres gases emitidos industrialmente.

**FIGURA 1. La proporción de algunos GEI en las atmósferas contempladas en el Protocolo de Kyoto**



Fuente: Tomado del libro "Cambio climático y calentamiento global. Ciencia, evidencias, consecuencias y propuestas para enfrentarlos"

Como se puede observar en la anterior figura el gas que más contribuye al aumento del calentamiento global es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), siguiéndole el metano (CH<sub>4</sub>) con 24 %. El óxido nitroso tiene una concentración baja en la atmósfera, pero tiene 300 veces el efecto invernadero del CO<sub>2</sub> y dura un siglo en desintegrarse (López, 2009).

Por último, están los gases fluorados de efecto invernadero que son aquellos que no se producen de forma natural, sino que han sido desarrollados por el hombre con fines industriales. Los gases fluorados de efecto invernadero incluyen los hidrofluorocarbonos (HFC), sulfuro hexafluorido (SF<sub>6</sub>) y los perfluorocarbonos (PFC).

En la siguiente tabla 2 se observa la fuente de emisión de cada uno de los Gases de Efecto Invernadero.

**TABLA 2. Gases de Efecto Invernadero**

Gases de efecto Invernadero	Fuente
<b>Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)</b>	Gas de invernadero producido por uso de combustible fósil (petróleo, gas, carbón, etc) y por el cambio de uso de la tierra (deforestación). Este gas ha contribuido a mantener una temperatura constante dentro de la tierra, sin embargo en la actualidad, es responsable de casi el 76 % del calentamiento global previsto para los próximos años.
<b>Metano (CH<sub>4</sub>)</b>	Al igual que el CO <sub>2</sub> , es producido por la combustión de combustible fósil, asimismo, se produce en los pozos de petróleo, minas de carbón al aire libre, cultivos de arroz y por la por la digestión alimenticia de los animales.
<b>Oxido Nitroso N<sub>2</sub>O</b>	Liberado por la combustión de vehículos motorizados Diesel, así como el empleo de fertilizantes nitrogenados.
<b>Vapor de Agua (H<sub>2</sub>O)</b>	Por evaporación, ebullición del agua líquida o por sublimación del hielo.
<b>Ozono (O<sub>3</sub>)</b>	Presente en la estratosfera y la troposfera.
<b>Hidrofluorocarbonos o HFC</b>	Es usado por el hombre como disolvente para los aerosoles, refrigerantes y dispersores de espuma de uso industrial y doméstico.
<b>Perfluorocarbonos o PFC</b>	Es provocado por la acción del hombre por la producción de aluminio por electrólisis.
<b>Hexafluoruro de azufre o SF<sub>6</sub></b>	Provocado por la acción del hombre en la producción de magnesio

Fuente: Colque *et al*, (2007)

#### 4.2.1 Tratados Internacionales

Una vez el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático 1988, reconoce científicamente el problema del calentamiento global, se establecen tratados y convenciones internacionales con el objetivo de exponer la problemática y comprometer a países desarrollados y subdesarrollados a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero al medioambiente.

##### 4.2.1.1 Convención de las Naciones unidas sobre el Cambio Climático (CMNCC), 1992

En la *Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNCC)*, se reconoció y se mostró la fuerte preocupación de que las actividades humanas han ido aumentando sustancialmente las concentraciones de GEI en la atmósfera, dando como resultado, un calentamiento adicional que puede afectar los ecosistemas naturales y a la humanidad. De esta manera, se plantea como objetivo la estabilización de los GEI, que en un plazo

suficiente permita que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático para asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permita el desarrollo económico de forma sostenible. Para esto, todas las Partes deberán elaborar, actualizar periódicamente y publicar inventarios nacionales de las emisiones antropógenas por las fuentes; formular, aplicar, publicar y actualizar programas nacionales orientados a mitigar el cambio climático, como también difundir tecnologías, prácticas y procesos que controlen o reduzcan las emisiones de GEI.

Si bien Colombia ratificó la Convención mediante la Ley 164 de 1994.

#### **4.2.1.2 Protocolo de Kyoto (1997)**

*El Protocolo de Kyoto* tiene como objetivo la limitación de emisiones netas de GEI para los principales países desarrollados y con economías en transición. Compromete a los países desarrollados a que reduzcan las emisiones de los seis GEI en no menos del 5% al menor costo posible y que apoyen a la sostenibilidad de los países en desarrollo. Cabe resaltar que la principal diferencia entre el Protocolo de Kyoto y la Convención es que si bien la Convención alentó a los países industrializados a estabilizar las emisiones de GEI, mientras que el Protocolo los compromete a hacerlo.

Los mecanismos flexibles expuestos en el Protocolo se fundamentan en Mecanismos para un desarrollo limpio, implementación conjunta y en el comercio de emisiones. De 188 partes de la convención, 84 firmaron el Protocolo de Kyoto y 120 (32 países industrializados) lo ratificaron (representando el 44,2% de las emisiones al año de 1990).

De esta manera, *La Huella de Carbono (HC)* adquiere importancia cuando la sociedad global se percata que las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) causadas por el hombre tienen un impacto directo sobre el actual calentamiento global que sufre el planeta. Es un indicador que trata de cuantificar la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero expresada TMCE, las cuales son liberadas a la atmósfera como resultado de intervenciones humanas. Mide todas las actividades de un proceso que describe el ciclo de vida de un producto, desde las materias primas utilizadas hasta el desecho final como residuo, por lo que el consumidor puede tener una idea del potencial de contaminación de los productos que consume (Viglizzo.opcit. 2010).

Existen dos tipos de Huella de Carbono, una es la Corporativa y otra la del Producto.

La Huella de Carbono Corporativa, mide las emisiones GEI de todas las actividades que lleva a cabo una organización, incluyendo las emisiones derivadas del consumo de los edificios que ocupa, las procedentes de los procesos industriales y las generadas por los vehículos que se utilicen.

Por otro lado, la Huella de Carbono de Producto mide los gases con efecto invernadero emitidos durante todo el ciclo de vida de un producto o servicio: desde la extracción de las materias primas, pasando por el procesado y fabricación y distribución, hasta la etapa de uso y final de la vida útil (depósito, reutilización o reciclado).

La Huella de Carbono puede fortalecer las relaciones entre compañías y proveedores, particularmente si esto implica oportunidades de ahorros en los costos sobre de la cadena de proveedores. Al informar la Huella de Carbono de un producto, se genera un compromiso por parte de los consumidores por reducir su propio impacto sobre el cambio climático y además se crea conciencia por parte de los países desarrollados a diferenciar entre productos basado en su compromiso de reducir emisiones.

De acuerdo a Bosques PROcarbono UACH (Facultad de Ciencias Forestales de Universidad Austral de Chile que tiene por objeto contribuir a la difusión y formación de capacidades para formular proyectos forestales que contribuyan a la mitigación del cambio climático) el certificado de la Huella de Carbono no es obligatorio, pero muchas empresas están interesadas en que sus productos lleven la etiqueta que certifica los valores de CO<sub>2</sub> de sus productos y de esta manera los consumidores puedan optar por productos más sanos y menos contaminantes.

## **4.2.2 Normativas Internacionales**

### **4.2.2.1 Grupo intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)**

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) es el principal organismo internacional que para la evaluación del cambio climático. Fue establecido por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en 1988 para ofrecer al mundo una visión científica clara sobre el estado actual del conocimiento sobre el cambio climático y sus posibles impactos ambientales y socio-económicos. En el mismo año, la Asamblea General de la ONU aprobó la acción por la OMM y el PNUMA para establecer conjuntamente el IPCC . El IPCC es un organismo científico bajo los auspicios de las Naciones Unidas (ONU). Revisa y evalúa la información científica, técnica y socioeconómica más reciente producción mundial relevantes para la comprensión del cambio climático.

El IPCC al ser un órgano intergubernamental, está abierto a todos los países miembros de las Naciones Unidas (ONU) y la OMM. Actualmente 195 países son miembros del IPCC. Los gobiernos participan en el proceso de revisión y de las sesiones plenarias, donde se toman las principales decisiones sobre el

programa de trabajo del IPCC y se aceptan los informes, adoptados y aprobados.

Debido a su naturaleza científica e intergubernamental, el IPCC representa una oportunidad única para proporcionar información científica rigurosa y equilibrada a los tomadores de decisiones. Al aprobar los informes del IPCC, los gobiernos reconocen la autoridad de su contenido científico. El trabajo de la organización es, por tanto, la formulación de políticas pertinentes y, sin embargo la política neutral, nunca normativa preceptiva.

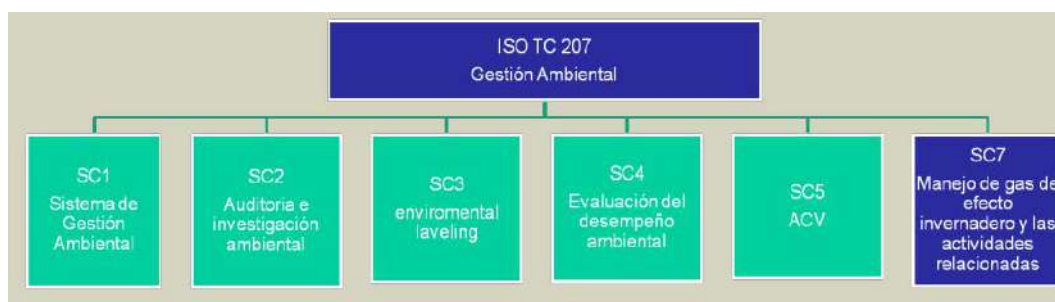
#### 4.2.2.2 ISO 14000 de gestión ambiental

La Organización Internacional para la Estandarización, ISO por sus siglas en inglés (International Organization for Standardization), es una federación mundial que agrupa a representantes de cada uno de los organismos nacionales de estandarización (como lo es el IRAM en la Argentina), y que tiene como objeto desarrollar estándares internacionales que faciliten el comercio internacional.

La gestión ambiental es un conjunto de elementos formados entre sí, que contribuyen a la administración efectiva y eficiente de aquellas actividades, productos y servicios de una organización, los cuales tienen o pueden tener un impacto sobre el ambiente.

La Gestión Ambiental de la Huella de Carbono está integrada por la norma ISO 14000, la cual surge por la reacción del sector empresarial al perfeccionamiento de la legislación ambiental en la mayoría de los países, para un mayor control de las actividades potenciales. A partir de esto se crea un CT (Comité Técnico), que está integrado por 253CT. Por otro lado, el CT 207 constituye la gestión ambiental, a través de expertos nacionales y seis subcomités. Como se puede ver en el siguiente diagrama:

**DIAGRAMA 1. Comité Técnico 207 de Gestión Ambiental**



Fuente: Instituto Argentino de Normalización y certificación.

Siendo

- SC 1, Concepto y terminología
- SC 2, Sistemas de calidad
- SC 3, Tecnologías de apoyo
- SC4, Evaluación del desempeño ambiental
- SC5, Análisis del ciclo de vida
- SC6, términos y definiciones
- SC7, Manejo de gases de efecto invernadero y las actividades relacionadas

Los estándares que promueven las normas ISO 14000 están diseñados para proveer un modelo eficaz de **Sistemas de Gestión Ambiental (SGA)**, el cual identifica políticas, procedimientos y recursos para cumplir y mantener un gerenciamiento ambiental efectivo, lo que conlleva evaluaciones rutinarias de impactos ambientales y el compromiso de cumplir con las leyes y regulaciones vigentes en el tema, así como también la oportunidad de continuar mejorando el comportamiento ambiental.

#### **4.2.2.2.1 ISO 14064**

Las partes 1 y 2 son las especificaciones para la cuantificación, seguimiento y notificación de las emisiones de GEI y las reducciones de emisiones (así como mejoras de reducción), respectivamente, y la parte 3 es una especificación para la validación o la verificación de las afirmaciones de GEI.

#### **4.2.2.2.2 ISO 14065**

Es un estándar que especifica los principios y requisitos para los organismos que realizan la validación o la verificación de las afirmaciones de GEI para el uso en formularios de acreditación o de otro tipo de reconocimiento.

#### **4.2.2.2.3 ISO 14066**

Corresponde a un estándar (actualmente en desarrollo) que especifica los requisitos de competencia para los equipos de validación de GEI y los equipos de verificación y directrices para su evaluación.

#### **4.2.2.2.4 ISO 14067**

Es una norma de producto (actualmente en desarrollo) y servirá de marco para la medición de la huella de carbono de los productos.

#### **4.2.2.2.5 ISO 14069**

Es un documento de orientación (actualmente en desarrollo) para la cuantificación y el informe de las emisiones de gases de efecto invernadero para las organizaciones.

#### **4.2.2.2.6 NORMA PAS 2050**

La norma Pas 2050, es una especificación desarrollada por British Standards Institution, requerimiento conjunto del Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Medio Rural (Defra) en el Reino Unido y de la organización no-gubernamental Carbon Trust. Es una norma que determina las emisiones de Gases de Efecto Invernadero mediante el ciclo de vida del producto. PAS 2050 es un estándar independiente, desarrollado con el aporte significativo de las partes interesadas y expertos internacionales a través del mundo académico, empresarial, gubernamental y no gubernamental, como también varios grupos de trabajo técnicos.

Esta norma ha sido implementada en tres tipos de organizaciones que tienen diversos tipos de productos, como lo son las compañías que proporcionan bienes y servicios, fabricantes, distribuidores y comerciantes, Business-to-business (B2B) y empresa toconsumer-(B2C), Reino Unido y las cadenas internacionales de suministro. Esta norma presenta grandes beneficios dentro de la organización ya que se mide los gases de efecto invernadero que se generan a partir de los productos que maneja la empresa, ayuda a tener un punto de referencia para medir y comunicar las reducciones de emisiones y genera una responsabilidad corporativa con respecto al medio ambiente.

Esta guía establece que la organización debe cuantificar y documentar las emisiones GEI y las reducciones, mediante los siguientes pasos se estructura en las siguientes secciones (Trust Carbón, et all.):

##### **1. Puesta en marcha**

- Establecimiento de objetivos
- Selección de productos
- Involucrar a los proveedores

##### **2. Cálculos de la huella del producto**

Paso 1: Creación de un mapa de procesos

Paso 2: Comprobación de las fronteras y la priorización

Paso 3: Recolección de datos

Paso 4: Cálculo de la huella

Paso 5: Comprobación de incertidumbre (opcional)

### 3. Próximos pasos

- Validación de los resultados
- La reducción de las emisiones
- Comunicar la huella y reclamar
- Reducciones

## 4.2.3 Metodologías para el cálculo de la Huella de Carbono

### 4.2.3.1 The Greenhouse Gas Protocol

El Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol) es el instrumento internacional de contabilidad más utilizado por líderes gubernamentales y empresariales para entender, cuantificar y gestionar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero. El GHG Protocol, una asociación de una década entre el Instituto de Recursos Mundiales y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible, está trabajando con las empresas, los gobiernos y los grupos ecologistas de todo el mundo para construir una nueva generación de programas creíbles y eficaces para hacer frente al cambio climático.

Proporciona el marco contable de casi todas las normas de GEI y el programa en el mundo - de la Organización Internacional de Normalización para el registro del clima -, así como cientos de los inventarios de GEI elaborados por empresas individuales. (*Greenhouse Gas Protocol*)

El objetivo del protocolo de GEI consiste en desarrollar estándares de calidad y reportes para empresas aceptados internacionalmente y promover su amplia adopción. Este protocolo comprende el ECCR (Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte del Protocolo de GEI) el cual es una guía para empresas interesadas en cuantificar y reportar sus emisiones de GEI. Este estándar cubre la contabilidad y el reporte de los seis GEI previstos en el Protocolo de Kioto.

El protocolo de Gases de Efecto invernadero funciona principalmente identificando los límites organizacionales de la empresa, luego se debe tener en cuenta los límites operacionales los cuales se clasifican en tres alcances.

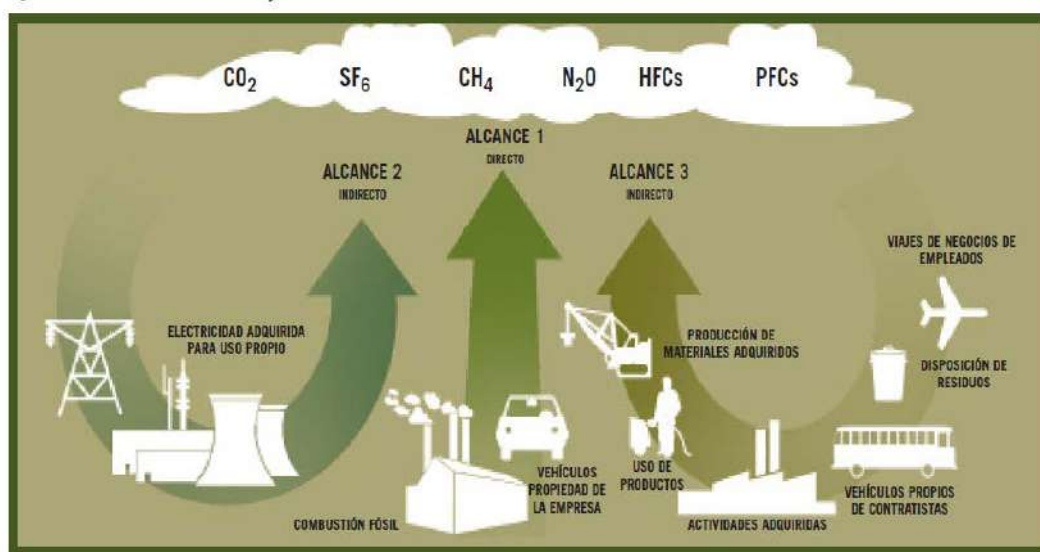
Alcance 1: Emisiones directas de GEI, que ocurren de fuentes que son propiedad de o están controladas por la empresa, como por ejemplo los vehículos, el cual son emisiones provenientes de combustión. Las emisiones

de GEI no cubiertos por el Protocolo de Kioto, como CFCs, NOx, etc. no deben incluirse en el alcance 1, pudiendo ser reportadas de manera separada

Alcance 2: Emisiones indirectas de GEI, incluye emisiones de generación de electricidad adquirida y consumida por la empresa.

Alcance 3: Otras emisiones indirectas, proceso en el que las emisiones son consecuencia de las actividades de la empresa, es decir que ocurren en fuentes que no son propiedad ni están controladas por la empresa.

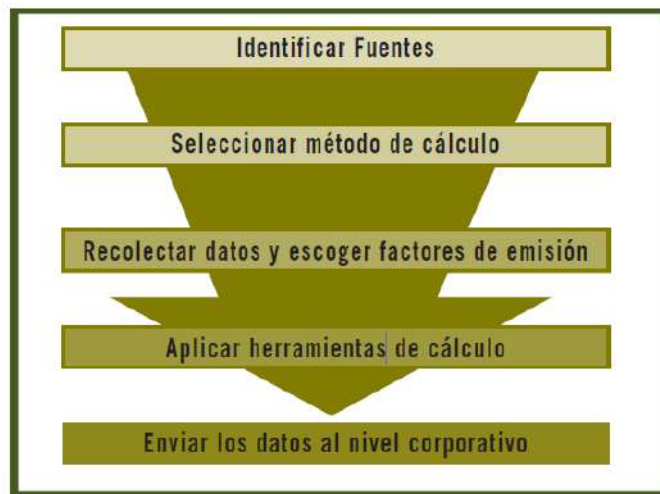
**FIGURA 2. Alcances de los Inventarios de GEI**



Fuente: Protocolo de Gases de Efecto Invernadero. Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte.

#### 4.2.3.1.1 Método de Cálculo de Emisiones GEI

**FIGURA 3. Pasos para identificar y calcular emisiones de GEI**



Fuente: Protocolo de Gases de Efecto Invernadero. Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte, (Capítulo 6)

El primero de los cinco pasos es identificar y calcular las emisiones de la empresa de acuerdo a los alcances definidos. Es categorizar las fuentes de emisiones de GEI dentro de los límites de organización bajo las categorías de fuentes:

- **Combustión fija:** combustión de combustibles y equipos estacionarios o fijos, como calderas, hornos, quemadores, turbinas, calentadores, motores, etc.
- **Combustión móvil:** combustión de combustibles en medios de transporte, como automóviles, camiones, tractores, aviones, etc.
- **Emisiones fugitivas:** liberaciones intencionales y no intencionales, como fugas en las uniones, sellos, empaques, así como de las derivadas de carbón, tratamiento de aguas residuales, torres de enfriamiento, plantas de procesamiento de gas, etc.

Luego, se procede a seleccionar un método de cálculo. Estas se basan en:

#### ***a. Medición directa***

Para el muestreo de información se necesita recaudar información en un período de tiempo que sea representativo de las operaciones que se llevan en todo el año. Para ello existen varias formas de medir los GEI, como son:

##### ***- Muestreo de Información***

Los reportes de pruebas de muestreo a menudo proveen información de emisiones en términos de Kg/hr o g/m<sup>3</sup> (estándar seco). Las emisiones anuales pueden ser calculadas a partir de esta información. Estas pruebas deben realizarse bajo condiciones de operación representativas (es decir, normales).

### - *Sistema de monitoreo continuo de emisiones*

El Sistema de monitoreo continuo de emisiones proporciona un registro continuo de las emisiones en el tiempo, por lo general reporta concentración de contaminantes.

Una vez que la concentración de contaminantes se conoce, las tasas de emisión se obtienen multiplicando la concentración del contaminante por la tasa de flujo volumétrico del gas o tasa de flujo de fluido del contaminante.

Es importante tener en cuenta que antes de hacer el monitoreo continuo para estimar las emisiones, se debe desarrollar un protocolo para la recolección y promedio de datos con el fin de que esta estimación satisfaga lo previsto correspondiente a requerimientos de la autoridad ambiental.

### **b. Balance de masa**

El balance de masa identifica la cantidad de sustancia que entra y sale de una instalación completa, el proceso o pieza de equipo. Las emisiones pueden calcularse la diferencia entre la entrada y salida de cada sustancia en la lista. La acumulación o eliminación de la sustancia dentro del equipo debe tenerse en cuenta en el cálculo.

### **c. Análisis de combustibles**

El análisis de combustibles es un tipo particular de cálculos de ingeniería y puede ser usado para predecir SO<sub>2</sub>, metales y otras emisiones. La presencia de ciertos elementos en los combustibles se puede usar para predecir su presencia en corrientes de emisión. Esto incluye elementos tales como azufre que puede ser convertido en otros compuestos durante el proceso de combustión.

### **d. Factores de Emisión**

Los factores de emisión se utilizan para estimar las emisiones al medio ambiente. Se refieren a la cantidad de sustancias emitidas desde una fuente a alguna actividad común asociado con esas emisiones. Estos generalmente se expresan como el peso de la sustancia emitida, dividido por la unidad de peso, volumen, distancia o duración de la actividad de emisión de la sustancia (por ejemplo, kilogramos de material particulado emitido por tonelada material quemado).

De acuerdo al documento de fuentes móviles, del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Colombia, existen modelos para calcular los factores de emisión a partir de pruebas dinamométricas de chasis. Uno de estos es COPERT III, desarrollado por la Agencia Ambiental Europea (EEA), y la universidad de Thessaloniki (Grecia), cuyo objetivo es servir de herramienta para el cálculo de emisiones vehiculares en todos los inventarios de emisiones

que se realice en el continente europeo. Si bien, el modelo fue aplicado y validado por Europa, Santiago de Chile y Colombia (Bogotá).

Asimismo, MOBILE, fue desarrollada en Estados Unidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) para el cálculo de emisiones de vehículos automotores a partir de pruebas estándar nacionales de chasis dinamométrico. Este permite simular todos los principales contaminantes emitidos por los vehículos (CO, NOx, SOx, hidrocarburos), incluyendo un módulo especial para material particulado (MP) y VOCs tóxicos. El modelo fue aplicado y validado por Estados Unidos, México y Colombia.

PART 5 es un modelo que estima los factores de emisión para PM y SOx, tanto en vehículos como gasolina, gasto de frenos y las llantas y el polvo de las vías.

Otros modelos constituyen IVE (International Vehicle Emissions Model), CMEM (Comprehensive Modal Emission Model), MOVES, (Motor Vehicle Emission Simulator).

Una vez se ha seleccionado el método de cálculo de recolecta datos de actividades y se elige factores de emisión. Para la mayoría de las empresas pequeñas y medianas, y para muchas grandes empresas, las emisiones de alcance 1 serán calculadas con base a las cantidades adquiridas de combustibles comerciales (gas natural, diesel, gasolina, etc), utilizando factores de emisión publicados. Las emisiones de alcance 2 se calcularán primordialmente a partir del consumo medido de electricidad y de factores de emisión publicados por los proveedores de electricidad o por la red eléctrica local. Las emisiones de alcance 3 se calcularán a partir de actividades de la empresa, como combustible o los kilómetros recorridos por pasajeros, y factores de emisión publicados o de terceras partes.

Luego se aplica la herramienta de cálculo, se estructura y se envía los datos de emisiones de GEI al nivel corporal.

#### **4.2.3.2 Directrices de 2006 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)**

Como se mencionó en el punto 4.2.2.1, este grupo surge por la problemática del cambio climático, donde grupos responsables de políticas necesitan conocer las causas que lo conllevan, como las posibles repercusiones medioambientales, socio económico y las posibles respuestas. Conscientes de esto, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) constituyeron en 1988 el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). El objetivo de este grupo es evaluar en términos exhaustivos, objetivos, abiertos y transparentes la mejor información científica, técnica y socioeconómica disponible sobre el cambio climático en todo el mundo.

Las Directrices del IPCC proporcionan una estructura común para clasificar los sectores y categorías de fuentes y sumideros, a partir de informes que recomienden prácticas y gestión de los Inventarios Nacionales de GEI con base a los datos relativos de los factores de emisión.

Por ende el IPCC declara los siguientes volúmenes:

Volumen 1: Cuestiones intersectoriales y cuadros de referencia

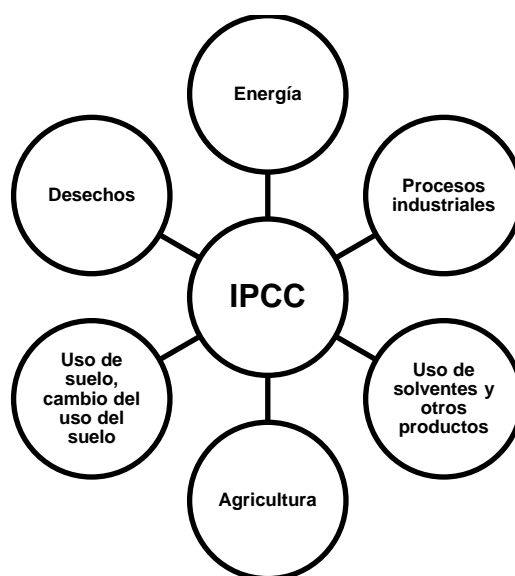
Volumen 2: Energía

Volumen 3: Procesos industriales y utilización de los productos

Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de las tierras

Volumen 5: Desechos

**FIGURA 4. Categorías que evalúa el IPCC**



Fuente: Ángel Meraz, 2012.

Este Proyecto se desarrollará en el volumen 2, Energía, con el fin de evaluar la maquinaria de Transporte Todo Terreno, y en el volumen 4, Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra para valorar la utilización de fertilizantes en la hectárea de cultivo de caña de azúcar desde una perspectiva orgánica.

Cada sector comprende categorías individuales (p. ej. transporte) y sub-categorías (p. ej. automóviles). Por consiguiente los países crean un inventario a partir del nivel de la sub-categoría y se calculan las emisiones totales por sumatoria de las absorciones correspondientes a cada gas.

El IPCC presenta un método de estimación que hace uso del abordaje metodológico simple más común:

$$Emisiones = AD \cdot EF$$

Donde AD (Activity Data) se refiere a datos de la actividad, los cuales cuantifican las emisiones o absorciones por actividad unitaria. EF (Emission Factors) se refiere a los factores de emisión. Esta ecuación ayuda a seleccionar la metodología por niveles que sea adecuada a las circunstancias, sobre la base de su evaluación de las categorías principales.

## 5. DESARROLLO METODOLÓGICO

La metodología del proyecto se basó en los siguientes pasos:

1. Se realizó una revisión bibliográfica sobre el cambio climático, Gases de Efecto Invernadero, el Calentamiento Global, La Huella de Carbono, sectores azucareros, cultivo orgánico, tratados internacionales, normativas internacionales, entre otros. Estos temas fueron investigados por medio de libros, tesis, artículos de revista y páginas web, con el fin de obtener enriquecimiento bibliográfico.
2. Se realizaron (5) visitas de campo en el ingenio de estudio en las que se pudo evaluar en cada labor los parámetros de: tipo de suelo en el que se ejecuta la operación, tipo de maquinaria, rendimiento, profundidad, cambio de velocidad, velocidad en la maquina dentro del terreno, las revoluciones, capacidad, tipo y cantidad de combustible y número de pases. Todo esto bajo condiciones determinadas de temperatura, nubosidad y humedad relativa de acuerdo a la fecha y hora de obtención de datos. Se creó una plantilla para obtención de datos, el cual se podrá ver en el anexo 2. Por otro lado, para identificar los anteriores parámetros, fue necesario delimitar el terreno en una hectárea de acuerdo a la forma de los surcos, utilizando un decámetro. En cada esquina se ponían unas estacas para que los operarios que manejaban los tractores, identificaran la hectárea y pudieran realizar sus labores sobre el terreno delimitado como se muestra en la ilustración 1.

### ILUSTRACIÓN 1. Demarcación del terreno de la hectárea



En la primera visita, se logró conocer los terrenos que se iban analizar y a medir como también se pudo observar el tipo de riego tubería por ventana y el eco-riego. En la segunda visita, se tuvo la oportunidad de conocer los procesos

de preparación de terrenos, como lo fueron la descepada, subsolada, rastro arado, rastrillado y surcadora. En la tercera visita, se pudo ver el proceso de cunetas, riego por canal abierto y corte para semilla, donde se prosiguió con los mismos estándares que se tomaron en cuenta en la primera visita para una hectárea. La cuarta visita se realizó con el fin de medir la nivelación y se dio la oportunidad de ver el proceso de depositar vinaza en el terreno demarcado, como también de observar el abono verde.

A partir del conocimiento de los procesos mencionados anteriormente, se logró identificar y cuantificar los insumos, maquinaria y mano de obra de descepada, rastrillada, corte de semilla y aplicación de fertilización orgánica.

En referencia a la maquinaria se identificaron fuentes móviles como las que se muestran en la siguiente ilustración:

### ILUSTRACIÓN 2. Tipo de maquinaria identificada en los procesos a partir de fuentes móviles



**Gross vehicle weight rating (GVWR), or gross vehicle mass (GVM)** is the maximum operating weight/mass of a vehicle as specified by the manufacturer.

3. Durante las labores, se tomaron una serie de datos de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), con el equipo CO<sub>2</sub> Meter GCH-2018, el cual es un instrumento de alta precisión cuyo funcionamiento se basa en dos sondas, una para CO<sub>2</sub> y temperatura; otra, para la medición de la humedad relativa e igualmente temperatura. Por cuestión de duración de las labores se tomaron 15 muestras de CO<sub>2</sub>, en PPM (Partes Por Millón) en la duración del proceso para poder comparar el promedio de estas muestras con el dato teórico a partir de los factores de emisión planteados por el IPCC. Así mismo, se tomó una muestra de CO<sub>2</sub>, en PPM en el exhosto del tractor para identificar sus emisiones de acuerdo al tipo de motor. Para la obtención de datos se diseñó una tabla el cual podrá ser visto en el anexo 3.

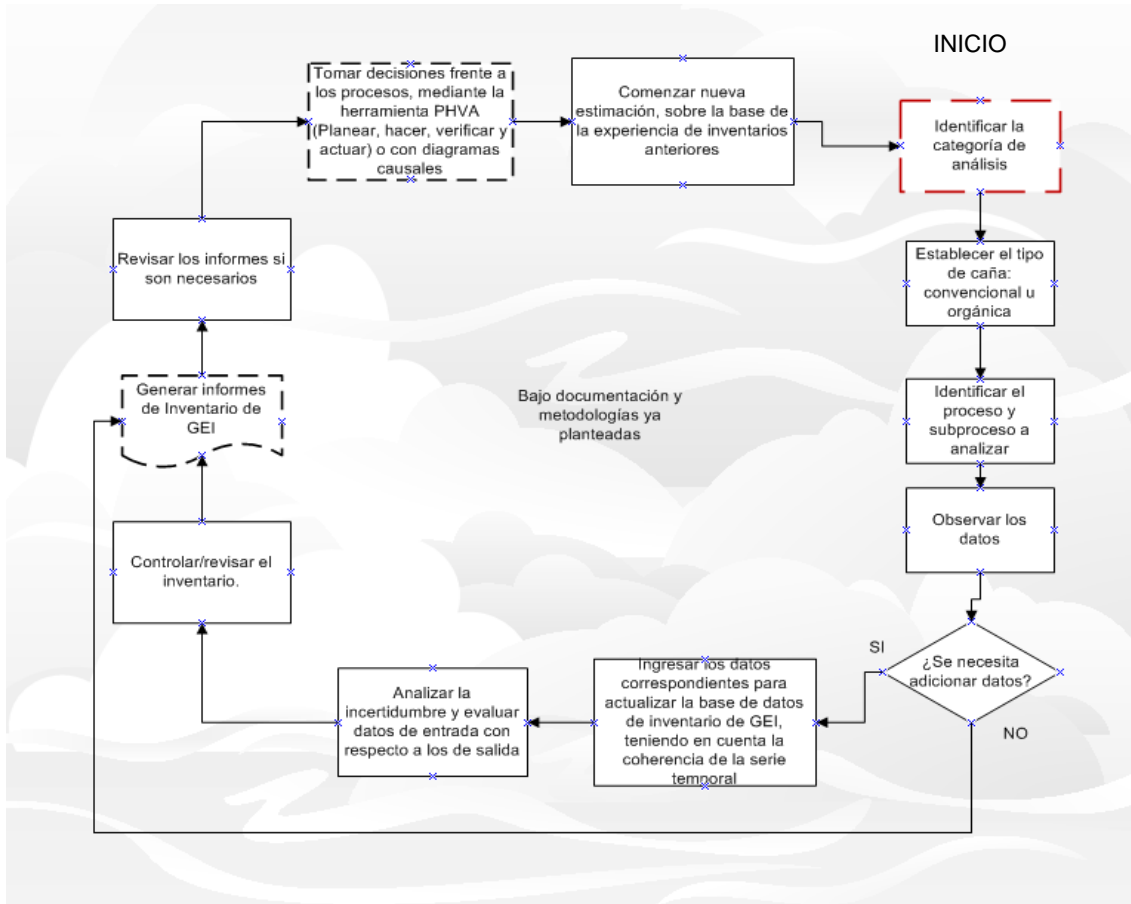
De acuerdo Al Panel Intergubernamental sobre el cambio (IPCC) del 2006, los inventarios nacionales contienen estimaciones para el año calendario durante el cual se producen las emisiones a la atmósfera. En el caso en donde falten datos apropiados, es posible estimar las emisiones y las absorciones utilizando datos de los años anteriores y aplicando los métodos correspondientes, como promedio, interpolación y extrapolación. La secuencia de estimaciones anuales de los inventarios de gases de efecto invernadero se denomina serie temporal. Debido a la tendencia de emisiones a través del tiempo, los países deben garantizar que la serie temporal sea lo más coherente posible.

En este sentido, al no tener una serie de tiempo de los gases emitidos en el campo del ingenio de estudio, se tomó la muestra mencionada para que a futuro se siga continuando con el registro de los datos y poder establecer una tendencia o comportamiento influyente en las labores. La estimación que se realizará será el punto de partida para la elaboración de inventarios anuales de GEI en sus procesos.

4. Por otra parte, al recopilar toda la información, se procede a estimar y evaluar los componentes que contribuyen a la Huella de Carbono en las fases del cultivo mencionadas. Teniendo todos los datos consolidados, se comienza al desarrollo de la herramienta en Excel, con el objetivo de estimar las emisiones de gases de efecto invernadero. Por último, se realizará un manual para el ingenio de estudio que permita el adecuado uso de la herramienta. Ver anexo 4

**Nota:** Es importante tener en cuenta que la continuidad de la toma de datos es necesaria para que la empresa lleve un inventario de las emisiones y pueda analizar su comportamiento de acuerdo a las labores, con el objetivo de toma de decisiones.

### ILUSTRACIÓN 3. Ciclo de la toma de datos para actualizar la herramienta



Fuente: Elaboración propia

## 6. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

### 6.1 Recursos disponibles

Para el proyecto de la “Estimación de la Huella de Carbono para una hectárea cultivada con Caña de Azúcar desde una perspectiva Orgánica” se considerarán los siguientes recursos:

- a. Financiero: Serán suministrados por la universidad Icesi, el Ingenio de estudio y por los autores.
- b. Equipos:
  - Computadores: Se necesitarán dos computadores para documentar el proyecto con habilitación de Internet para la búsqueda de información.  
Los computadores deberán tener los siguientes programas: Microsoft Visio para los diagramas de flujo, Microsoft Project para el cronograma de actividades y Microsoft Excel para el diseño de la herramienta.
  - Grabadora de sonido: Para las entrevistas.
  - Equipo para toma de fotografías que evidenciaran los procesos en las visitas de campo.
  - Equipo CO<sub>2</sub> Meter GCH-2018, el cual es un instrumento de alta precisión cuyo funcionamiento se basa en dos sondas, una para CO<sub>2</sub> y temperatura, otra, para la medición de la humedad relativa e igualmente temperatura.

**FIGURA 5. Equipo CO<sub>2</sub> Meter GCH-2018 junto con sus especificaciones**



**ELECTRICAL SPECIFICATIONS (23 ± 5 °C)**

**CO2 ( Carbon dioxide )**

CO2 ( Carbon dioxide )	Range	0 to 4,000 ppm
	Resolution	1 ppm
	Accuracy	± 40 ppm * ≤ 1,000 ppm.
		± 5% of reading * > 1,000 ppm ≤ 3,000 ppm. ± 250 ppm typically * > 3,000 ppm, reference only
Repeatability	± 20 ppm * ≤ 3,000 ppm.	
23 + 5 °C.	Range	0 °C to 50 °C, 32 °F to 122 °F.
	Resolution	0.1 degree
	Accuracy	°C - 0.8 °C, °F - 1.5 °F.

**Humidity/ Temp./Dew point**

**Humidity/ Temperature**

Humidity	Range	10 % to 95 % R.H.
	Resolution	0.1 % R.H.
	Accuracy	≥ 70% RH : ± (3% reading + 1% RH). < 70% RH : ± 3% RH.
Temperature	Range	0 °C to 50 °C, 32 °F to 122 °F.
	Resolution	0.1 degree
	Accuracy	°C - 0.8 °C, °F - 1.5 °F.
<b>Dew Point</b>		
°C	Range	-25.3 °C to 48.9 °C
	Resolution	0.1 °C
°F	Range	-13.5 °F to 120.1 °F.

- Decámetro, GPS, Brújula: Elementos con el fin de delimitar el terreno de una hectárea.

**FIGURA 6. Decámetro**



- c. Humanos: Autores (investigadores), Tutor metodológico y temático, Personal capacitado del Ingenio.

**6.2 Equipo de Investigadores**

Las personas que participarán del presente proyecto son:

- Katherine Ballesteros M. y Katherine Sotelo G., estudiantes de Ingeniería Industrial, autores del proyecto.
- Beatriz Eugenia Sierra, Bióloga de la Universidad del Valle, tutora temática del proyecto.
- Leonardo Rivera Cadavid, Ph.D. y Jairo Guerrero B. MSc. Ing. tutores metodológicos del proyecto.

## 7. DESARROLLO DEL PROYECTO

### 7.1 Descripción general del proceso de caña de azúcar orgánica

El ingenio de estudio cuenta con una estructura operativa dividida en cinco áreas: Campo, Cosecha, Fábrica, Cogeneración de Energía y Alcohol Carburante. El Ingenio tiene vinculadas 28.500 hectáreas brutas sembradas en caña, de las cuales 12.200 son de manejo directo y 16.300 pertenecen a aproximadamente 360 proveedores de caña. Con el ánimo de preservar el medio ambiente y alcanzar un desarrollo sostenible, realiza sus actividades buscando el equilibrio para atender sus responsabilidades económicas, sociales y ambientales.

El área en el que el proyecto se enfocará será el de Campo de caña de azúcar orgánica través de los procesos de adecuación y preparación del terreno, siembra, riego, fertilización y el control de malezas. Este tipo de caña en el ingenio se siembra, dos veces al año, una en febrero y otra en agosto. El campo se adecúa para hacer más eficiente la producción de caña, mejorando el riego y drenaje superficial, las labores de cultivo y facilitar así la cosecha.

**La adecuación y preparación del terreno** consiste en ejecutar las operaciones de campo necesarias para proporcionar un ambiente apropiado para la óptima germinación de la semilla y el buen desarrollo del cultivo. La adecuación de tierras es una de las labores más importantes porque permite suministrar agua y mejorar la eficiencia para riego, equipos y personal involucrado en el campo, lo que incrementa la productividad del cultivo y acondiciona las vías para el transporte de la caña. Para poder sembrar caña de azúcar orgánica es necesario que el terreno no haya recibido aplicaciones de cualquier tipo de sustancia química o fertilizantes sintéticos por lo menos los tres años anteriores a la cosecha del cultivo orgánico.

El desarrollo del cultivo requiere de condiciones adecuadas de disponibilidad de agua, aireación, drenaje y nutrientes. Lo anterior depende de la textura del suelo, el contenido de humedad del mismo y de la disponibilidad apropiada de los equipos e implementos de labranza. Con la preparación de suelos lo que se busca es la destrucción de malezas y residuos de cultivos anteriores, el aumento en la capacidad de infiltración y retención de agua en el suelo, una mejor aireación, aumento en la disponibilidad de los nutrientes y de la actividad microbiana, como también la destrucción de capas compactadas resultantes de la deficiente preparación de los suelos y del tráfico de la maquinaria.

En terrenos nuevos para el cultivo de caña, se inicia con la limpieza y luego se nivela usando normalmente tractores de orugas. Posteriormente, se prepara el suelo con tractores de llantas, iniciando con dos pases de subsolación, uno en el sentido de la pendiente y otro cruzando el primero en un ángulo de 15

grados, un pase de rastroarado o rastra, dependiendo de la textura del suelo y uno o dos pases de rastrillo.

Cuando el lote no requiere nivelación o se renueva una soca, la primera labor es la descepada que en dos pases se realiza con una rastra, para seguir luego con la secuencia de labores, subsolación, arada y rastrillada. Así el lote queda listo para la labor de surcada, que prepara el suelo para recibir la semilla, esta se hace con un implemento de tres vertederas acoplado a un tractor.

La descepada consiste en la destrucción e incorporación al suelo de los residuos de cultivos anteriores. Cuando los lotes son nuevos (plantilla), los residuos vienen siendo los pastos y cultivos estacionales y cuando son de un cultivo de caña (soca) están formados por trozos de cepas y residuos vegetales de la cosecha.

El subsolado consiste en fracturar el suelo hasta una profundidad de 60 cm, con el fin de destruir las capas compactadas o impermeables y de esta manera, mejorar la estructura y facilitar el movimiento del aire y el agua. El éxito de tener un buen subsolado se mide por el grado de fracturación y depende del contenido de humedad y la textura del suelo, el implemento, la velocidad de operación y el patrón que se siga en el campo.

La arada es la labor que se realiza generalmente después del segundo pase de subsolado. Tiene como objetivo fracturar y voltear el suelo hasta una profundidad entre 30 y 40 cm, con el fin de favorecer la distribución de los agregados.

Luego sigue la rastrillada que tiene como finalidad destruir los terrones grandes resultantes en las labores descritas anteriormente y garantiza el buen contacto entre la semilla y el suelo. Por último, se realiza la surcada que consiste en hacer surcos o camas donde se coloca la semilla o la yema. Esta labor requiere definir previamente la dirección y el espaciamiento entre los surcos. En el ingenio de estudio la distancia que debe haber entre surco y surco es de 1,65 m y la profundidad del suelo depende de la calidad de preparación del suelo y puede variar entre 25 y 35 cm.

Por otra parte, el suelo está integrado por una serie de partículas que varían en tamaño y proporción dando origen a texturas entre arenosas y arcillosas pasando por los suelos francos. Es así como las partículas del suelo (arenas, limos y arcillas) se agrupan formando agregados, dentro de los cuales existen espacios vacíos que almacenan el agua y los gases. Por lo tanto, la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo varía con la textura y la estructura. Por ejemplo, los suelos arenosos poseen poros grandes, pero el volumen total de estos es pequeño, por lo que da como resultado baja capacidad de almacenamiento de agua. Los suelos arcillosos tienen poros pequeños y su volumen total es alto, lo que permite una alta capacidad de almacenamiento de humedad. Esta clase de suelos francos poseen características intermedias entre los arenosos y los arcillosos, que les dan ventajas desde el punto de vista de almacenamiento y disponibilidad de agua para los cultivos. Es por esto que

a los suelos arenosos, es necesario aplicar riegos frecuentes y a los arcillosos o franco la necesidad de riego es mucho menor.

Para el proceso de **siembra** se tiene muy en cuenta la distancia entre surco y surco que como se dijo anteriormente la distancia que utiliza el ingenio es de 1,65 mts, con el fin de evitar el crecimiento de las malezas. La siembra, se hace con la variedad de caña que mejor se adapta a la zona agroecológica, depositando los trozos de tallo de 60 cm de largo, cada uno con dos a tres yemas sanas, que darán origen a las nuevas plantas. Se depositan de 7 a 8 toneladas de semilla por hectárea sembrada. Luego, se tapa manual o mecánicamente con una capa de suelo de 5 centímetros de espesor y se aplica el riego de germinación bien sea por surcos o por aspersión. Los trozos de caña provienen de semilleros, a los que se les da un manejo especial, buscando variedades puras y sanas. Para el establecimiento de los semilleros, los paquetes de semilla se tratan en una cámara de agua caliente a 51 grados centígrados durante una hora para prevenir enfermedades virales.

Para el proceso de **riego** el agua proviene principalmente de fuentes subterráneas o del agua del Río Cauca. Es fundamental aplicar entre tres y cinco riegos entre los cero y diez meses, en cañas plantillas y de dos y diez meses de edad en cañas socas. La frecuencia de aplicación del riego está dada por el balance hídrico. Una práctica común es construir reservorios para almacenar el agua superficial y la extraída de los pozos durante la noche.

En el ingenio de estudio utilizan riego por canal abierto y tubería de ventana. El riego por canal, se da por medio de los canales que son las estructuras básicas para conducir el agua de riego hacia los puntos de entrega en las parcelas, lotes o chacras. En los canales el agua fluye por la acción de la gravedad. La conducción del agua de riego por canales es la forma más económica de conducción del agua, en comparación con tuberías y especialmente si comparamos caudales transportados. Tubería por ventana que es donde el agua sale a presión y pues todos los surcos no le va a llegar la misma cantidad de agua, ya que a medida que salga el agua los que están más cerca de la tubería gozaran del agua y los surcos más lejanos le llegara menos agua.

**TABLA 3. Descripción de los tipos de riego por tubería y por canales abiertos**

Tuberías	Canales abiertos
A El flujo es causado por la presión, por tanto, tendrá lugar sin importar la alineación que tenga el conducto	A El flujo es causado por la gravedad; por consiguiente el canal debe tener pendiente hacia abajo.
B La sección transversal del conducto es constante a lo largo de la tubería y está definida por el diámetro.	B La sección transversal del canal puede variar a lo largo del recorrido del flujo.
C La presión de la tubería puede tener cualquier magnitud específicamente en cualquier punto alrededor del perímetro de la tubería.	C El perímetro de la sección transversal consta de dos partes: superficie libre y perímetro mojado, donde el agua está en contacto con los límites del canal. La presión en la superficie libre es siempre cero (presión atmosférica).

Fuente: Canales. Ing.Agr. Michel Koolhaas, M.Sc.

El proceso de la fertilización del suelo y manejo de los nutrientes del cultivo de caña de azúcar orgánica consiste en aplicar abono orgánico como compostaje, vinaza, foliar o siembra de frijol. Cualquier práctica que conlleve a degradar la calidad del agua o del suelo está prohibida. Los materiales deben ser certificados para ser usados en el cultivo orgánico, pues deben ser de baja solubilidad y salinidad y no ser sintéticos sino extraídos de plantas o animales. También pueden usarse micronutrientes siempre que estén respaldados por un análisis de suelo. Algunos de los micronutrientes incluyen: boro, zinc, potasio, nitrógeno, etc.

Por último para el **control de malezas**, que se entiende como toda planta que crece fuera de su sitio e invade otro cultivo en el cual causa más perjuicio que beneficio. Las malezas se caracterizan por su capacidad de sobrevivir en condiciones ambientales adversas; en la caña de azúcar son comunes las de hoja ancha y de hoja angosta. Cuando la caña de azúcar se está desarrollando, lo cual es un proceso lento, es necesario eliminar las malas hierbas, pues la población y la producción del cultivo pueden reducirse a un 40%. Por el contrario si el cultivo se mantiene libre de maleza hasta que las plantas cubran la superficie del suelo, la sombra que producen éstas y su rápido crecimiento impedirá que durante la fase productiva del cultivo aparezcan malas hierbas.

Para el control eficiente de malezas en la caña de azúcar orgánica es necesario que se controle mediante un control manual o un control mecánico. El primero consiste hacer control con palas o azadones y es más común en socas, que en plantillas ya que en este último caso se puede generar daños a las plántulas que emergen, aunque este método es muy costoso y se requiere de mano de obra y es por ende menos efectivo. El segundo método se utiliza en áreas extensas del cultivo. Se puede hacer con rastrillo de discos o con

chuzos y la eficiencia, en tiempo requerido de labor, es alta y su costo es bajo. Este puede ser más eficiente si la planta de caña aún no se ha desarrollado y se presenta baja humedad, ya que existe el riesgo de compactación del suelo por el uso de la maquinaria, y en muchos casos, las malezas rebrotan de nuevo. Por último, el control de plagas en caña de azúcar se hace con metodologías integradas, que combinan el control biológico con liberación de insectos benéficos y el control mecánico de las plagas.

### **7.1.1 Adecuación del Terreno**

La adecuación del terreno para el cultivo de caña de azúcar tanto orgánica como convencional es una de las labores más importantes, pues no sólo demanda inversión sino que también con esta es posible suministrar agua para riego y drenar los excesos de esta en el suelo; se mejora la eficiencia del riego, de los equipos y del personal involucrado en las labores de campo; incrementa la productividad del cultivo; y por último acondiciona las vías para el transporte rápido y seguro de la caña hasta la fábrica.

De esta manera, la adecuación requiere de una planeación, diseño y ejecución por personas especializadas para cumplir con los requerimientos del terreno. En las zonas de piedemonte, donde la pendiente natural es mayor, la adecuación se limita a mejorar el relieve, a la construcción de la red de canales de riego y drenaje y de surcos con la menor inclinación posible para evitar la erosión. La profundidad de estos surcos en suelos de textura liviana puede ser entre 30 y 35 cm y en suelos de textura arcillosa entre 20 y 30 cm (Cenicaña, 1995). A continuación se describirán las labores necesarias para este proceso. Sin embargo, se debe tener presente que antes de las labores, es importante realizar estudios sobre:

- Suelos→ Contiene el plano con las series de suelo y características físicas y químicas, como: textura; estructura; constantes de humedad; densidad aparente; infiltración; conductividad hidráulica y eléctrica; pH; capacidad de intercambio catiónico; y contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y elementos menores. Así, se le realizan recomendaciones de manejo del suelo y su respectivo uso para el tipo de caña que se va a sembrar.
- Topográfico→ Contiene planos sobre localización, alturas de infraestructura civil e hidráulicas, vías, canales, linderos, curvas de nivel, entre otros.
- Riego→ Debe contener proyectos de desarrollo de aguas, embalses, pozos, estaciones de bombeo, bocatomas, conducciones abiertas y por tubería, obras menores, selección de métodos de riego y requisitos para su operación, volúmenes de agua, tiempos de operación, caudal equivalente, módulo de riego operativo, pendientes y longitudes de surco requeridas.
- Drenaje→ Requiere de estudios sobre la medición de profundidad de niveles freáticos, fuentes de recarga y obstáculos para descarga.

Además, métodos de drenaje superficial y subterráneo, y necesidades de subsolado como de construcción de drenes topo para mejoramiento de infiltración y conductividad hidráulica.

Por otro lado, se necesita de un diseño de Campo en el cual se realiza la división del área en sectores, suertes, y tablones. Los procedimientos se muestran a continuación:

1. Obtener información de la topografía del predio sobre planos a escalas que permitan la diferenciación de los accidentes de la superficie que se va a adecuar. Tener presente la pendiente del terreno, la cuadrícula y la diferencia de nivel. En los planos se debe ubicar, vías principales, fuentes de agua, estaciones de bombeo, entradas y salidas de agua, bosques, zona húmedas, entre otros.
2. Efectuar visitas al predio para comprobar los detalles que aparecen en el plano y para complementarlos.
3. Sectorizar el campo de acuerdo a topografía, accidentes naturales, fuentes para riego y obras de evacuación para el agua.
4. Seleccionar y diseñar métodos de aplicación de riego, según las necesidades del cultivo.
5. Definir la dirección apropiada para el flujo de la caña cosechada, localizando callejones, vías principales, demarcar suertes, tablones y dirección de surcos.
6. Trazar el sistema de canales abiertos para drenaje, construidos paralelamente a la dirección de los surcos de siembra.
7. Trazar el sistema de canales de riego aprovechando las partes altas de las suertes y tablones. Estos de igual manera se ubican paralelamente a los surcos, excepto a las acequias o rondas que se disponen de manera perpendicular.
8. Ubicar y diseñar las estructuras hidráulicas complementarias, como reservorios, tuberías subterráneas, sifones, viaductos, etc.
9. Elaborar presupuestos y cronograma de actividades de trabajos adicionales.
10. Elaborar la escala adecuada del plano sobre el diseño del campo de cada hacienda.
11. Levantar el plano del sector, con su correspondiente descripción.

### 7.1.1.1 Nivelación

Consiste en la modificación del relieve superficial a través de cortes y rellenos donde el terreno así lo requiera, con el fin de conseguir pendientes uniformes y que faciliten las labores de riego, drenajes superficiales y de ejecución de las otras labores para el desarrollo de la cosecha. Esta es una de las labores más importantes y de alto costo, por lo tanto su rendimiento debe ser el mejor de tal manera que conserve el promedio de las pendientes del campo. Para esto se realizan:

- Macronivelación → Consiste en el movimiento de grandes volúmenes de tierra que implican cortes de 10 y 20 cm de acuerdo con el tipo de suelo.
- Micronivelación → Son movimientos menores de suelo para uniformar pequeñas irregularidades.

Si bien, las labores del suelo se deben planear teniendo en cuenta las condiciones del suelo y la profundidad máxima de corte. Por ejemplo, los suelos con limitaciones de corte se manejan con tipo especial de nivelación. Cuando los suelos tienen poco espesor y la topografía es ondulada, suelo no nivelarse, por si alto costo y el peligro de erosión.

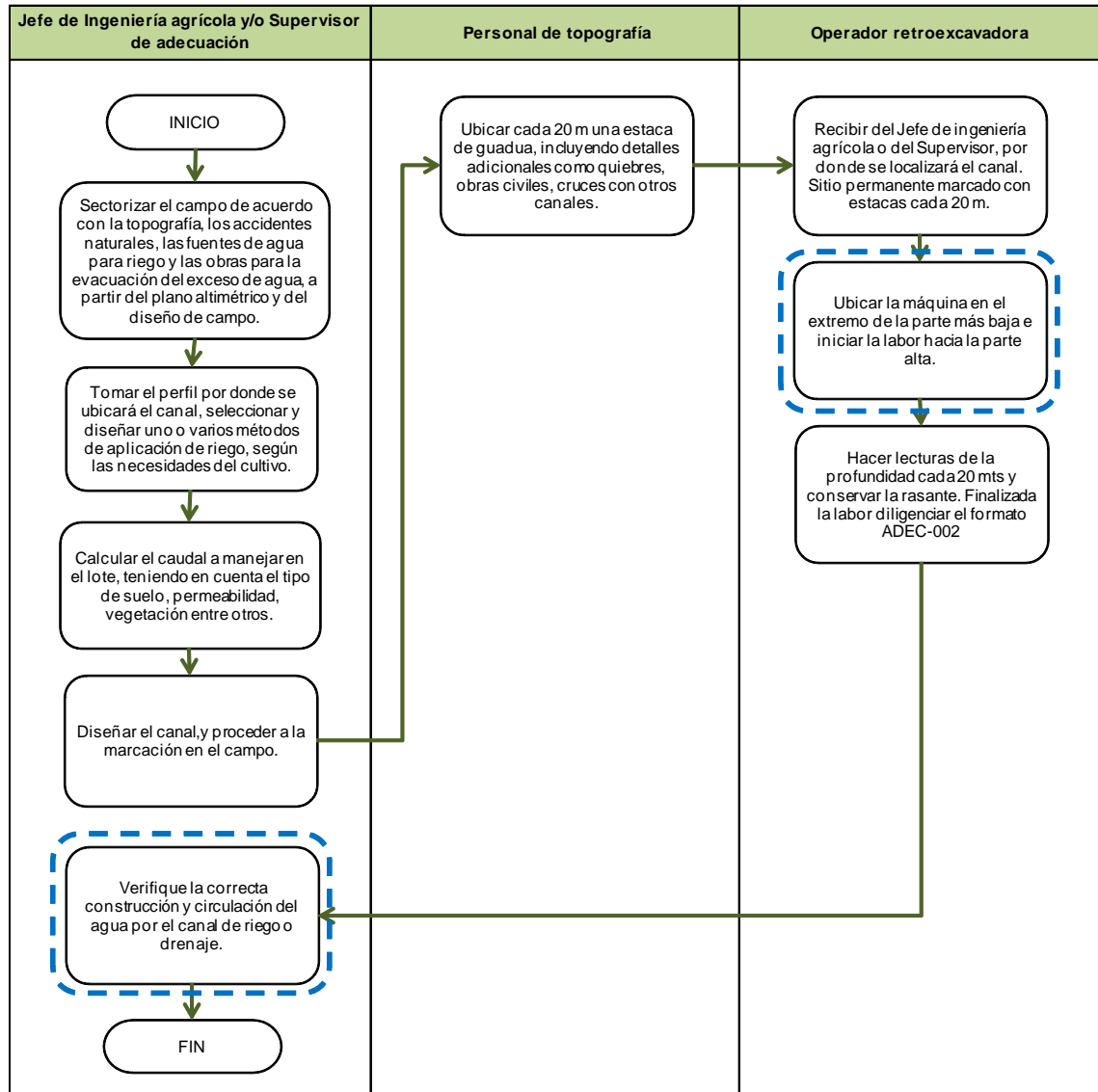
Los cálculos para nivelación de tierras consisten en la determinación de las pendientes, la altura de corte o relleno en cada punto de cuadrícula y el volumen de tierras que se debe mover. Algunos de los métodos más utilizados son los perfiles promedios, el centroide y la rectificación o ajuste de las curvas a nivel.

#### ILUSTRACIÓN 4. Nivelación



### 7.1.1.2 Construcción canales de riego y drenajes

Diagrama 2. Diagrama de procesos de la construcción de riego y drenajes



Fuente: López, 2013

### 7.1.1.3 Construcción de reservorios.

Son estructuras hidráulicas construidas para el almacenamiento de agua proveniente de pozos profundos, ríos, lluvias, ó sobrante de canales y zanjones.

#### **7.1.1.4 Limpieza de Terrenos**

Este subproceso depende de las especies vegetales presentes en el campo, como potreros, rastrojos o bosque secundario.

La limpieza de campos cubiertos por potreros de gramíneas o socas de cultivo se realiza a partir del pastoreo de animales o con guadaña o cortadora rotativa. Luego, se deja secar y posteriormente se quema. La eliminación de rastrojos se hace con tractores con llantas o tractores de oruga a los cuales se les adaptan cables o cadenas de arranque y movimiento de los arbustos. En el caso de los bosques secundarios, se utilizan tractores de oruga. Los árboles son removidos para utilizarlos como madera, las hojas se queman o se trasladan a otra región.

No obstante, las zonas de protección de ríos y cauces naturales no deben ser alterados pues a largo plazo afecta negativamente el recurso y la estabilidad de la naturaleza.

#### **7.1.1.5 Construcción de pozos profundos.**

En comparación con los altos costos que implica la perforación de pozos es relativamente barata y puede ser graduar a lo largo del tiempo para ir satisfaciendo las necesidades. El impacto ambiental es mínimo. Muchos acuíferos tienen gran capacidad de almacenamiento, por lo que los volúmenes necesarios del recurso pueden ser satisfecho, incluso en largos periodos de sequías. Así mismo el agua subterránea es de buena calidad química y bacteriológica, y es improbable que requiera otro tratamiento, así como, muchas a veces, la precautoria cloración

#### **7.1.1.6 Tapada de acequias**

Este subproceso sirve para conducir el agua hasta el lugar que se necesita. Es más pequeña que el canal.

#### **7.1.1.7 Preparación del terreno**

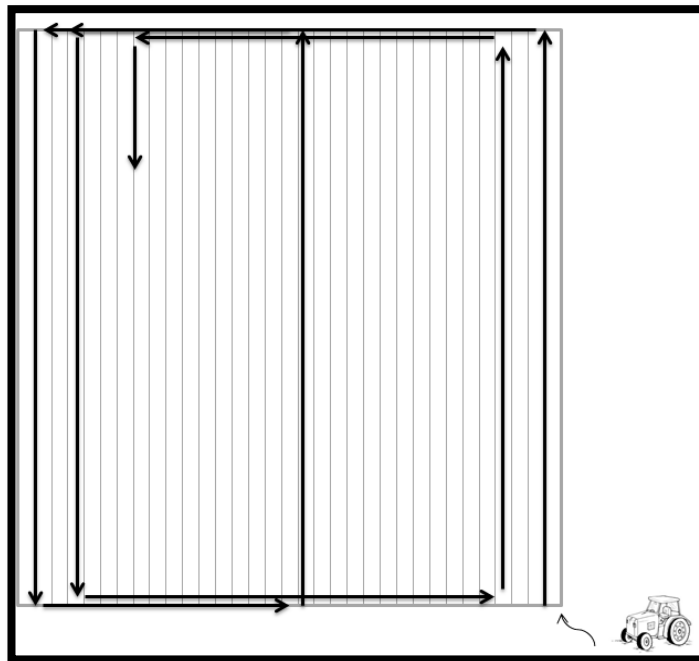
La preparación de suelos se orienta hacia aquellas labores indispensables para el buen desarrollo del cultivo y que a su vez afecta directamente la caña de azúcar para que sea productiva en sacarosa en la elaboración de los productos del ingenio. A continuación se mostrará la descripción de las labores que influyen en el aumento de capacidad de infiltración y retención de agua del suelo, en una mejor aireación e intercambio de aire entre el suelo y la atmósfera, aumento de disponibilidad de nutrientes y de la actividad microbiana en el suelo y en la destrucción de capas compactadas por la deficiente

preparación de suelos y el movimiento de maquinaria.

### 7.1.2.1 Descepada

Es la primera etapa de preparación del suelo, que consiste en la destrucción e incorporación al suelo de los residuos de cultivos anteriores. Dependiendo de sus condiciones y de la cantidad de residuos puede afectar el número de pases (rondas) o de repeticiones del proceso sobre la misma área de trabajo, sin embargo, suele realizarse dos pases. Este proceso se mueve de forma recta, teniendo en cuenta el ángulo que puede girar el tractor, esto con el objetivo de remover la tierra con una profundidad de 25 cm por medio de unos rastrillos (22 discos x 36 pulgadas), los cuales logran aflojar la tierra e ir removiendo los residuos que se encuentran dentro del terreno. La maquinaria corresponde a tractores de oruga y enllantados.

**ILUSTRACIÓN 5. Movimiento de la maquinaria en la descepada**



## ILUSTRACIÓN 6. Proceso de descepada

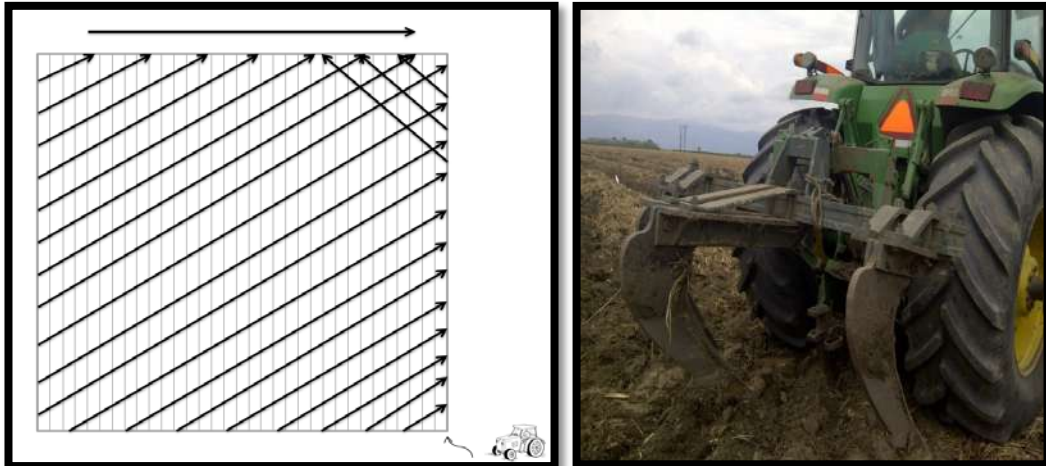


### 7.1.2.2 Subsolado

Este subproceso se ejecuta después de la nivelación, sí el terreno así lo requiere. Consiste en fracturar el suelo hasta una profundidad de 60 cm, con el fin de destruir las capas compactadas o impermeables y de esta manera, mejorar la estructura y facilitar el movimiento del aire y el agua. Se lleva a cabo cuando es sobre un terreno convencional. El éxito de tener un buen subsolado

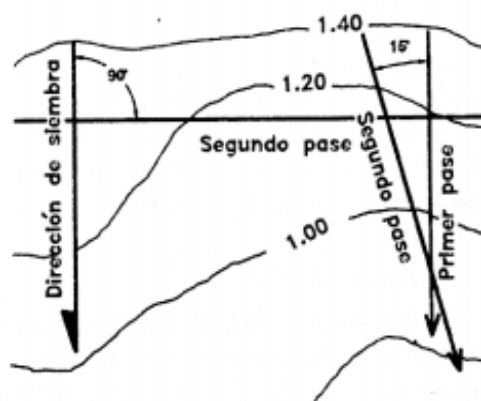
se mide por el grado de fracturación y depende del contenido de humedad y la textura del suelo, el implemento, la velocidad de operación y el patrón que se siga en el campo.

### ILUSTRACIÓN 7. Movimiento de la maquinaria en el subsolado



El primer pase suele realizarse en la dirección del surco propuesto y el segundo cruzado con un ángulo de  $15^\circ$  con relación al primero. El patrón depende de las condiciones del suelo y de la disponibilidad de la maquinaria, el cual consisten en subsoladores rectos y los curvos que tienen mayor eficiencia y consta de 3 ó 5 vástagos subsoladores de 60 cm de longitud, separados 0.75 a 1.5m y dispuestos en la barra porta-herramientas del tractor. Si bien los suelos de textura liviana, compuesta de arena o grava no quieren subsolado.

**FIGURA 7. Patrón utilizado en el subsolado de campos cultivados con caña (dos pases)**



Fuente. El cultivo de Caña de azúcar, Cenicaña

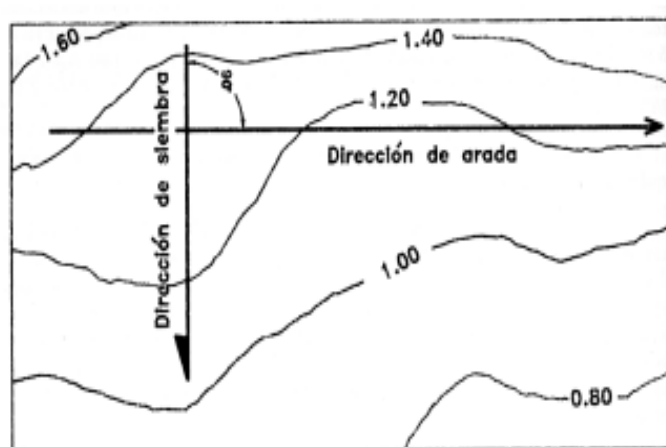
### 7.1.2.3 Rastroarado

El rastroarado o la arada es la labor que se realiza generalmente después del segundo pase de subsolado. Tiene como objetivo fracturar y voltear el suelo hasta una profundidad entre 30 y 40 cm, con el fin de favorecer la distribución de los agregados. La calidad de la labor depende del grado de perturbación de los terrones del suelo, por el impacto de las diferentes velocidades con que la maquinaria hace el recorrido y los giros. Los elementos utilizados son rastroarados con dimensiones similares a los que se emplean en la descepada, como lo son tractores de oruga o enllantados.

#### ILUSTRACIÓN 8. Rastroarado



**FIGURA 8. Patrón utilizado en el subsolado de campos cultivados con caña (dos pases)**



Fuente. El cultivo de Caña de azúcar, Cenicaña

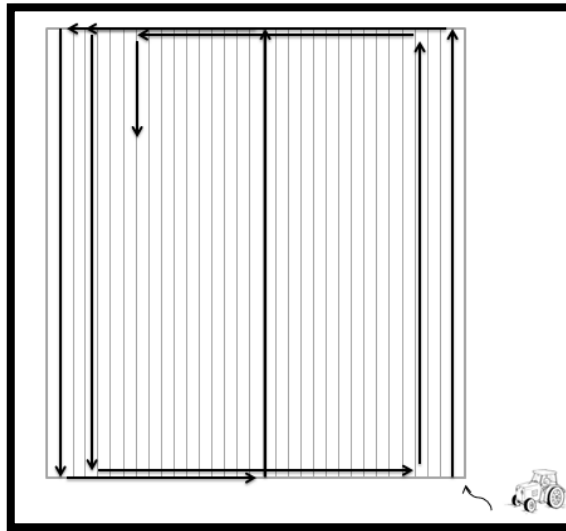
#### **7.1.2.4 Rastrillada**

Esta labor tiene como finalidad destruir los terrones grandes resultantes en las labores descritas anteriormente para garantizar el buen contacto entre la semilla y el suelo. Se utiliza normalmente un tractor enllantado que mueve por tracción una rastra de discos, la cual, mediante una acción combinada de corte e impacto, desagrega el suelo y elimina las plantas existentes, incluidas las cepas del cultivo de caña anterior. En promedio se hacen dos rastrilladas por hectárea. En condiciones de menor precipitación y cuando la cantidad de plantas por eliminar es menor, se puede reducir el número de pases de rastra.

#### **7.1.2.5 Surcada**

Subproceso que consiste en hacer surcos o camas donde se coloca la semilla o la yema. Esta labor requiere definir previamente la dirección y el espaciamiento entre los surcos. En el ingenio de estudio la distancia que debe haber entre surco y surco es de 1,65 m y la profundidad del suelo depende de la calidad de preparación del suelo y puede variar entre 25 y 35 cm. La dirección de los surcos está determinada por el diseño de campo y depende a su vez de la topografía del sitio. Para que este subproceso tenga éxito es necesario que las labores anteriores se hayan realizado de la mejor manera. Se puede observar el movimiento del tractor en el siguiente gráfico.

## ILUSTRACIÓN 9. Movimiento de maquinaria en surcadora



Esta labor se ejecuta con un surcador de tres vertederas y pautas en la barra de herramientas para asegurar la continuidad y paralelismo entre surcos con tractores enllantados de doble tracción para asegurar uniformidad. No obstante, en los suelos arcillosos, se utiliza tractores de oruga.

### 7.1.2.6 Cincelada

Este proceso se suele hacer cuando es en un tipo de cultivo de terreno liviano. Teniendo en cuenta los estudios de suelos para su correcto manejo, se rompe el suelo a una profundidad de 50 a 55 centímetros (cm); de esta manera se elimina su compactación y se facilitan labores subsiguientes para lograr un buen drenaje, además de un buen desarrollo radicular de la plantación. Se hace con subsoladores parabólicos o rectos que tengan diferentes números de brazos.

### 7.1.3 Siembra

El sector azucarero en el Valle del Cauca ha ido desarrollando a través del tiempo diferentes tecnologías para alcanzar una mayor celeridad en la multiplicación de variedades de caña de azúcar. Esta labor consta del corte de la semilla, atada, alce, bandereo, distribución, acomodada, tapada y retapada.

La labor de corte para siembra tiene como finalidad establecer un cultivo de caña de azúcar a escala comercial y mantener un balance de caña, con el fin de evitar la reducción en la producción y rendimiento del Ingenio. El corte se realiza sobre la plantilla, debido a que la caña aún está en un punto de vida en donde el aprovechamiento no es del 100% y es la primera vez que va a ser cortada.

El corte de semilla se realiza de manera manual o mecánica. Incluye jornales de corteros, alzadores, cabos, pagos a terceros, y los costos de herramientas y materiales. La semilla a cortar deben ser trozos de caña de aproximadamente 60 centímetros (cm) de largo. El corte debe ser vertical para disminuir el área de su superficie y la posibilidad de entrada de patógenos a la semilla. Para garantizar una buena germinación, la semilla debe estar entre 7 y 9 meses. Esta se organiza en 30 tallos de 60 cm por paquete, lo que en una hectárea equivale a 16500 tallos, 550 paquetes, 9.5535 toneladas.

#### **ILUSTRACIÓN 10. Organización de los paquetes de tallos de caña de azúcar**



Una vez se tiene los paquetes, éstos son depositados en un camión o tractor que los desplaza a una suerte que necesite de la siembra de la caña. Un camión es utilizado en verano y por lo general se queda estacionado en el callejón y cada alzador carga el paquete hasta donde está el vehículo y lo deposita. Este posee una capacidad de 10 toneladas, de manera que se necesitaría un solo viaje para transportar los paquetes de una hectárea. El tractor, por el contrario es usado en temporada de invierno y entra a la hectárea a recoger cada paquete.

### ILUSTRACIÓN 11. Alce de los paquetes al camión



El bandereo consiste en la demarcación del campo con banderas dependiendo de la densidad de siembra que se quiera obtener, de la distribución de los paquetes en los sitios demarcados, y la colocación de la semilla en el fondo del surco, buscando una distribución uniforme de los trozos. Cada 11 metros se coloca una bandera. Una vez que llega la semilla a la hectárea de siembra, se deposita cada paquete en la bandera y un personal de manera manual la esparce a lo largo del surco. La labor que continúa es la tapada, el cual puede ser manual o mecánico. La retapada se lleva a cabo cuando se utiliza el sistema mecánico de tapado ya que en ocasiones la semilla no queda correctamente cubierta con el suelo. Se hace básicamente utilizando jornales, que pueden ser con personal propio o contratando a terceros.

Si bien, el tratamiento de la semilla incluye los costos totales por concepto de jornales, insumos (fungicidas), equipos (bombas de espalda) y pagos a terceros. Esta labor se hace con el fin de prevenir el ataque de patógenos a la semilla.

#### 7.1.4 Riego

Para el proceso de riego es fundamental aplicar entre tres y cinco riegos entre los cero y diez meses, en superficies de caña que se considere plantillas y de dos y diez meses de edad en superficies de caña que se considere soca. La frecuencia de aplicación del riego está dada por el balance hídrico.




El riego en el ingenio de estudio tienen los siguientes subprocesos.

- Riego por Aspersión con motobombas de cañón incorporado.
- Riego por Aspersión con equipo de tubería.
- Riego por gravedad.
- Construcción de trinchos.
- Riego por gravedad con tuberías de ventanas.
- Riego por gravedad por el método de pulsos.

Generalmente la siembra de la caña se realiza en épocas secas. Los riegos que se realizan en el período de germinación se hacen por aspersión y en otros casos por gravedad. Después del período de germinación y hasta 10 meses de edad de la caña se aplica entre dos y seis riegos. La selección del riego depende del tipo de suelo, la velocidad de infiltración, la profundidad radical, la topografía, la disponibilidad de agua y de mano de obra. Es importante tener muy en cuenta que en las regiones semiáridas, el riego es indispensable, pues así se asegura un buen desarrollo y producción de la planta, lo cual hace necesario que se hagan riegos más frecuente. Por otro lado cuando se trata de una zona húmeda se realiza el riego en los períodos secos para evitar que la planta pierda capacidad de almacenamiento de humedad.

En el siguiente esquema podemos tener una breve descripción sobre los diferentes riegos que utiliza el ingenio de estudio.

## ILUSTRACIÓN 12. Tabla de descripción de los tipos de riego en el Ingenio de estudio

	Breve descripción	Imagen
Riego por aspersión con motobombas de cañón incorporado	El emisor de agua es un cañón ubicado en el extremo final de una manguera, que trabaja a alta presión por movimiento hidráulico, la manguera se va enrollando en el bastidor arrastrando al cañón.	
Riego por aspersión con equipo de tubería	El riego por tubería de ventana consisten en tuberías flexibles de polietileno de alta densidad resistente a rayos ultravioleta, constituido por ventanas de PVC con una abertura de 50 mm de diámetro y una ventana corrediza regulable. Esta tubería presenta una desventaja y es que el riego no sera de forma uniforme, ya que a medida que salga el agua las plantas que esten más cerca de la tubería gozaran del agua y los que esten mas lejanos le llegara menos agua	
Riego por canal abierto (o por gravedad)	Lo constituye un canal, el cual conduce el agua de riego hacia los puntos de entrega en las parcelas, lotes o chacras, por medio de gravedad. Este riego consiste en un riego extendido, poniendo trinchos de tierra o plastico para que el agua llegue hasta ahi y no siga su curso, con el fin de lograr que el agua se desborde hacia los surcos que se demarcaron donde debe entrar el agua. La conducción del agua de riego por canales es la forma más económica de conducción del agua.	

Fuentes: Los autores.

### 7.1.4.1 Construcción de trinchos para riego

La construcción de trinchos se realiza en el riego por gravedad, para represar el agua en las acequias hasta lograr el nivel de la suerte facilitando su entrada a los surcos y/o calles. En caso de realizarse riego por aspersión con cañón incorporado y tubería, se utilizan para dar volumen de succión a la motobomba.

### ILUSTRACIÓN 13. Trincheras para riego



Como se puede observar en la imagen, los trinchos o plásticos cumplen la función de obstaculizar el paso del agua, con el fin de que el agua se acumule y pueda rebosarse hacia los surcos o calles. Un trincho comprende una medida aproximada de 1 metro con 50 centímetros esta medida puede variar de acuerdo a las necesidades del terreno, cada trincho comprende aproximadamente de unos 6 o 7 entradas cada una a una distancia aproximada de 20 o 30 centímetros por la cual se permite la distribución del agua hacia el cultivo. Durante el riego del trincho que consiste aproximadamente en las 2 horas y 30 minutos existe un consumo total de 540, 000 Litros de agua.

Cuando el agua ha llegado al otro lado, y ha humedecido la caña, se prosigue a retirar el trincho o el plástico para que el agua corra y de acuerdo al supervisor de la zona de la finca se calcula que surcos necesita ser humedecido, poniendo el trincho a una cierta distancia para que la parte que siga pueda recibir el agua por el mismo proceso.



El 95% de los riesgos que realiza el ingenio se hace por medio de riego por tubería de ventana y el otro 5% está dado entre riego por gravedad y por

aspersión. Los procesos anteriormente mencionados se han utilizado pero no con la frecuencia que se utilizan los que se acabaron de mencionar.

### **7.1.5 Fertilización**

La fertilización orgánica debe contener un manejo adecuado de la materia prima mediante una adecuada labranza, rotación de cultivos y de la aplicación de abonos orgánicos. Los abonos orgánicos que utiliza el ingenio actualmente son el compostaje, la vinaza y el GreenLife.

Los dos subprocesos que el ingenio tiene para la aplicación de fertilizantes orgánicos son:

- Fertilización orgánica en cultivos de caña de azúcar.
- Transporte y aplicación de Provicomp en los cultivos de caña de azúcar.

Los insumos orgánicos que se aplican en el ingenio de estudio en los cultivos de caña de azúcar son:

- Vinaza
- Green Life
- Compostaje

La vinaza se obtiene cuando la caña de azúcar se usa para producir alcoholes. Este subproducto contiene una gran carga de contaminante que lo convierte en un verdadero peligro para la conservación del medio ambiente. Sin embargo, algunas industrias, como el Ingenio en estudio han aprovechado este residuo como fertilizante orgánico, en una proporción de 50 ó 60 metros cúbicos por hectárea, logrando óptimos resultados.

#### **ILUSTRACIÓN 14. Aplicación de Vinaza al cultivo**



El compostaje es un abono orgánico que se obtiene industrialmente por la transformación biológica de la materia orgánica que contienen los residuos generados después del corte de la caña, el cual se le hace un proceso para convertirlo en fertilizante y es devuelto a la tierra cuando se incorpora al cultivo.

El compostaje incorpora al terreno micro y muchos elementos como el cobre, magnesio, zinc, manganeso, hierro, boro, etc. Los cuales son muy necesarios para la actividad y desarrollo de la caña. Por otra parte, reduce la erosión y mejora la estructura del suelo, por ejemplo, en los suelos arenosos retendrán mejor el agua mientras que los arcillosos desaguaran más rápido con el aporte del compost. Un mejor drenaje permite al agua fluir capaz más profundas en vez de encharcar la superficie y correr por la línea de la pendiente.

### **ILUSTRACIÓN 15. Aplicación de Compost al cultivo**



El Green Life es un fertilizante orgánico líquido para aplicación al suelo y foliar, es decir es un concentrado soluble.

En el siguiente esquema se puede encontrar lo que compone este fertilizante orgánico:

## **Composición Garantizada**

<b>Contenido</b>	
Nitrógeno total (N)	30,00 g/L
Potasio soluble Agua (K <sub>2</sub> O)	8,28 g/L
Fosforo Asimilable (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1,56 g/L
Calcio (CaO)	5,12 g/L
Magnesio (MgO)	1,16 g/L
Azufre (S)	1,80 g/L
Boro (B)	0,010 g/L
Cobre (Cu)	0,008 g/L
Manganeso (Mn)	0,023 g/L
Hierro (Fe)	0,490 g/L
Zinc (Zn)	0,019 g/L
Sodio (Na)	0,65 g/L
Carbono orgánico Oxidable Total	34,40 g/L
Relación C/N	1,71 g/L
pH en solución al 10%	9,26
Densidad a 20 °C. (g/ml)	1,0845
Sólidos sus. Totales	9,18 g/L

Fuente: Green SealCompany

Este fertilizante ayuda a estimular el crecimiento de las plantas, al aportar nitrógeno orgánico en forma balanceada y controlada. Hace síntesis y transferencia de energía como también genera un aumento de porcentaje de germinación por efecto hormonal. El Green Life es de rápida asimilación por la planta y evita la pérdida por volatilización y lixiviación.

### **7.1.6 Control de Malezas**

Jaime F. Gómez, en su texto se refiere a la “maleza como toda planta que crece fuera de sus sitio e invade a otro cultivo en el cual causa más perjuicio que beneficio”. En el ingenio de estudio, se controla la maleza, ya que si esta llega alcanzar una mayor altura que la de la caña de azúcar, puede perjudicar su productividad y existencia, pues le genera sombra a la planta, necesitando esta de los rayos del sol para su proceso de fotosíntesis. Por esta razón la maleza es retirada del cultivo.

Para evitar que la maleza cubra todo el cultivo, se debe realizar en el cultivo de caña de azúcar un control mecánico de arvenses (Maleza) de la siguiente forma.

De esta forma, se asegura que la maleza no tome fuerza y sea eliminada del terreno.

## 7.2 Evaluación de los procesos

Al observar las labores de campo se pudo identificar que las fuentes de emisiones directas dentro de la *hectárea evaluada*, se basan en combustión móvil, que constituyen medios de transporte para las labores como son los tractores; combustión fija o estacionaria como motobombas, motores, quemadores; y otras emisiones del proceso, que resultan de los procesos físicos y químicos como la aplicación de fertilizantes y abonos. Dentro de los procesos descritos en el punto anterior, se logró evaluar: descepada, rastrillada, corte de semilla, aplicación de fertilizantes y utilización de insumos de carácter orgánico para la estimación de la Huella de Carbono.

Se excluirán las emisiones del personal de trabajo, como son corteros, los operarios que manejan la maquinaria, los contratistas, entre otros, pues es mínima la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> dentro del área que emiten a la atmósfera, y lo que se necesita es evaluar el impacto de las labores agrícolas en el medio ambiente.

De esta manera, en el desarrollo del proyecto sólo se evaluará el alcance 1, planteado por *The Greenhouse Gas Protocol*, puesto que el alcance 2 que son las emisiones indirectas de GEI, asociadas a la electricidad, (incluye emisiones de generación de electricidad adquirida y consumida por la empresa como por ejemplo equipos propios de Laboratorio Químico y Laboratorio de Entomología de Campo) y el alcance 3 que son otras emisiones indirectas, (constituye una categoría opcional de reporte que permite incluir otras emisiones que son consecuencia de las actividades de la empresa) se salen del límite propuesto inicialmente por el presente trabajo. En el caso de las Directrices del IPCC de 2006, se tendrá en cuenta la metodología planteada en el volumen 2: Energía – Combustión Móvil y el volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra.

Para efectos de una estimación de Huella de Carbono más completa es necesario considerar todos los alcances anteriores al igual que la evaluación de los procesos caracterizados para el cultivo de caña de azúcar con perspectiva orgánica; y podrán ser parte de posteriores estudios y proyectos sobre las labores de campo en el ingenio de estudio.

**NOTA: La elección del método de estimación será con base a las directrices del IPCC de 2006.**

## 7.2.1 Definición del alcance 1

El alcance 1 hace referencia a las emisiones directas de GEI que ocurren de fuentes que son propiedad de o están controladas por la empresa. Por ejemplo, emisiones provenientes de la combustión en calderas, hornos, vehículos, etc., que son propiedad o están controlados por la empresa; emisiones provenientes de la producción química en equipos de proceso propios o controlados.

Se dividirán en dos: Maquinaria e Insumos por hectárea para evaluar el impacto que cada uno representa en esta área demarcada durante las labores de campo mencionadas para caña orgánica.

### 7.2.1.1 Maquinaria

- **Estimación Teórica**

*\*El presente proyecto evaluará los subprocesos: **Descepada, Rastrillada, Corte de Semilla, y Aplicación de Compostaje y de Vinaza** para lo cual se sigue la siguiente metodología.*

**Tipo de emisión:** Agricultura – Combustión Móvil

**Fuente de emisión:** Vehículos propiedad de la empresa o contratistas, como tractores, camionetas y camiones.

**Gas Efecto Invernadero:** Emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O directas por combustión - Maquinaria Móvil.

A continuación se relaciona la tabla 2, el cual se podrá evidenciar los datos fundamentales para la estimación de la Huella de Carbono en Maquinaria con base a las ecuaciones planteadas en por las Directrices del IPCC de 2006.

**TABLA 4. Lista de Chequeo de los datos necesarios para determinar la ecuación que se ajuste al proceso**

Lista de Chequeo de los datos necesarios para determinar la ecuación				
	SI	No	Algunos	Ecuación de IPCC
Datos del Motor			x	Nivel 3
Distancia Recorrida	x			Nivel 2
<b>Combustible</b>	<b>x</b>			<b>Nivel1</b>
Factores de Emisión Nacionales		x		Nivel 2-3

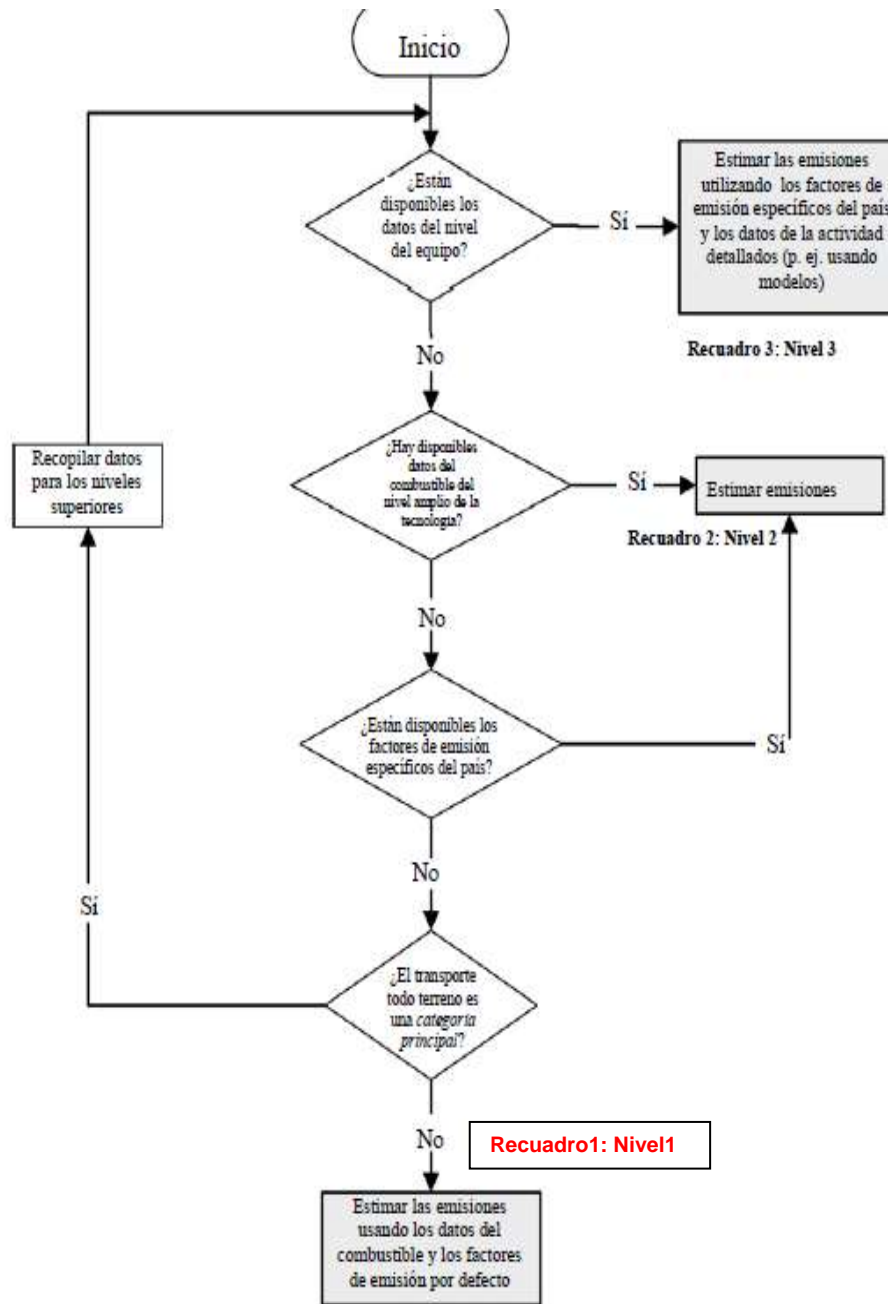
## **A. Emisiones de CO<sub>2</sub>**

Es posible estimar las emisiones a partir del combustible consumido o la distancia recorrida por los vehículos. En general, el primer método (combustible consumido) es adecuado para el CO<sub>2</sub> y el segundo (distancia recorrida por tipo de vehículo y de carretera) es adecuado para el CH<sub>4</sub> y el N<sub>2</sub>O.

Para aplicar una estimación que aproxima a la Huella de Carbono en este tipo de fuente, se utilizará la fórmula de Nivel 1 planteada por las Directrices del IPCC de 2006 de Transporte Todo Terreno, el cual incluye los vehículos y la maquinaria móvil utilizados en la agricultura, silvicultura, industria y los sectores tales como el equipo de apoyo de tierra de los aeropuertos, los tractores agrícolas, las motosierras, los autoelevadores, las motos de nieve. (Volumen 2- Energía, capítulo 3 – combustión móvil).

Se escogió la metodología del Nivel 1 para estimar las emisiones procedentes de combustión por medio del árbol de decisión que se plantea en el diagrama 4 para estimar las emisiones, debido a que no se cuenta con la totalidad de los datos disponibles de la maquinaria (tecnología del vehículo), ni con factores de emisión específicos de Colombia. De esta manera, se estiman las emisiones usando los factores de emisión por defecto específicos del combustible, suponiendo que cada tipo de combustible, consume el total de una única categoría de fuente todo terreno. Además que lo ideal para estimar la emisión de CO<sub>2</sub> es contar con datos del combustible vendido.

### **DIAGRAMA 3. Árbol de decisión para estimar las emisiones procedentes de los vehículos todo terreno**



Fuente: Directrices del IPCC de 2006, pág. 34

La mejor forma de calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> es sobre la base de la cantidad y el tipo de combustible quemado y su contenido. Así:

La ecuación para estimación de emisiones del *Nivel 1* es:

$$Emisiones = \sum_j (Combustible_j * EF_j)$$

Dónde:

**Emisiones** = Emisiones (kg)

**Combustible<sub>j</sub>** = combustible consumido (representado por el combustible vendido) (TJ)

**EF<sub>j</sub>** = factor de emisión (kg/TJ). Es igual al contenido de carbono del combustible multiplicado por 44/12.

**j** = tipo de combustible (p. ej., gasolina, diesel, gas natural, GLP, etc.).

*\*Con el contenido real de carbono de los combustibles consumidos en el país, es posible ajustar los factores de emisión de CO<sub>2</sub> de forma de justificar el carbono sin oxidar o el carbono emitido como gas no CO<sub>2</sub>.*

## B. Emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O

Las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O son más difíciles de estimar con exactitud que las del CO<sub>2</sub> porque los factores de emisión dependen de la tecnología del vehículo, del combustible y de las condiciones de uso. Las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O se ven significativamente afectadas por la distribución de los controles de emisión. De esta forma, los niveles superiores utilizan un método que toma en cuenta las poblaciones de diferentes tipos de vehículos y sus distintas tecnologías de control de la contaminación.

Es posible usar tres métodos alternativos para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O de los vehículos terrestres: uno se basa en los kilómetros recorridos por el vehículo (KRV) y dos en el combustible consumido. El método de Nivel 3 exige datos detallados específicos del país para generar factores de emisión basados en la actividad para las subcategorías de vehículos, y puede incluir los modelos nacionales. De acuerdo al árbol de decisión (Figura 3.2.3, Fuente Móvil, IPCC) para las estimaciones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, aunque, se cuente con los datos disponibles de la distancia recorrida por labor, son indispensables los factores de emisión correspondientes al país, por lo tanto no es posible utilizar la ecuación del Nivel 3 para la estimación en este proyecto.

El método de Nivel 2 utiliza los factores de emisión basados en el combustible, específicos de las subcategorías de vehículos. Puede utilizarse el Nivel 1, que emplea factores de emisión basados en el combustible, si no es posible estimar el consumo de combustible por tipo de vehículo.

Así, la ecuación de emisión para el Nivel 2 de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O es:

$$Emisiones = \sum_{a,b,c} (Combustible_{a,b,c} * EF_{a,b,c})$$

Dónde:

**Emisión** = emisión en kg

**EF<sub>a,b,c</sub>** = factor de emisión (kg/TJ)

**Combustible<sub>a,b,c</sub>** = combustible consumido (TJ) (representado por el combustible vendido) para una actividad de fuente móvil dada

**a** = tipo de combustible a (p. ej., diesel, gasolina, gas natural, GLP)

**b** = tipo de vehículo

**c** = tecnología de control de emisiones (como conversor catalítico no controlado, etc.)

*\*Para este tipo de emisiones es posible utilizar tanto la ecuación de Nivel 1 como la de Nivel 2. Ambos datos deben ser comparables. En el presente trabajo se utilizó la ecuación del Nivel 1 en la herramienta de estimación.*

### **C. Consumo de energía**

Las emisiones procedentes de los vehículos terrestres deben atribuirse al país en el que se vende el combustible; por lo tanto, los datos de consumo de combustible deben reflejar el combustible que se vende dentro del territorio nacional. Sin embargo, puede haber dificultades con los datos de la actividad debido a la cantidad y diversidad de tipos de equipos, ubicaciones y patrones de uso asociados a los vehículos y a la maquinaria todo terreno. Además, muchas veces no se recopilan ni publican los datos estadísticos sobre el consumo de combustible por parte de los vehículos todo terreno.

El combustible identificado en los tractores utilizados para realizar las labores agrícolas es el ACPM (fuel oil, diesel). Que para poder determinar la cantidad de energía suministrada en cada proceso se necesitó conocer los poderes caloríficos, la densidad y el consumo del combustible por labor. Como las que se muestran a continuación.

**TABLA 5. Componentes del combustible (Diesel-ACPM)**

<b>DIESEL</b>	
Poder calorífico Inf. (Kj/kg)	41868
Poder calorífico Sup.(Kj/kg)	44715

Densidad (kg/l)	0,865
Temperatura (°C)	1,5
Presión (mm Hg)	760

Al obtener estos datos se pueden emplear las siguientes ecuaciones:

$$m_{diesel} = \rho V$$

Dónde:

$$\rho = \text{densidad del combustible } \left(\frac{kg}{litros}\right); V = \text{volumen (litros por labor)}$$

Luego,

$$E \left(\frac{kJ}{labor}\right) = (m_{diesel})(\text{Poder calorífico})$$

De esta manera se determinó el consumo de energía. Por último fue necesario convertir los KJ (10<sup>3</sup>) a TJ, KJ (10<sup>12</sup>) para multiplicarlo por el factor de emisión por defecto.

#### D. Elección de factores de emisión

Aunque se han realizado estudios por la **Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ACCEFYN)** para calcular los factores de emisión colombianos a partir de las bases teóricas suministradas por la estequiometría de cada uno de los combustibles, no se cuenta con unos valores exactos de contenidos de carbono de combustible específicos de Colombia, pues se guían bajo los estándares internacionales del IPCC. De esta manera, para efectos del desarrollo del proyecto se tendrán en cuenta los factores de emisión cuyo contenido de carbono es por defecto, planteados de igual modo, por el IPCC.

El factor de emisión de CO<sub>2</sub> toma en cuenta todo el carbono del combustible, incluido el que se emite en forma de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, COVDM y materia particulada. Ver tabla 4.

La metodología para escoger el factor de emisión consistió en:

- 1) Determinar la cantidad de combustible consumido por tipo de combustible para el transporte: diesel (ACPM), gasolina, entre otros. En este punto, el tipo de combustible para la maquinaria utilizada en los procesos evaluados es el ACPM.
- 2) Conocer la fuente todo terreno: Agricultura, Silvicultura, Industria o los Hogares. En este caso, la fuente hace parte de la agricultura por evaluar el campo en donde se produce la caña de azúcar orgánica.
- 3) Tener presente el inventario de gases de efecto invernadero que produce la maquinaria involucrada para poder determinar los factores de emisión por defecto. Con lo anterior, se definieron los siguientes factores que se encuentran redondeados en la tabla 4.

**TABLA 6. Factores de Emisión por defecto para fuentes y maquinaria móviles todo terreno para ecuación Nivel 1**

FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LAS FUENTES Y MAQUINARIA MÓVILES TODO TERRENO <sup>(a)</sup>									
Fuente todo terreno	CO <sub>2</sub>			CH <sub>4</sub> <sup>(b)</sup>			N <sub>2</sub> O <sup>(c)</sup>		
	Por defecto (kg/TJ)	Inferior	Superior	Por defecto (kg/TJ)	Inferior	Superior	Por defecto (kg/TJ)	Inferior	Superior
					Diesel				
Agricultura	74 100	72 600	74 800	4,15	1,67	10,4	28,6	14,3	85,8
Silvicultura	74 100	72 600	74 800	4,15	1,67	10,4	28,6	14,3	85,8
Industria	74 100	72 600	74 800	4,15	1,67	10,4	28,6	14,3	85,8
Hogares	74 100	72 600	74 800	4,15	1,67	10,4	28,6	14,3	85,8
Motor de 4 tiempos a gasolina									
Agricultura	69 300	67 500	73 000	80	32	200	2	1	6
Silvicultura	69 300	67 500	73 000						
Industria	69 300	67 500	73 000	50	20	125	2	1	6
Hogares	69 300	67 500	73 000	120	48	300	2	1	6
Motor de 2 tiempos a gasolina									
Agricultura	69 300	67 500	73 000	140	56	350	0,4	0,2	1,2
Silvicultura	69 300	67 500	73 000	170	68	425	0,4	0,2	1,2
Industria	69 300	67 500	73 000	130	52	325	0,4	0,2	1,2
Hogares	69 300	67 500	73 000	180	72	450	0,4	0,2	1,2

Fuente: EEA (2005).  
 Nota: Los valores del factor de emisión del CO<sub>2</sub> representan el contenido total del carbono.  
<sup>a</sup> Los datos provistos en el Cuadro 3.3.1 se basan en las fuentes y la maquinaria móviles todo terreno europeas. Para la gasolina, en el caso de que el consumo de combustible por sector no esté discriminado, pueden obtenerse valores por defecto según las circunstancias nacionales; p. ej., la preponderancia de un sector dado o la ponderación por actividad  
<sup>b</sup> Incluidas las pérdidas diurnas, por remejo y funcionamiento.  
<sup>c</sup> En general, los vehículos todo terreno no tienen instalados catalizadores de control de las emisiones (puede haber excepciones entre los vehículos todo terreno en las áreas urbanas, como el equipo de apoyo de tierra usado en los aeropuertos y puertos urbanos). Los catalizadores que funcionan correctamente convierten los óxidos de nitrógeno en N<sub>2</sub>O y el CH<sub>4</sub> en CO<sub>2</sub>. No obstante, la exposición de los catalizadores a los combustibles con plomo o con alto contenido de azufre, incluso una vez, causa un deterioro permanente (Walsh, 2003). Este efecto, si es aplicable, debe ser tenido en cuenta al ajustar los factores de emisión.

Fuente: IPCC, Fuentes móviles, transporte todo terreno. Volumen 2-Energía

## **E. Incertidumbres**

Las incertidumbres a raíz de los factores de emisión para CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O suelen ser altas, pues dependen de aspectos relacionados con:

- La composición del combustible.
- Distribución de antigüedad de los vehículos y sus características técnicas.
- Patrones de mantenimiento de los vehículos.
- Condiciones de combustión, tanto clima como altitud; y las prácticas de velocidad, distancia de marcha o arranques en frío, o factores de carga.
- Dependencia del tipo de suelo en el que se realice la labor.
- Temperaturas de trabajo.
- Equipos de mediciones y de prueba como el equipo GCH-2018.

## **F. Incertidumbre de los datos de la actividad**

Los datos de la actividad constituyen la fuente primaria de incertidumbre en la estimación de emisiones. Están dados en unidades de energía (p. ej.. TJ), como persona-/tonelada-kilómetros, vehículos, distribuciones de longitud del viaje, eficiencias del combustible, etc. Las fuentes posibles de incertidumbre, que suelen ser de alrededor del +/-5 por ciento, incluyen:

- Incertidumbres de los sondeos nacionales de energía y las devoluciones de datos;
- Las transferencias transfronterizas no registradas.
- La clasificación incorrecta de los combustibles.
- La clasificación incorrecta de los vehículos.
- La falta de exhaustividad (el combustible no registrado en otras categorías de fuentes puede utilizarse para fines del transporte).
- La incertidumbre del factor de conversión de un conjunto de datos de la actividad a otro (p. ej., de los datos de consumo de combustible a persona-/tonelada-kilómetros o viceversa).

## **G. Estimación Experimental**

La estimación experimental consistió en tomar una serie de datos de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>PPM), con el equipo CO<sub>2</sub> Meter GCH-2018, para poder comparar el promedio de estas muestras con el dato teórico a partir de los factores de emisión planteados por el IPCC en cada subproceso evaluado. Así mismo, se tomó una muestra de CO<sub>2</sub>, en PPM en el exhosto del tractor para identificar sus emisiones de acuerdo al tipo de motor.

## **H. Porcentaje de Error**

Para comparar el porcentaje de error entre la estimación experimental y la teórica se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% = \frac{\text{Estimación teórica} - \text{Estimación experimental}}{\text{Estimación teórica}}$$

El resultado de dicho cálculo debe ser más o menos del 10% de error.

### ***I. Conversiones PPM a Ton CO<sub>2</sub> M<sup>3</sup> de Aire***

Con base a las muestras tomadas de dióxido de carbono por el equipo CO<sub>2</sub> Meter GCH-2018, es necesario convertir este valor de ppm a una unidad que pueda compararse con la estimación teórica. Por esto, se continúa con el siguiente proceso de cálculo.

De acuerdo a (*abcienciade*), PPM es una medida de la proporción relativa de una sustancia respecto a otras. En el caso de gases se utiliza el ppmv y significa la proporción relativa de una sustancia respecto a otras dentro de un volumen determinado. Muchas veces se acostumbra a no diferenciar entre ppm y ppmv. En el caso del dióxido de carbono, que es un gas en la atmósfera terrestre, se utiliza la nomenclatura ppm aunque en realidad ppm son ppmv, es decir, partes por millón en volumen.

En el caso de la concentración de gases en la atmosfera se utiliza la magnitud de microkilogramos de aire por metro cúbico. El significado de ppmv es entonces 0,000001 kilogramos de aire por metro cúbico, que es lo mismo que 0,001 gramos de aire por metro cúbico, que es lo mismo que 0,000001×0,001 Toneladas de aire por metro cúbico.

$$ppmv \rightarrow \frac{\mu kg}{m^3} = \frac{mg}{m^3} = 0,001 \times \frac{\mu Ton}{m^3}$$

Esto significa que 380 ppm (simplifico ya ppmv a ppm) significan 380×0,000001×0,001 toneladas de aire por metro cubico. Pero si queremos saber la cantidad de Toneladas de dióxido de carbono hay que saber la relación entre el peso molecular del dióxido de carbono respecto el del aire.

Se calcula entonces los pesos moleculares de cada molécula.

*Peso molecular del dióxido de carbono:* la molécula está compuesta por un átomo de carbono y dos de oxígeno. El peso atómico del carbono es 12 y el peso atómico del oxígeno es 16, tenemos pues que el peso atómico del

$$CO_2 = 2 \times 16 + 12 = 44.$$

*Peso molecular del aire:* Se considera que el aire está formado en un 79% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 1% de gases raros. Hay que tener en cuenta que se trata de nitrógeno y oxígeno molecular, es decir, formado por dos átomos de nitrógeno y dos átomos de oxígeno. El peso molecular del aire será pues el resultado de la siguiente operación,

$$0,79 \times 2 \times 14 + 0,21 \times 2 \times 16 = 28,84.$$

Se acostumbra a escoger un valor aproximado de 29 para el peso molecular del aire seco.

La relación entre los pesos moleculares del dióxido de carbono y del aire es pues 44/29. La cantidad de CO<sub>2</sub> actual en la atmósfera es mayor de 380 ppm (CO<sub>2</sub>Now). Ahora al transformar esta cantidad en toneladas por metro cúbico de aire, se calcula de la siguiente manera:

$$380 \times 10^{-6} \times 10^{-3} \times \frac{44}{29} = 57 \cdot 10^{-8} \text{ Ton/m}^3$$

380 ppm significan entonces 0,000000057 Toneladas de dióxido de carbono por metro cúbico de aire. Para conocer las toneladas totales en toda la atmósfera se tiene que multiplicar por el volumen de la atmósfera terrestre.

Suponiendo la Tierra como una esfera perfecta de radio 6378 km y considerando que la zona donde la atmósfera es densa tiene una altura de 10 km, el volumen será

$$V_{atm} = \frac{4}{3} \pi \left[ (6388 \cdot 10^3)^3 - (6378 \cdot 10^3)^3 \right] \approx 5 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$$

La cantidad total de toneladas de dióxido de carbono es pues

$$57 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \times 5 \cdot 10^{18} \text{ m}^3 = 2,85 \cdot 10^{12} \text{ Ton}$$

Resulta que se tiene actualmente unas 2850 Giga toneladas de dióxido de carbono en la atmósfera.

Siguiendo la misma metodología, se obtuvo la conversión de ppm a Ton de CO<sub>2</sub> m<sup>3</sup> de Aire. Si bien, esto debido a que en el ambiente en donde se tomaron las muestras con el equipo CO<sub>2</sub> Meter GCH-2018, se estaba expuesto a las corrientes de aire por ser un ambiente libre.

## **J. Conversiones de emisiones de GEI en toneladas CO<sub>2</sub> equivalente**

Cada GEI posee distinto Potencial de Calentamiento Global (PCG), el cual representa el efecto de calentamiento relativo en comparación con el CO<sub>2</sub>. Para transformar las emisiones de los gases a una expresión equivalente que permita sumarlos, se utiliza el PCG de cada gas, lo que permite expresar todos los gases en una unidad común denominada CO<sub>2</sub> equivalente. Se utilizaron los valores de PCG para un horizonte temporal de 100 años: 1 para CO<sub>2</sub> (gas de referencia), 21 para CH<sub>4</sub>, 310 para N<sub>2</sub>O, 1300 para HFCs, 6500 para PFCs y 23900 para SF<sub>6</sub>. (*Climático climático, Chile. Pág.15, 2010*)

Las emisiones de GEI en toneladas CO<sub>2</sub> equivalente se estiman de la siguiente forma:

$$\text{Ton CO}_2 \text{ equivalente} = (\text{ton emisión GEI}_i * \text{PCGi})$$

Donde,

**Ton CO<sub>2</sub> eq**= toneladas CO<sub>2</sub>equivalentes

**Ton emisión GEI<sub>i</sub>** = toneladas de emisión del GEI<sub>i</sub>

**PCGi**= Potencial de Calentamiento Global del GEI<sub>i</sub>

**Nota:** Unidades y equivalencias<sup>1</sup> Gg = 1 Gigagramo= 10<sup>9</sup> gramos; 1 ton = 1 tonelada = 10<sup>6</sup> gramos

### **7.2.1.2 Insumos o utilización de productos químicos**

**Otras emisiones:** Uso de productos.

**Tipo de emisión:** Suelos Gestionados y Aplicación de Herbicidas y Fertilizantes.

**Fuente de emisión:** Uso de productos químicos y orgánicos.

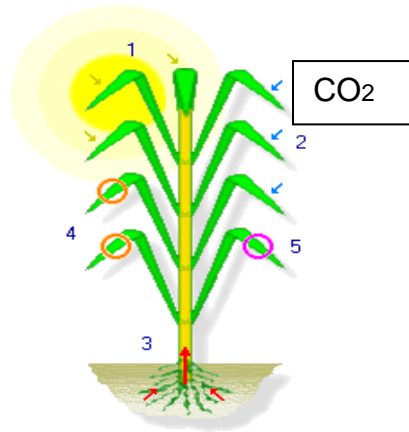
**Gases de Efecto Invernadero:** Emisiones de N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados y emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de las aplicaciones.

#### **A. Emisiones de la caña de azúcar**

Es importante resaltar que la caña de azúcar por ser una planta C<sub>4</sub>, constituye una planta que fija grandes cantidades de C-CO<sub>2</sub> de la atmósfera para realizar su función fotosintética. Como se puede ver en la ilustración 11, después de que la planta fija el C (carbono) del aire, se almacena como C orgánico por medio de la conversión de los residuos agrícolas del suelo. Este componente se comporta

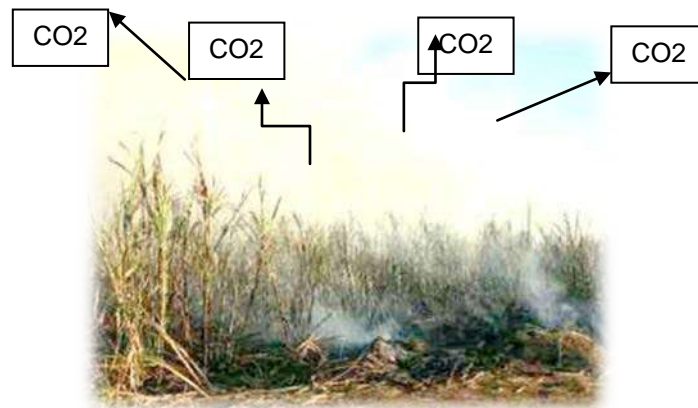
como fuente y sumidero del CO<sub>2</sub> atmosférico o por la acción de microorganismos que fijan el C orgánico de la planta y lo llevan al suelo.

### ILUSTRACIÓN 16. Emisiones de CO<sub>2</sub> en la caña de azúcar



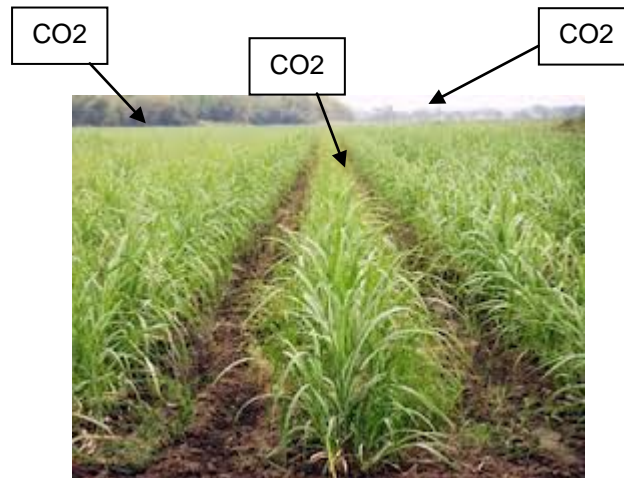
Cuando se decide que para la cosecha de la caña se debe introducir la quema ya sea por la eliminación de la cobertura vegetal, el control de malezas, la disminución del material seco, o la reducción de los costos de cosecha, como también para eliminar los residuos sobrantes y acelerar la preparación y adecuación del suelo, Según el documento de Cabrera y Zuaznabar (2009) en la quema dentro de una hectárea, el cultivo de caña de azúcar genera 24.3 Mg de CO<sub>2</sub> al año.

### ILUSTRACIÓN 17. Quema de caña de azúcar



Ahora esto comparado a la capacidad de fijación de la caña de azúcar en una hectárea, se puede decir que es un factor de emisión bajo, ya que en esta área la caña de azúcar fija 80 Mg de CO<sub>2</sub>.

## ILUSTRACIÓN 18. Capacidad de fijación de la caña de azúcar en emisiones de CO<sub>2</sub>



### **B. Emisiones de los fertilizantes**

Los fertilizantes orgánicos que utiliza el ingenio de estudio son: **Vinaza, Compostaje y Green Life.**

*\*Para efectos del presente proyecto sólo se evaluará el Compostaje, la Vinaza y el Green Life. Cabe aclarar que se trabajará solo con datos netamente bibliográficos para la obtención de las toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>.*

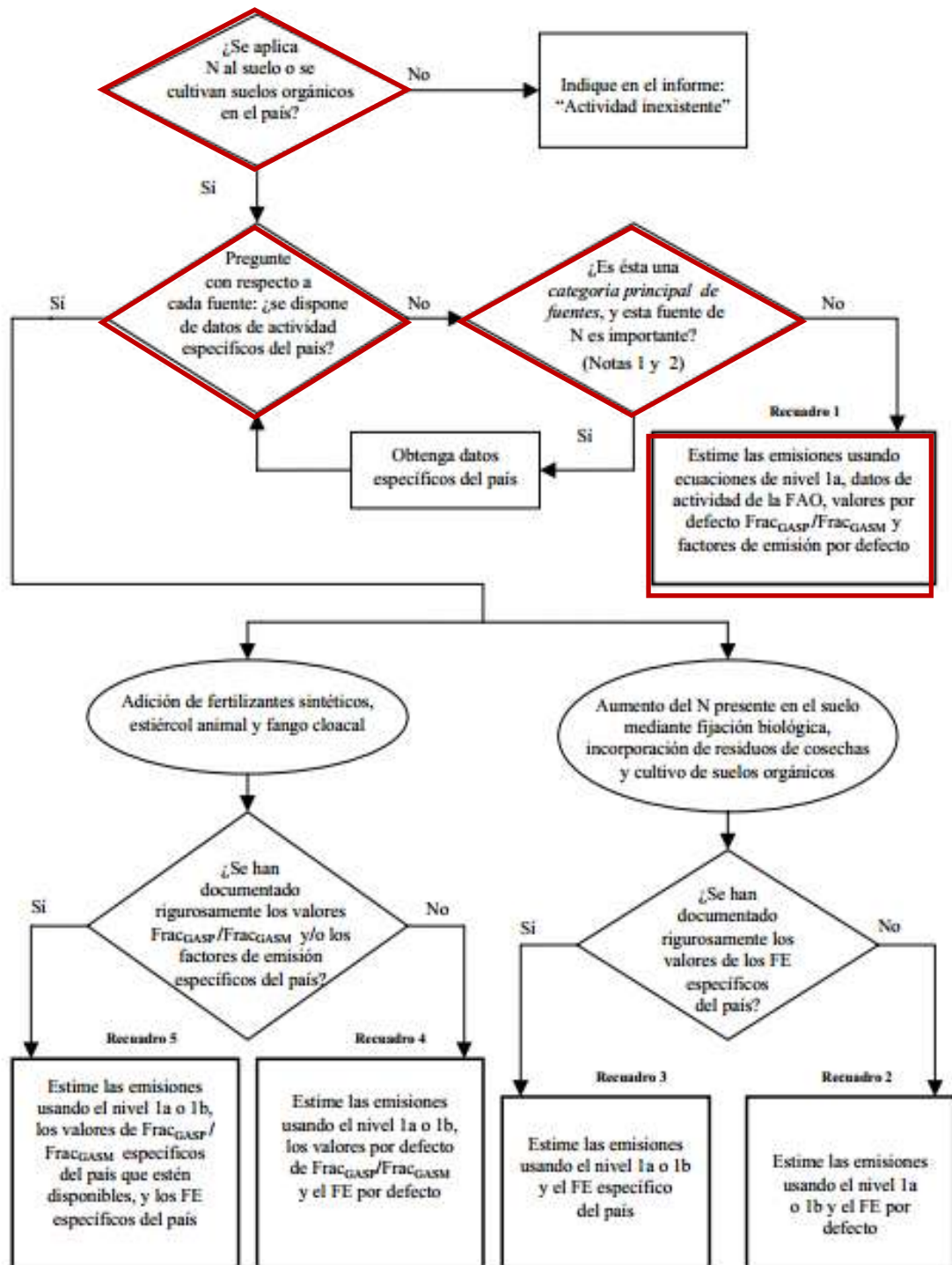
#### **- COMPOSTAJE**

Uno de los fertilizantes más usados es el compostaje, el cual es aplicado en los cultivos, pues mantiene la fertilidad de los suelos, la actividad biológica, retiene el agua y genera el intercambio de cationes con el fin de que el suelo se vuelva más poroso; esto se hace a través de la incorporación de materia orgánica. Para un buen desarrollo del compostaje es necesario una combinación correcta de los ingredientes esenciales, como el contenido de humedad (H) y la relación carbono y nitrógeno (C/N). Esta relación debe ser equilibrada ya que si hay poco nitrógeno, la población de microorganismos no crecerá a su tamaño óptimo y el proceso de compostaje será más lento. Por otra parte si existe demasiado nitrógeno permitirá un crecimiento microbiano más rápido y se acelerará la descomposición, pero se puede crear serios problemas de olores y se perderá nitrógeno al volatizarse. Se debe asegurar un adecuado transporte interno de oxígeno, así como lograr una mezcla más homogénea con un residuo que posea un alto contenido de carbono.

Durante la fermentación aerobia los organismos vivos consumen de 25 a 35 unidades de carbono por cada unidad de nitrógeno. (**Álvarez de la Puente, et al., 2006**). A partir de esto, se procede a explicar los cálculos realizados en la herramienta de Excel.

Los pasos a seguir, según el árbol del IPCC (Diagrama 5), se muestran en los recuadros que se encuentran resaltados en rojo.

**DIAGRAMA 4. Árbol de decisiones aplicable a las emisiones directas de NO<sub>2</sub> procedentes de los suelos orgánicos.**



Fuente: Directrices del IPCC de 2006, pág. 61

A partir del diagrama anterior se utiliza la ecuación 4.28 “N en residuos de cosechas reintegrados a los suelos (Nivel1a)”:

$$F_{RC} = 2 * (Cultivo_O * Frac_{NCRO} + Cultivo_{BF} * Frac_{NCRBF}) * (1 - Frac_R) * (1 - Frac_{QUEM})$$

Donde,

**F<sub>RC</sub>** = N en residuos de las cosechas reintegrados a los suelos

**Cultivo<sub>O</sub>** = cultivos no fijadores de N

**Cultivo<sub>BF</sub>** = Cultivos fijadores de N

**Frac<sub>NCRO</sub>** = Fracción de N en cultivos no fijadores.

**Frac<sub>NCRBF</sub>** = Fracción de Biomasa del cultivo construido por nitrógeno

**Frac<sub>R</sub>** = Fracción de los residuos de las cosechas que se retira de los campos durante la cosecha

**Frac<sub>QUEM</sub>** = Total de biomasa que se quema.

A través de la norma IPCC, se puede obtener la cantidad de N (nitrógeno) en residuos de las cosechas reintegrados a los suelos. La cantidad de nitrógeno que vuelve anualmente a los suelos mediante la incorporación de residuos de cosechas se estima determinando la cantidad total de N que se produce en los residuos de las cosechas (ya sea de cultivos no fijadores como fijadores de N), y ajustándola para dar cuenta de la fracción de residuos que se quema en los campos durante o después de la cosecha.

La producción anual de N procedente de los residuos, según el IPCC, se estima multiplicando la producción anual de cultivos fijadores de N (Cultivo<sub>BF</sub>) y otros cultivos (Cultivo<sub>O</sub>) por sus respectivos contenidos de N (Frac<sub>NCRBF</sub> y Frac<sub>NCRO</sub>), sumando ambos valores de nitrógeno, multiplicándolos por un valor por defecto de 2 (el producto del cultivo más sus residuos), es decir se multiplica por dos ya que la biomasa aérea total de la planta es el doble del producto del cultivo.

Ahora teniendo en cuenta que en una hectárea se aplica 6 toneladas aproximadamente de compost, con una relación promedio de carbono de 25 unidades por una unidad de nitrógeno, proseguimos a realizar los cálculos pertinentes.

$$FRC = 2 * (Cultivo_O * Frac_{NCRO} + Cultivo_{BF} * Frac_{NCRBF}) * (1 - Frac_R) * (1 - Frac_{QUEM})$$

$$FRC = 2 * (0 + Cultivo_{BF} * Frac_{NCRBF}) * (1 - 0) * (1 - 0)$$

$$FRC = 2 * (Cultivo_{BF} * Frac_{NCRBF})$$

$$FRC = 2 * (6 \text{ Ton. } 0,01)$$

$$\text{FRC} = 0,12 \text{ Ton N/ ha.}$$

Para efectos de entender el procedimiento de obtención del total de las toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>, se empezara por explicar cómo se halló los resultados del abono orgánico “Compostaje”.

En una hectárea se aplica 6 toneladas aproximadamente de compostaje. El compostaje se trabajara con una relación de 25 unidades de carbono por 1 unidad de nitrógeno. Las pérdidas de materia orgánica o carbono volátil pueden alcanzar el 30% (Reyes, Damián. 2013). El carbono volátil procede de la descomposición de la materia orgánica, convirtiéndose en metano (Ciencia y biología. En línea).

### Ton de metano / Hectárea

$$6 \frac{\text{Ton}}{\text{Hect}} \times 30\% = 1,8 \frac{\text{Ton CH}_4}{\text{Hect}}$$

### Ton de N<sub>2</sub>O / Hectárea

$$\text{FRC} = \frac{0,12 \text{ Ton N/ hect N}}{0,12} \times 120000 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mol N}}{14 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ mol N}_2\text{O}}{1 \text{ mol N}} \times \frac{44,013 \text{ g}}{1 \text{ mol N}_2\text{O}} = 377254,29 \text{ g} = 377,254 \text{ kg} = 0,3773 \text{ Ton de N}_2\text{O/ Hect}$$

### Cantidad de metano (m<sup>3</sup>) / Hectárea

$$1,8 \frac{\text{Ton CH}_4}{\text{Hect}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{0,66 \text{ kg}} = 2727,27273 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ Hectárea}$$

Para poder seguir con el proceso de encontrar el total de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> del metano, se halla como primera medida las toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> por hectárea de los dos gases anteriores según, la tabla dada por el IPCC.

**TABLA 7. Tabla con los Potenciales de Calentamiento Global**

Greenhouse Gas	Formula	100-year GWP (SAR)
Carbón dióxido	CO <sub>2</sub>	1
Methane	CH <sub>4</sub>	21

Nitrous oxide	N2O	310
Sulphur hexafluoride	SF6	23,9
<b>Hydrofluorocarbons (HFCs)</b>		
HFC-23	CHF3	11,7
HFC-32	CH2F2	650
<b>Perfluorocarbons (PFCs)</b>		
Perfluoromethane	CF4	6,5
Perfluoroethane	C2F6	9,2
Perfluoropropane	C3F8	7
Perfluorobutane	C4F10	7
Perfluorocyclobutane	c-C4F8	8,7
Perfluoropentane	C5F12	7,5
Perfluorohexane	C6F14	7,4

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Fourth Assessment Report (AR4), Working Group 1, Chapter 2, Changes in Atmospheric constituents and in Radiative Forcing, Table 2.14, page 212.

### Ton Compost – Metano

1,80 Ton de metano por hectárea \*21= 37,8 Toneladas equivalentes de CO2/hectárea

### Ton Compost – N<sub>2</sub>O

0,3773 Ton de NO<sub>2</sub> / hectárea \* 310 = 116,949 Toneladas equivalentes de CO2/hectárea.

### Total de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>

37,8 + 116,949 = 154,749 Toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>.

### - VINAZA

Teniendo en cuenta que la información bibliográfica de la vinaza tratada como fertilizante orgánico es muy escasa, se trabajara con el mayor gas que se emite por este fertilizante, Metano. Para el desarrollo de la herramienta se trabajara solo con este gas.

Para hallar la cantidad de metano (m<sup>3</sup>) / Hectárea, se tiene en cuenta que un metro cubico de vinaza proveniente de maleza genera aproximadamente 20m<sup>3</sup> de metano (gas natural) equivalente (*Conil, Philippe, 2012*), entonces:

### Cantidad de metano (m<sup>3</sup>) / Hectárea

$$\frac{3000 \text{ galones}}{\text{Hectarea}} \times \frac{3,8 \text{ L}}{1 \text{ galon}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \times \frac{20 \text{ m}^3 \text{ CH}_4}{1 \text{ M}^3} = \frac{226,8 \text{ m}^3 \text{ CH}_4}{\text{Hectárea}}$$

De acuerdo a la ecuación anterior se genera 226,8 m<sup>3</sup> de metano por hectárea.

A partir de esto se procede hallar las toneladas de metano por hectárea de la siguiente forma:

### Ton metano / hectárea

$$\frac{226,8 \text{ m}^3}{\text{Hectarea}} \times \frac{0,66 \text{ Kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} = \frac{0,149688 \text{ Ton CH}_4}{\text{Hectarea}}$$

Y para hallar las toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> por hectárea se multiplica por el equivalente del metano, según la tabla 5, en este caso es 21. Dando como resultado **3,1** toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>.

### - GREEN LIFE

Por último, se tiene el Green Life, el cual es un fertilizante orgánico líquido para aplicación al suelo y foliar. Teniendo en cuenta la siguiente tabla.

**TABLA 8.Composición del fertilizante GREEN LIFE**

**Composición Garantizada**

Contenido	
Nitrógeno total (N)	30,00 g/L
Potasio soluble Agua (K2O)	8,28 g/L
Fosforo Asimilable (P2O5)	1.56 g/L
Calcio (CaO)	5,12 g/L
Magnesio (MgO)	1.16 g/L
Azufre (S)	1.80 g/L
Boro (B)	0.010 g/L
Cobre (Cu)	0.008 g/L
Manganeso (Mn)	0.023 g/L
Hierro (Fe)	0.490 g/L
Zinc (Zn)	0.019 g/L
Sodio (Na)	0.65 g/L
Carbono orgánico Oxidable Total	34.40 g/L
Relación C/N	1.71 g/L
pH en solución al 10%	9.26
Densidad a 20 °C. (g/ml)	1,0845
Sólidos sus. Totales	9.18 g/L

Se tiene que el carbono orgánico oxidable es de 34,4 g/L y el nitrógeno Total (N) es de 30 g/ L. Ahora para hallar la cantidad de metano (m<sup>3</sup>) por hectárea, se realiza los siguientes cálculos.

**Cantidad de metano (m3) / Hectárea**

$$\frac{3 \text{ L}}{\text{Hect}} \cdot \frac{34,4 \text{ g C}}{\text{L}} \cdot \frac{1 \text{ Mol C}}{12 \text{ g}} \cdot \frac{\text{Mol CH}_4}{\text{Mol C}} \cdot \frac{16 \text{ g CH}_4}{\text{Mol CH}_4} \cdot \frac{1 \text{ L CH}_4}{0,66 \text{ g CH}_4} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 0,20848485 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ Hect}$$

**Ton de metano/ Hectárea**

$$\frac{3 \text{ L}}{\text{Hect}} \cdot \frac{34,4 \text{ g C}}{\text{L}} \cdot \frac{1 \text{ Mol C}}{12 \text{ g}} \cdot \frac{\text{Mol CH}_4}{\text{Mol C}} \cdot \frac{16 \text{ g CH}_4}{\text{Mol CH}_4} \cdot \frac{1 \text{ ton CH}_4}{1000000 \text{ g}} = 0,0001376 \text{ Ton CH}_4 \text{ Hect}$$

A este resultado se le multiplica el potencial de calentamiento global según la tabla 5,  $0,0001376 \times 21 = 0,0028896$  Toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>/ Hectárea.

**Ton de N2O/ Hectárea**

Ton de N2O/ Hectarea											
$\frac{3 \text{ Lt}}{\text{Hect}}$	$\times$	$\frac{30 \text{ g N}}{\text{Lt}}$	$\times$	$\frac{\text{Mol N2O}}{\text{Mol N}}$	$\times$	$\frac{44,01 \text{ g N2O}}{\text{Mol N2O}}$	$\times$	$\frac{1 \text{ Ton N2O}}{1000000 \text{ g No2}}$	$=$	$0,00396117 \text{ Ton N2O}$	$\frac{\text{Ton N2O}}{\text{Hect}}$

A este resultado le multiplica el potencial de calentamiento global según la tabla 5,0,00396117 x 310 = 1,2276 Toneladas Equivalente de CO2/Hectárea.

### Total de Ton Equivalentes de CO<sub>2</sub>.

$$0,0028896 + 1,2279 = 1,23085 \text{ Toneladas Equivalentes de CO}_2$$

El resultado anterior nos refleja que para el Green Life se emite 1,23085 toneladas métricas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

## 8. RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados para la estimación de la Huella de Carbono en una hectárea de cultivo de caña de azúcar con perspectiva orgánica desde la evaluación de las labores: descepada, rastrillada, corte de semilla, aplicación de vinaza y uso de fertilizantes se mostrarán a continuación, con el punto de vista del alcance 1:

### 8.1 Resultados Maquinaria

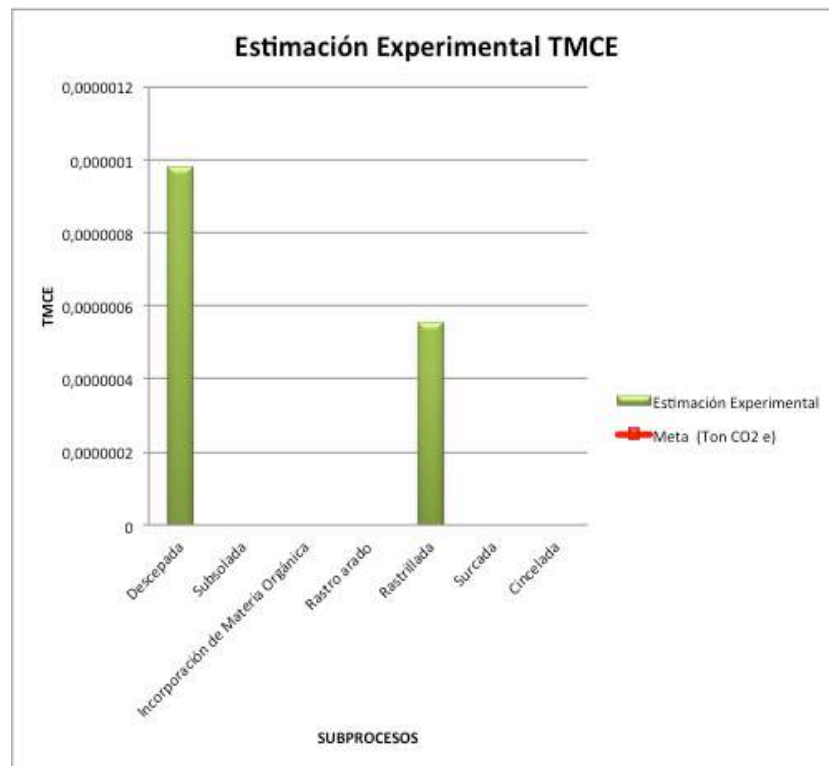
#### Procesos

##### ➤ Adecuación de Terreno

	Número de Pases/hectárea	Estimación Teórica		Estimación Experimental	
		Toneladas de Carbono Equivalente de CO2	Toneladas de Carbono Equivalente de CO2	Toneladas de Carbono Equivalente de CO2	Porcentaje (Estimación teórica - Estimación experimental/Estimación teórica)
1 Descepada	2	0,002467163	9,79473E-07	0,207%	
2 Subsolada	2				
3 Incorporación de Materia Orgánica	1				
4 Rastro arado	2				
5 Rastrillada	1	0,001138691	5,55442E-07	0,065%	
6 Surcada	1				
7 Cincelada	0				
Total		0,003605854	1,53491E-06	0	-

Para el proceso de Adecuación de Terrenos, las labores que se evaluaron fueron descepada y rastrillada en donde el resultado teórico corresponde a 0,00246 TMCE y resultado experimental de  $9,79 \times 10^{-7}$  para la descepada; 0,0011 TMCE teórico y experimental  $5,55 \times 10^{-7}$  TMCE, en rastrillada. El porcentaje de error fue del 0,2% y 0,065% respectivamente. Ver gráfica 4.

**GRAFICA 4. Estimación Teórica y Experimental en TMCE para las labores descepada y rastrillada**

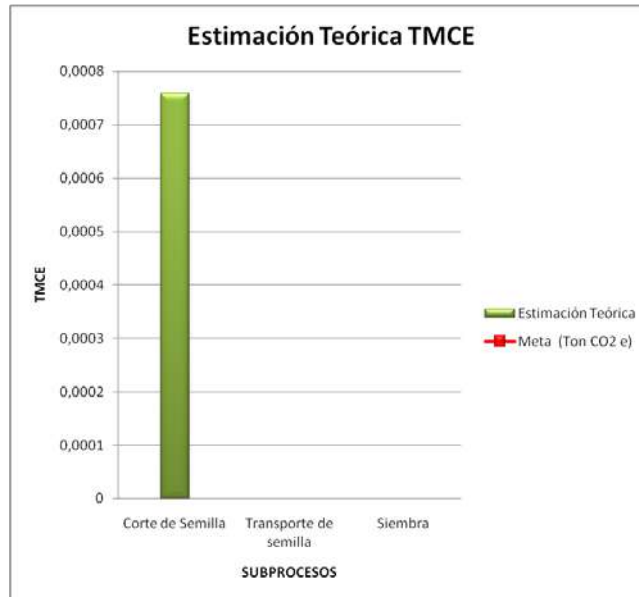


➤ Siembra

	Número de Pases/hectárea	Estimación Teórica	Estimación Experimental	Porcentaje (Estimación teórica - Estimación experimental/Estimación teórica)	Meta (Ton CO2 e)
		Toneladas de Carbono Equivalente de CO2	Toneladas de Carbono Equivalente de CO2		
1 Corte de Semilla	2	0,000759127	0	0,076%	
2 Transporte de semilla			0	0	
3 Siembra			0	0	
Total		0,000759127	0	0,076%	

Para el proceso de Siembra, la labor evaluada fue el corte de semilla, cuyo resultado teórico es de 0,000759, según la estimación que arrojó la herramienta de Excel. No se obtuvo dato experimental puesto que no fue posible tomar las respectivas muestras con el equipo que calcula CO2 en PPM, durante la visita. Su porcentaje de error fue de 0,076%. Ver gráfica 5.

## GRAFICA 5. Estimación Teórica en TMCE para la labor de Corte de Semilla



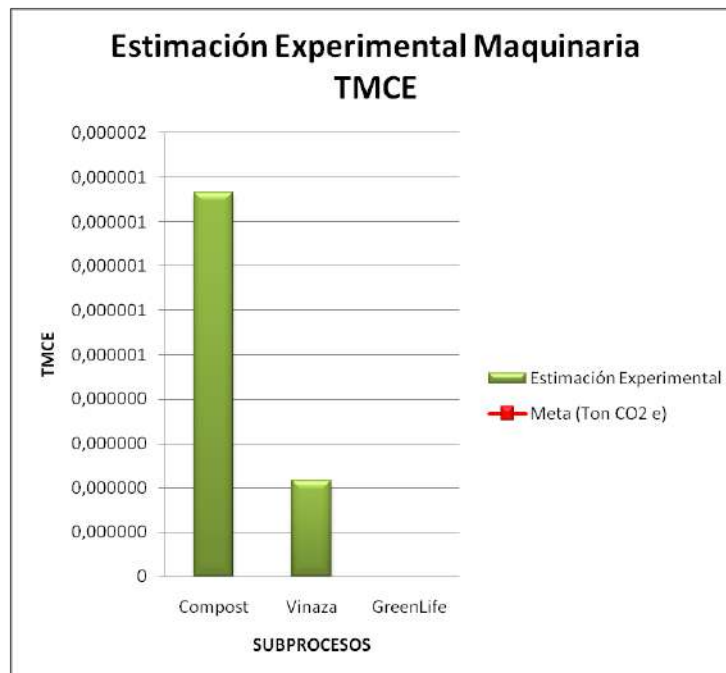
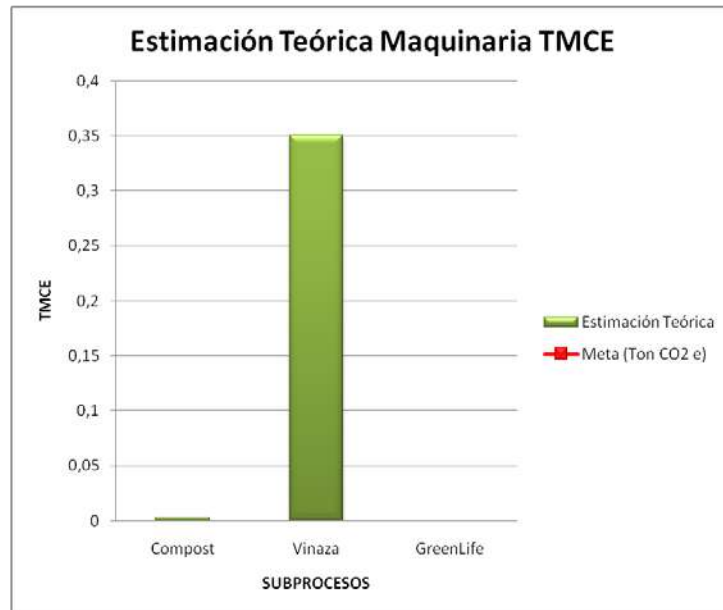
### ➤ Aplicación de Fertilizantes – Vinaza y Compostaje

#### Maquinaria

	Número de Pases/hectárea	Estimación Teórica		Estimación Experimental		Meta (Ton CO2 e)
		Toneladas de Carbono Equivalente de CO2	Toneladas de Carbono Equivalente de CO2	Toneladas de Carbono Equivalente de CO2	Porcentaje (Estimación teórica - Estimación experimental/Estimación teórica)	
Compost	4	0,003036508	1,72989E-06	0,25%		
Vinaza	1	0,350945275	4,32473E-07	35,09%		
GreenLife	1	0	0	0		
Total		0,350945275	2,16237E-06	35,34%		

Para el proceso de Aplicación de Fertilizantes, el resultado teórico de la maquinaria con Vinaza fue de 0,350 TMCE y de la estimación experimental de  $4,32 \times 10^{-7}$  TMCE, con un porcentaje de error del 35%, el cual es alto pues se esperaría un porcentaje de diferencia de más o menos 10%. Una posible causa corresponde al dato suministrado por los operarios sobre la cantidad de combustible que consume el vehículo para ejercer la labor de aplicar la vinaza en la hectárea. Este fue un dato cualitativo, brindado bajo sus experiencias en dicha labor. El resultado teórico de la maquinaria para la aplicación del compostaje fue de 0,0030 TMCE y el experimental de  $1,72 \times 10^{-6}$  TMCE, con un porcentaje de error de 0,25%. Ver gráfica 6.

**GRAFICA 6. Estimación Teórica y Experimental de la labor aplicación de vinaza y compostaje**



## 8.2 Insumos o Utilización de productos químicos

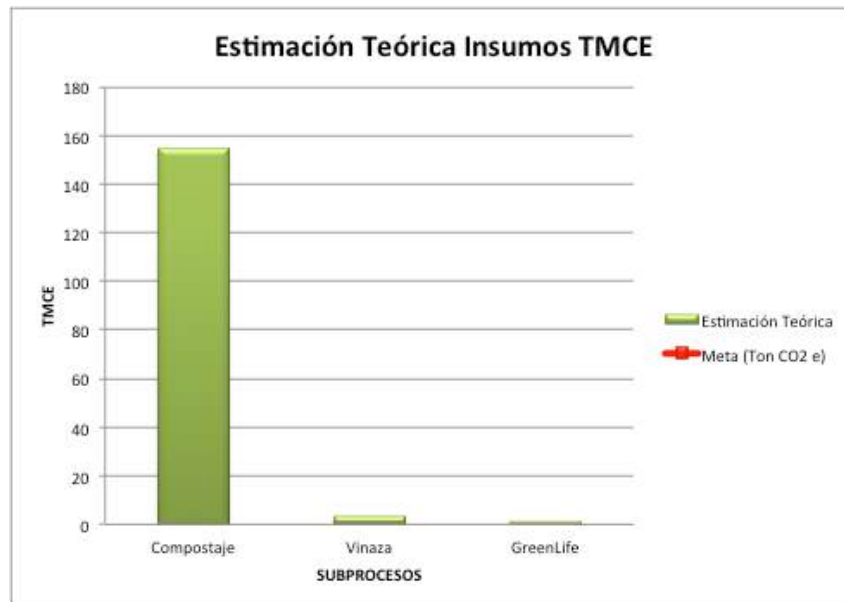
**Insumos**

	Número de Pases/hectárea	Estimación Teórica	
		Toneladas de Carbono Equivalente de CO2	Meta (Ton CO2 e)
Compostaje		✓ 154,7488286	
Vinaza		✓ 3,143448	
GreenLife		✓ 1,2308523	

Para el proceso de utilización de productos químicos en el cultivo de caña de azúcar desde una perspectiva orgánica, se obtuvo una estimación teórica como se muestra en la anterior tabla, en donde el compostaje generó como resultado 154,74 TMCE, la Vinaza de 3,1434 y el Green Life de 1,23 TMCE.

A continuación se muestra la gráfica en el cual se visualiza de mejor manera los resultados obtenidos.

**GRAFICA 7. Estimación Teórica de los insumos TMCE**



### 8.3 Resumen del Inventario de GEI estimado en las labores evaluadas

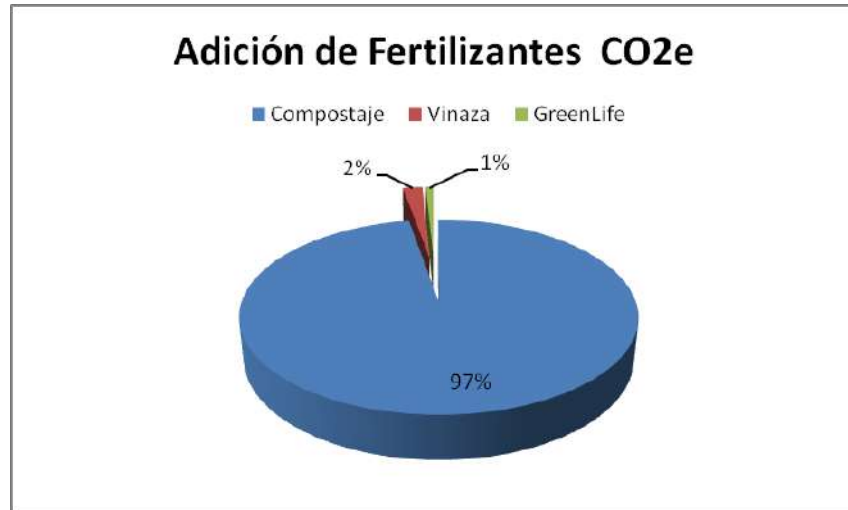
**TABLA 9. Resumen de Inventario de GEI estimado en las labores evaluadas (ton/hectárea y %/hectárea al año)**

	Toneladas/hectárea al año Teórico			
	CO2	CH4	N2O	CO2 e
<b>Sector Agricultura</b>				
<b>Adición de Fertilizantes Orgánicos</b>				
Compostaje		1,8	0,377	154,7488286
Vinaza		0,149688		3,143448
GreenLife		0,0001376	0,00396117	1,2308523
<b>Energía - Combustión</b>				
Descepada	2,817E-05	1,44657E-05	1,48464E-05	0,004934326
Rastrillada	6,50078E-06	3,33824E-06	3,42609E-06	0,001138691
Corte de Semilla	4,33385E-06	2,22549E-06	2,28406E-06	0,000759127
Aplicación de Compost	1,73354E-05	8,90197E-06	9,13623E-06	0,003036508
Aplicación de Vinaza	0,002003545	0,001028847	0,001055922	0,350945275
Total GEI	0,002059885	1,950883379	0,38	159,4839428
Total CO2e	0,002059885	40,96855096	118,513332	159,4839428

	Porcentaje/hectárea al año Teórico			
	CO2	CH4	N2O	CO2 e
<b>Sector Agricultura</b>				
<b>Adición de Fertilizantes Orgánicos</b>				
Compostaje		92,32%	98,96%	97,25%
Vinaza		7,68%	0,00%	1,98%
GreenLife		0,01%	1,04%	0,77%
<b>Energía - Combustión</b>				
Descepada	1,37%	1,37%	1,37%	1,37%
Rastrillada	0,32%	0,32%	0,32%	0,32%
Corte de Semilla	0,21%	0,21%	0,21%	0,21%
Aplicación de Compost	0,84%	0,84%	0,84%	0,84%
Aplicación de Vinaza	97,26%	97,26%	97,26%	97,26%
Total GEI	0,09%	83,54%	16,37%	
Total CO2e	0,00%	25,69%	74,31%	

➤ Adición de fertilizantes

**GRAFICA 8. Adición de Fertilizantes CO<sub>2</sub>e**



A partir de la gráfica 8 y de la tabla 10, se puede observar que el insumo que mayor impacto genera al medio ambiente en términos de carbono equivalente es el compostaje con un 97%.

De acuerdo a los cálculos generados el abono de mayor generación de GEI es el compostaje, con emisiones de 1,8 toneladas de metano / hectárea, siguiéndole el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) con 0,377 Ton de N<sub>2</sub>O/ hectárea. Las emisiones de gases de efecto invernadero durante el tratamiento de los residuos orgánicos se presentan por que se constituyen en un sistema extendido.

El proceso del compostaje, es un proceso biológico donde los microorganismos degradan la materia orgánica de los residuos orgánicos transformándolos en materias estables de interés agrícola como los compost. A partir de este proceso, se generan emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), las cuales son nulas, ya que la metodología del IPCC considera que las emisiones de este gas por quema de biomasa están justamente equilibradas por la captura del mismo debido al recrecimiento natural de la vegetación. Adicional a este se generan Metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), en distintas proporciones que dependen de diversos factores que entran a interactuar en este proceso.

El metano se produce durante la degradación de la materia orgánica en ambientes de ausencia de oxígeno o anaerobiosis. Aunque el compostaje es un proceso aeróbico, suele ser común que se creen zonas de anoxia en las pilas de compostaje, sobre todo en la parte más profunda de las pilas (hay poca difusión del oxígeno) que no se voltean frecuentemente (Reyes, 2013). Para las

emisiones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), el principal proceso responsable de este gas es la nitrificación. Este proceso consiste en la transformación del amonio que viene del nitrógeno orgánico a nitrato.

Por otro lado, en la gráfica se identifica que el segundo tipo de abono que genera impacto es la Vinaza, la cual se obtiene por el proceso eficiente de fermentación y destilación del bagazo de caña; es responsable de casi el 70% de la contaminación ocasionada por las destilerías (Acevedo. Op.cit. 2007). Su composición está constituida por carbono orgánico, pH ácido, potasio, fósforo, aluminio, magnesio, boro entre otros. Cuando esta sustancia interactúa con el agua incrementa la temperatura y genera ausencia de oxígeno. A partir de esto, diversas investigaciones se han generado para mitigar este riesgo, con el fin de reparar el suelo por su contenido de sales de nitrógeno, potasio y otros componentes útiles para la tierra.

Según Sarria y Preston el uso de la vinaza diluida en plantaciones de caña de azúcar presenta una serie de desventajas, tales como:

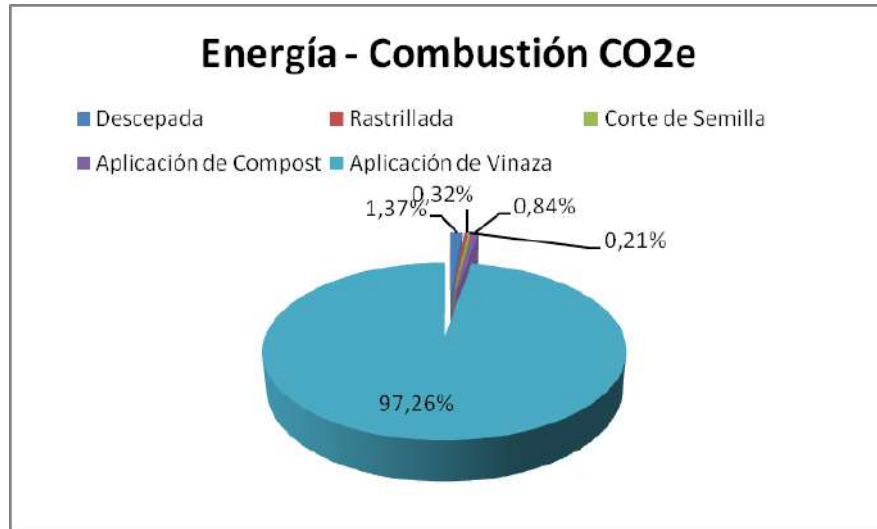
- Dificultad para dosificar la vinaza, cuando es distribuida por canales o tubos.
- Costo elevado del transporte diluido por carro tanques, ya que para aplicar esto se deben hacer varios viajes.
- Solo conociendo el contenido de nutrientes y controlando la cantidad que se aplica puede sustituir la vinaza a los fertilizantes químicos.

Por otra parte, se genera una serie de ventajas al utilizar la vinaza como lo son:

- La disminución de contaminación en aguas, ya que la sustancia es vertida a los campos.
- El proceso de concentración de la vinaza permite reutilizar el agua mediante el uso de torres de enfriamiento.
- Fomenta la reproducción de microorganismos en el suelo.
- Aporte de nutrientes a la tierra.

➤ Energía – combustión

**GRAFICA 9. Energía - Combustión CO2e**



A partir de la gráfica 9 y la tabla 10, se induce que la labor con mayor impacto medioambiental en combustión consumido es la Aplicación de Vinaza con un porcentaje de 97,26% en términos de carbono equivalente, con emisiones de 0,0020 ton/ hectárea de CO<sub>2</sub>, 0,001028 ton/hectárea de CH<sub>4</sub> y 0,001055 ton/hectárea de N<sub>2</sub>O, siendo así la mayor cantidad de emisión correspondiente al dióxido de carbono. Las emisiones se ven afectadas por la combustión del diésel de la maquinaria.

Una de las razones que altera el resultado es la cantidad de combustible suministrado al vehículo para poder realizar dicho proceso. Si bien este dato lo brindó en su momento el operario a partir de su experiencia y cálculo, por lo cual es cualitativo. Se recomendaría poder medir la cantidad exacta de combustible consumido durante la labor en la hectárea.

Otra razón que es que el vehículo utilizado es John Deere 4240 - Modelo 1963, motivo por el cual puede afectar esta estimación. En la pestaña “Muestreo CO<sub>2</sub> PPM-Maquinaria” de la Herramienta de Excel, se realizó una medición del exhosto del vehículo, el cual presentó un valor de 6779 ppm, representando un valor alto de emisión de dióxido de carbono.

El diésel es un tipo de combustible derivado del petróleo crudo utilizado en motores de combustión a diésel. Cuando estos motores queman combustible, emiten contaminantes dañinos. Cuando estos vehículos permanecen en ralentí (tienen el motor encendido cuando el vehículo está detenido), los motores diésel producen más emisiones dañinas que si estuvieran en movimiento. Esto se debe a que los motores no pueden quemar el combustible en forma tan limpia como lo

harían si estuviesen en movimiento. El escape de los motores diesel está compuesto por hollín, gases y otros componentes dañinos que son peligrosos contaminantes del aire. Aunque los motores viejos, no reacondicionados, son un beneficio para los que invierten en motores o desean comprar un vehículo usado, producen más contaminación que los motores nuevos o reacondicionados (*Greenaction, DEEP*).

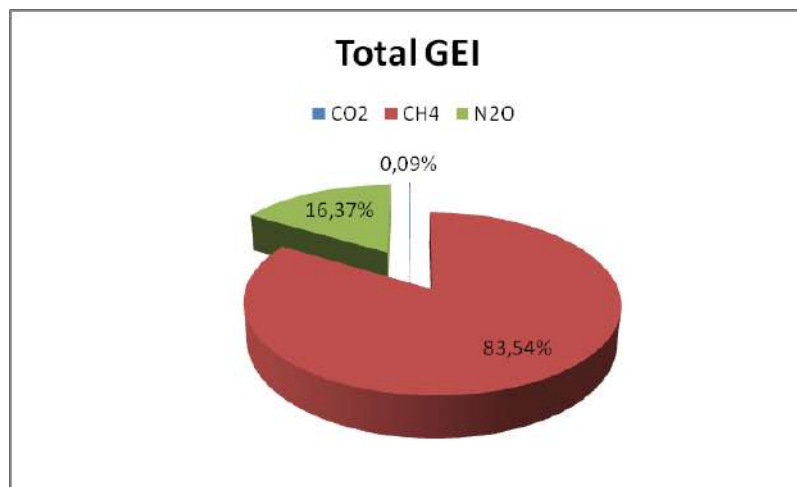
Las emisiones de los motores diesel en ralentí producen un impacto negativo en la calidad del aire y en la salud pública de las comunidades aledañas al ingenio. La maquinaria también se ve afectada, se reduce la vida útil de los motores de los autos al malograr los pistones, las válvulas, las bujías y deteriorar los sistemas de inyección de combustible. Las emisiones en ralentí producen una gran cantidad de contaminantes atmosféricos que afectan negativamente la salud humana y el medio ambiente. Entre ellos se encuentran altos niveles de dos contaminantes criterio, contaminantes peligrosos y comúnmente encontrados que son denunciados y controlados por los distritos del aire locales y por el DAGMA.

Los contaminantes criterio son: el ozono a nivel del suelo, contaminación por partículas (materia en partículas o PMs), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).

Sería importante evaluar qué tipo de vehículo podría ser reemplazado y que de igual manera cumpla con su función en las labores agrícolas en cuanto a su eficiencia o un Programa de capacitación sobre diesel y de cómo reducir sus emisiones.

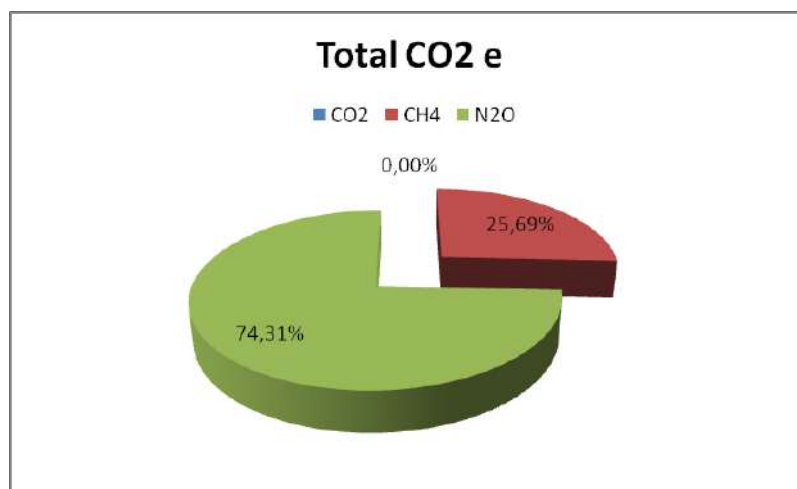
➤ Total GEI y CO<sub>2</sub>e

**GRAFICA 10. Porcentaje Total de Gases de Efecto invernadero**



De acuerdo a la gráfica 10 y tabla 10, el gas de efecto invernadero que mayor porcentaje tiene en los procesos evaluados como la descepada, rastrillada, corte de semilla, aplicación de compostaje y vinaza, y utilización de insumos de componentes orgánicos en una Hectárea, es el metano con un 83,54%, luego el óxido nitroso con un 16,37% y por último el dióxido de carbono con un 0,09%. Cabe aclarar que aunque el inventario de Gases de Efecto Invernadero indica que el gas que más se emite es el metano, en la adición de fertilizantes orgánicos, no se tuvo en cuenta el porcentaje emitido de CO<sub>2</sub>, por la norma del IPCC.

**GRAFICA 11. Porcentaje de CO2 equivalente**



El potencial de calentamiento global es utilizado para medir la capacidad que tienen los diferentes gases de efecto invernadero en la retención del calor en la atmósfera, en este caso una vez se convierte cada uno de los gases a TMCE, en base a los potenciales de calentamiento global, el porcentaje mayor es del óxido nitroso con 74,31%, metano con 25,69% y el dióxido de carbono con un 0%. Se debe tener en cuenta que este resultado se pudo dar ya que para convertir óxido de nitroso a CO<sub>2</sub> equivalentes se debe multiplicar por 321, eso hace que las concentraciones de Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) aporten más al efecto invernadero y en últimas al calentamiento global.

## 9. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos durante la evaluación de los procesos descepada, rastrillada, corte de semilla, aplicación de vinaza y utilización de insumos orgánicos para la estimación de la Huella de Carbono en un cultivo de caña de azúcar desde una perspectiva orgánica se puede concluir:

- El tipo de fertilizante con mayor índice de toneladas por hectárea de CO<sub>2</sub> equivalente es el compostaje, con un 97,25%, respecto a la vinaza y al GreenLife. Estas emisiones de metano, pueden ser controladas durante el proceso si se tienen las herramientas adecuadas para medirlas.
- El proceso que mayor impacto tiene en toneladas por hectárea de CO<sub>2</sub> equivalente en referencia al consumo de energía es la aplicación de Vinaza, con un 97,26% y el menor es el Corte de Semilla con 0,21%.
- El total de emisiones de GEI por hectárea es de 159,48 toneladas CO<sub>2</sub> equivalente/hectárea.
- En base a los potenciales de calentamiento global, el porcentaje mayor es del óxido nitroso con 74,31%, metano con 25,69% y el dióxido de carbono con un 0%.
- El ingenio con 28.500 hectáreas de terreno productivo, presenta 4,6 Mega Toneladas de CO<sub>2</sub>e.
- La cantidad de emisiones de los vehículos con combustible diesel y sobre todo en estado ralenti (ver glosario), además de ser una causa para el cambio climático, afecta el bienestar y genera problemas de salud de la comunidad aledaña al ingenio. Se ha vinculado a las emisiones diésel con el desarrollo de cáncer, asma y alergias, así como con el agravamiento de los síntomas de asma, bronquitis crónica y otros problemas de salud relacionados con la respiración. Gran parte del daño proviene de la inhalación de partículas de hollín de carbono (PMS) y de gases como los óxidos de nitrógeno y el ozono que son perjudiciales para los pulmones, la nariz, la garganta y el sistema cardiopulmonar (el sistema que transporta la sangre desde y hacia el corazón y los pulmones).
- A partir de esta línea base estimada, se podrá comparar anualmente el cambio en las emisiones de GEI generadas en el sector. Es decir, será el referente para monitorear si las acciones de mitigación del cambio

climático en el sector de agricultura están comportando cambios en la cantidad de emisiones de GEI. A partir del indicador presentado, es factible obtener emisiones por tipos de fuentes, sectores emisores, a nivel estatal.

- El proyecto servirá de base para estudiantes, investigadores o ingenios que quieran proseguir con estimaciones que no estuvieron al alcance del trabajo, como los demás procesos de cultivo, producción, comercialización, entre otros.
- El trabajo se evalúa positivamente considerando que se cumplió el objetivo del proyecto de grado, Diseñar una herramienta para estimar la Huella de Carbono en una hectárea de cultivo de caña de azúcar bajo una perspectiva orgánica en los procesos descepada, rastrillada, corte de semilla y aplicación de fertilizantes.

## 10. RECOMENDACIONES

Una de las recomendaciones para minimizar el impacto al medio ambiente en campo sería evaluar la utilización de biocombustibles, en este caso de biodiesel en reemplazo del diesel.

De acuerdo a la Unidad de Planeación Minero Energético, La expedición de la Ley 939 de 2004, permitió ampliar el espectro en el uso de los biocombustibles generando las condiciones para estimular la producción y comercialización de biocombustibles no solo de origen vegetal, sino de origen animal, para su uso en motores diesel, abarcando aquella parte del sector transporte no contemplada en la Ley 693 de 2001. Los programas de mezcla de biocombustibles han permitido que en buena parte del territorio nacional se distribuya mezcla de 10% de alcohol carburante con gasolina, y 5% de Biodiesel con ACPM.

La nueva Ley estableció disposiciones relacionadas con el esquema tributario, excluyendo al biodiesel del pago del impuesto a las ventas e impuesto global al ACPM y generando los incentivos para la financiación de proyectos particularmente de cultivos de tardío rendimiento. La enorme polémica a nivel mundial en relación al posible desabastecimiento de alimentos derivado de la producción masiva de biocombustibles, se están investigando otras fuentes, con mayor énfasis en biomasa residual de procesos industriales – los llamados biocombustibles de segunda generación (*UPME, 2009*).

En este sentido, vale la pena destacar la puesta en marcha de proyectos piloto en distintos países. Aunque esta tecnología es aún naciente y no está disponible comercialmente, es conveniente considerarla dentro del abanico de posibilidades futuras para el ingenio dada la vocación agroindustrial del país.

El biodiesel es un combustible de origen vegetal que puede reemplazar al tradicional combustible de origen fósil, diesel o ACPM. Las razones para su uso en motores de combustión interna alternativos (MCIA) de encendido por compresión (diesel) son principalmente dos: primero que todo, su naturaleza biodegradable y renovable convirtiéndolo en una alternativa de desarrollo sostenible; y segundo, la reducción de la emisión de contaminantes al medio ambiente en comparación con el diesel convencional.

Sin embargo, para poder utilizar el biodiesel en motores es necesario que cumpla con ciertas características o propiedades de tal manera que su efecto no sea más perjudicial que el diesel o ACPM tradicional. El biodiesel es un combustible no derivado del petróleo que consiste en esteres que se pueden derivar tanto de la transesterificación de los triglicéridos, presentes en los aceites vegetales, como de

la esterificación de los ácidos grasos libres. Sus propiedades son similares a las del diesel convencional y puede ser utilizado como sustituto o en mezclas.

Al ser un combustible obtenido de fuentes naturales tiene características que hacen de su uso un mecanismo favorable al medio ambiente. Las características finales del biodiesel dependen de la materia prima utilizada para su procesamiento y generalmente está asociada a la disponibilidad del recurso primario existente en cada país. En los Estados Unidos, por ejemplo, se utiliza Aceite de Soya debido a su disponibilidad en una cantidad suficiente para suplir el mercado nacional. Por otro lado, en Malasia es muy común el biodiesel a partir de aceite de palma, en este país se encuentra uno de los centros de investigación más importantes en la producción de este biocombustible, el Malaysian Palm Oil Board (MPOB) - anteriormente conocido como Palm Oil Research Institute of Malaysia (PORIM).

Este proceso consiste en que el aceite o grasa es mezclado con un alcohol y en presencia de un catalizador se produce la reacción en la que se genera como producto principal alquilesteres (biodiesel) y como subproducto un trialcohol (glicerina), siendo la transesterificación la vía de producción de biodiesel más común.

De la capacidad de producción deseada, de la calidad de la materia prima utilizada, del tipo de alcohol y catalizador a emplear dependerá el proceso de producción seleccionado. Sin embargo, se puede partir de la base que entre el 70% y el 90% del costo de producción del biodiesel depende del costo de la materia prima, según las investigaciones efectuadas por UPME. Es por esto que materias primas como la jatropha, la higuera y los aceites de frituras, por su bajo costo de obtención, se vislumbran como insumos tentativos para la producción del biodiesel.

En Colombia, la producción industrial de biodiesel inició en enero de 2008 y se optó por la utilización del aceite de palma como materia prima, dados los desarrollos alcanzados en este sector. En este sentido, Colombia tiene una posición privilegiada frente a muchos otros países al ser el mayor productor de aceite de palma en Latinoamérica y el quinto en el mundo. El aceite de palma es uno de los principales aceites vegetales y ha llegado a convertirse en el de mayor producción a nivel mundial. Es el cultivo oleaginoso que mayor cantidad de aceite produce por unidad de área sembrada y por lo tanto, es la materia prima que ofrece mejores posibilidades para su producción a nivel nacional.

### ***Ventajas de utilizar biodiésel en lugar del diésel***

#### ***Ventajas:***

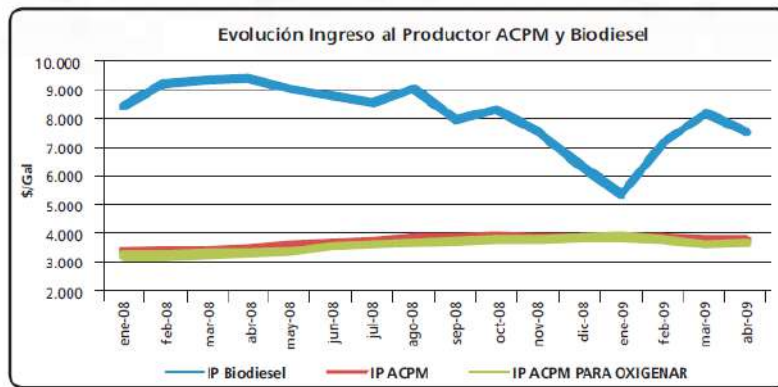
- a- El biodiésel tiene mayor lubricidad que el diésel fósil, por lo que extiende la vida útil de los motores.

- b- Se degrada de 4 a 5 veces más rápido que el diésel fósil y hasta puede ser usado como solvente para limpiar derrames de diésel.
- c- Es más seguro de transportar pues su punto de inflamación (150 °C), es 100° C mayor que el del diésel.
- d- Permite al productor agrícola abastecerse de combustible, además, porque la transformación de la materia prima agrícola para su producción, promueve la inclusión social de los campesinos.
- e- Como no contiene azufre, no genera bióxido de azufre, SO<sub>2</sub>, gas muy contaminante.
- f- No contamina ni las aguas superficiales ni las subterráneas.
- g- El biodiésel con número Cetano mayor de 68, como es el caso de los producidos con **aceite de palma**, contrario a lo que ocurre con los producidos con soya (53) y colza (58), las emisiones de NO<sub>x</sub> serían menores o iguales que las provenientes del diésel fósil (45 – 52).

#### **Desventajas:**

- a- A bajas temperaturas, reduce su fluidez.
- b- Los costos de la materia prima son altos, sobre todo, por su alta demanda en el mercado mundial. Representan alrededor del 70% del costo de producción del biodiésel. Actualmente, las diferentes materias primas tienen una gran demanda mundial.
- c- El contenido energético es entre un 8 y un 12 por ciento menor que el del diésel fósil, por lo que su consumo es ligeramente mayor. Para mezclas tan altas como B30, es casi imperceptible el mayor consumo.

El precio del biodiesel en referencia al diesel se aprecia en la siguiente gráfica.



**\*Fuente: UPME**

A partir de la gráfica, el precio del biodiesel por galón es mucho más costoso que el diesel o ACPM. Para el ingenio este aspecto no es tan favorable, debido a que está en juego su concepto de negocio de obtener rentabilidad. Sin embargo, el hecho de poder implementar el biodiesel en los motores diesel de la maquinaria, podría incrementar su reconocimiento en el mercado, atraer mayores clientes por su responsabilidad ambiental y social, y generar menor impacto a los ecosistemas.

La ley determina que el Ministerio de Minas y Energía es el ente regulador del sector y es el que fija los porcentajes de mezcla, el precio de los biocombustibles según fórmulas precisas ya establecidas por Resolución, que tienen en cuenta el costo de la materia prima, los insumos y recursos utilizados para producirlos. Además, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, encabeza la Comisión Intersectorial de Biocombustibles, establecida por el Documento CONPES 3510 de 2008, para el desarrollo sostenible del sector.

### Biodiésel

Vigencia:

De: 01/11/2013 A: 30/11/2013

Resolución:

Ministerio de Minas y Energía de Colombia, Resolución 90931 del 31 de Octubre de 2013

Precio galón: \$8.716,33

Precio litro: \$2.302,86 (USD 1,21/Lt)

**\*Fuente: Federación Nacional de Biocombustibles en Colombia**

A partir de lo anterior la iniciativa para la implementación de biocombustible en el uso de maquinaria en el área de campo podría ser objeto del desarrollo de un nuevo proyecto en donde se pueda establecer costo beneficio de su utilización. Esto permitiría la evaluación de resultados para conocer la factibilidad de adquisición como insumo para los vehículos y equipos. Así mismo para valorar el impacto del combustible es necesaria la definición de factores de emisión de los

gases de efecto invernadero que lo componen, con el objetivo de comparar el resultado con el estimado a partir del diesel.

Si bien, aún falta desarrollo para el pleno uso del biodiesel en motores diesel. Sería importante valorar los vehículos actuales con los que cuenta el ingenio, debido a que los modelos nuevos generan menores emisiones de GEI. Se recomienda la revisión periódica mecánica y el continuo mantenimiento.

Por otro lado con respecto a las recomendaciones frente a la utilización de insumos de carácter orgánico en el cultivo de caña de azúcar giran en torno a la siguiente perspectiva:

El compostaje se presenta como una alternativa ambientalmente menos impactante que los fertilizantes sintéticos, ya que están basados en compuestos orgánicos, es decir que no tiene químicos que se acumulen en el suelo, sin embargo, como se mencionó anteriormente el proceso genera altas emisiones de metano. Según la metodología MDL de pequeña escala para evitar emisiones de metano mediante el compostaje “prevención de emisiones de metano a través del compostaje”. Esta metodología AMS – III F, es aplicable a actividades de proyectos que eviten emisiones de metano proveniente de la descomposición anaeróbica de la biomasa u otra materia orgánica.

Existen varias consideraciones dentro de esta metodología que son:

- La distancia entre el lugar de origen de los residuos y el lugar donde se van a depositar el abono, no debe exceder los 200 km de distancia
- si el compostaje se realiza en condiciones aeróbicas, los procedimientos aplicados deben asegurar que no haya emisiones de metano.
- No se debe utilizar ningún tipo de sustancia química o aditivo si el proceso de compostaje se realiza bajo un tratamiento mecánico/térmico.

Es importante que para realizar un buen control de las emisiones de metano del compost, se tenga en cuenta herramientas para determinar las emisiones de metano emitidas por la disposición de residuos en vertederos de residuos sólidos.

Lo anterior, es importante tenerlo, con el fin de disminuir las emisiones de metano que se generan en el cultivo y a partir de esto se debe monitorear las emisiones bajo los siguientes parámetros:

- Cantidad de residuos sólidos (excepto estiércol), producción de abono
- Capacidad promedio de los camiones utilizados para el transporte
- Ecurrimiento de aguas residuales provenientes del compostaje
- Verificación de las condiciones aeróbicas del proceso de compostaje (contenido de oxígeno)

Cantidad anual de combustibles fósil o electricidad utilizada para la operación de la instalación o equipos auxiliares

La vinaza es una sustancia que se genera de la destilación del Alcohol carburante. Años atrás este residuo era vertido a los ríos, ocasionando ausencia de oxígeno y por ende contaminación. Esto generaba deterioro ambiental y desorden en el ecosistema ya que podía ser resentido por los peces a los que causaban daño, así como también a los animales que los consumían, incluido al hombre. A partir de esto, se genera una serie de investigaciones para lograrle dar un buen uso a esta sustancia, llegando a convertirse en abono orgánico para las plantas, en este caso, la caña de azúcar. Esto ha generado un gran desarrollo en la agricultura ya que permite el crecimiento y la fortaleza del cultivo

A partir de lo anterior, se recomienda tener un buen manejo de la vinaza con el fin permitir un buen desarrollo del cultivo. Es importante tener control en el proceso de vertimiento ya que podría escurrirse a los ríos, riachuelos o quebrados, generando contaminación y ausencia de oxígeno, lo cual perjudicaría a la vida animal

Las prácticas que implemente el ingenio de estudio para reducir las emisiones de gases que calientan el planeta no pueden verse como una iniciativa aislada, su éxito depende de que se integren a la misma estrategia de negocio. De esta manera se avanza a una gestión de riesgos, a concretar oportunidades para la empresa y obtener una ventaja competitiva en un escenario más restrictivo en materia de carbono. Las razones por las que un programa de cambio climático puede ser una ventaja competitiva son:

- Reduce costos
- Hace los productos y servicios más amigables con el clima
- Mejora la gestión de riesgos (físicos y regulatorios)
- Mejora la productividad
- Mejora la marca y la reputación de la empresa
- Expande la oportunidad de mercado
- Incrementa el compromiso y la motivación de los empleados
- Responde a las preocupaciones de grupos de interés (accionistas, consumidores, minoristas)
- Incentiva la innovación.

Ser carbono neutral es una opción que hoy se plantean las empresas, lo que quiere decir que todas las emisiones de carbono son reducidas o compensadas de manera tal que al final la empresa no haga ningún aporte de gases efecto invernadero. La reducción de emisiones se hace hasta donde sea costo-eficiente; no obstante, limitaciones tecnológicas o económicas no permiten llegar a cero emisiones, por lo que las empresas buscan formas de compensar, ya sea adelantando acciones directas (ej. reforestación), o comprando certificados de

reducción de emisiones en algún mercado. El diseño, la implementación y el seguimiento de estas medidas de compensación ofrecen una excelente oportunidad de complemento con las iniciativas de responsabilidad social empresarial, que pueden agregar más valor a la sociedad.

## 11. Glosario

**Acequia:** La palabra acequia reconoce su origen en el idioma árabe, derivado de sāqiyah, y se refiere a un sistema de irrigación de agua, realizado a través de un canal o zanja, sin contener obras de mampostería. Son útiles en zonas secas, para poder cultivarlas, desviando el agua de sus cauces naturales y llevándolas a donde se las requiera.

**Anaerobiosis:** vida que se sostiene sin presencia de oxígeno en el ambiente.

**Anoxia:** Falta de aporte de oxígeno a las células.

**Árboles de decisiones:** los árboles de decisiones para cada categoría ayudan al compilador del inventario a desplazarse por la orientación y seleccionar la metodología por niveles que sea adecuada a sus circunstancias, sobre la base de su evaluación de las categorías principales. En general, es una buena práctica utilizar los métodos de niveles superiores para las categorías principales, a menos que los requisitos de los recursos para hacerlo sean prohibitivos.

**Canales principales:** Conducen grandes volúmenes de agua y se encuentran a nivel de varias fincas o haciendas.

**Canales primarios:** Son aquellos que suministran o evacúan agua a nivel de la hacienda o del predio.

**Canales secundarios:** Parten de un canal primario y sirven para suministrar agua o para drenar varias suertes.

**Canales terciarios, acequias o rondas:** Son canales internos de cada suerte o tablón. Se construyen de manera transversal a los surcos y sirven para suministrar el agua a través de éstos.

**Categorías principales:** se utiliza el concepto de categoría principal para identificar las categorías que repercuten significativamente sobre el inventario total de un país de los gases de efecto invernadero en términos del nivel absoluto de emisiones y absorciones, la tendencia de emisiones y absorciones, o la incertidumbre de las emisiones y absorciones. Las categorías principales deben ser la prioridad para los países durante la asignación de recursos de inventarios para recopilación de datos, compilación, garantía y control de calidad, y generación de informes.

**Callejón:** Es una franja de terreno dentro del cultivo que sirve como vía de acceso y para el transporte de caña.

**Datos por defecto:** los métodos del Nivel 1 para todas las categorías están concebidos para utilizar las estadísticas nacionales o internacionales disponibles, en combinación con los factores de emisión por defecto y los parámetros adicionales provistos y, por lo tanto, deben ser viables para todos los países.

**Gramíneas:** Son en su mayoría de porte herbáceo, perennes o anuales. Los tallos suelen ser cilíndricos y huecos, y cuando presentan ramificaciones las tienen a nivel del suelo, extendidas lateralmente con rizomas subterráneos o estolones superficiales. Las hojas son liguladas, diferenciadas en vaina y limbo, de tamaño muy variable que puede oscilar entre pocos milímetros hasta varios metros.

**Inventario:** Lista de cuantificación de emisiones de GEI y de las fuentes de emisión correspondientes a una organización determinada.

**Inventario de alcance 1:** Las emisiones directas de GEI de la empresa que reporta. (Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, Capítulo 4)

**Inventario de alcance 2:** Las emisiones asociadas a la generación de electricidad, calentamiento/enfriamiento, o vapor adquiridos por la empresa que reporta para consumo propio. (Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, Capítulo 4)

**Inventario de alcance 3:** Las emisiones indirectas de la empresa que reporta que no han sido cubiertas por el alcance 2. (Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, Capítulo 4)

**Límites operacionales:** Los límites que determinan las emisiones directas e indirectas asociadas a operaciones que son propiedad o están bajo control de la empresa a cargo del inventario y el reporte. Este concepto permite a una empresa establecer cuáles operaciones y fuentes generan emisiones directas o indirectas, y determinar cuáles fuentes indirectas de emisión que son consecuencia de sus operaciones deben ser incluidas en el inventario. (Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, Capítulo 4)

**Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL):** Mecanismo establecido por el Artículo 12 del protocolo de Kioto para las actividades de reducción de emisiones por proyecto en países en vías de desarrollo. El MDL está diseñado para cumplir con dos objetivos principales: atender las necesidades de sustentabilidad del país huésped e incrementar las oportunidades disponibles para los países Anexo 1 de cumplir con sus compromisos de reducción de emisiones de GEI. El MDL permite la creación, adquisición y transferencia de CERs provenientes de proyectos de mitigación de cambio climático llevados a cabo en países no Anexo 1.

**Niveles:** Un nivel representa un nivel de complejidad metodológica. En general, se presentan tres niveles. El Nivel 1 es el método básico, el Nivel 2, el intermedio, y el Nivel 3 es el más exigente en cuanto a la complejidad y a los requisitos de los datos. A veces se denominan los niveles 2 y 3 métodos de nivel superior y se los suele considerar más exactos.

**Potencial de Calentamiento Global (PCG):** Factor que describe el impacto de la fuerza de radiación (grado de daño a la atmósfera) de una unidad de un determinado GEI en relación a una unidad de CO<sub>2</sub>.

**Sector:** Es una parte del predio que se delimita, teniendo en cuenta la topografía, la dotación de agua, las vías principales, los drenajes profundos y los accidentes naturales.

**Suerte:** Es la unidad parcelaria en que se divide una hacienda, finca o predio sembrado en caña de azúcar. Tiene forma regular y se encuentra delimitada por callejones, carreteras y canales, cuya superficie puede abarcar desde 1 hasta 25 ha, o más.

**Tablón:** Es una subdivisión de la suerte, delimitada también por callejones menores, canales y acequias de riego o drenaje. Las dimensiones más comunes de los tablonos varían entre 200 y 600 m de largo x 100 a 250 m de ancho.

**Terraplén:** En ingeniería civil se denomina terraplén a la tierra con que se rellena un terreno para levantar su nivel y formar un plano de apoyo adecuado para hacer una obra.

**Reservorios:** Son estructuras hidráulicas construidas para el almacenamiento de agua proveniente de pozos profundos, ríos, lluvias, ó sobrante de canales y zanjones.

**Plantilla:** Se identifica la superficie que se plantó a lo largo de los doce meses anteriores.

**Soca:** Superficie plantada con un año de antigüedad, a la cual ya se le ha realizado el primer corte

## 12. BIBLIOGRAFÍA

ABCIENCIADE. Ciencia para pensar y pensar la ciencia. Concentración de dióxido de carbono en ppm. [En línea]. [Citado 15-Nov-2013]. Disponible en internet: <http://abciencia.wordpress.com/2008/07/20/concentracion-de-dioxido-de-carbono-en-ppm/>

(ACCEFYN). Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y naturales. Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos. Bogotá, Julio de 2003.

ADAME ROMERO, Aurora. Contaminación ambiental y calentamiento global. Primera edición. México: Trillas, 2010. Pág. 91-123.

Agriculture and agri-Food Canadá. Holo. [En línea]. 2001. [Citado 19-oct-2012]. Disponible en internet: <http://www4.agr.gc.ca/AAFC AAC/displayafficher.do?id=1329321971040&lang=eng>

ALCALDÍA DE SANTIAGO DE CALI. Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente. [En línea]. [Citado 2-oct-2012]. Disponible en internet: <http://www.cali.gov.co/dagma/loader.php?IServicio=Glosario&letra=D>

Álvarez de la Puente, JM. Estudio sobre mezclas óptimas de material vegetal para compostaje de alperujos en almazaras ecológicas y caracterización físico química de los compost producidos. DGPE. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. [En línea] 2006 [citado 20 –Jun-2013] [ Pag 30] Disponible en [http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/www/portal/com/bin/portal/DGAEcolologica/estudiostales/estudio\\_compost.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/www/portal/com/bin/portal/DGAEcolologica/estudiostales/estudio_compost.pdf)

ASOCAÑA. Historia del sector azucarero. [En línea]. 2009. [Citado 2-Oct-2012] Disponible en internet: <http://www.asocana.org/publico/historia.aspx>

ANDI. Asociación Nacional de Empresarios de Colombia, 2010. Colombia: Hacia una economía baja en Carbono.

BANCO MUNDIAL. Colombia DashBoard. Climatefuture. [En línea]. [Citado 22-Oct-2012]. Disponible en internet: [http://sdwebx.worldbank.org/climateportalb/home.cfm?page=country\\_profile&CCode=COL&ThisTab=ClimateFuture](http://sdwebx.worldbank.org/climateportalb/home.cfm?page=country_profile&CCode=COL&ThisTab=ClimateFuture)

BOSQUES PROCARBONO UACH. Huella de Carbono. [En línea]. 2013. [Citado 15-Nov-2013]. Disponible en internet: [http://www.uach.cl/procarbono/huella\\_de\\_carbono.html](http://www.uach.cl/procarbono/huella_de_carbono.html)

CABRERA, J. A., ZUAZNÁBAR, R.. Impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada. I. Balance del carbono Cultivos Tropicales [en línea] 2010, 31 (Sin mes): [fecha de consulta: 9 de mayo de 2013] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193214880001>> ISSN 0258-5936

CAMBIO CLIMÁTICO. Chile. Capítulo 11.

CASSALET, C; Torres, J; e Isaacs, C. El Cultivo de la Caña en la Zona Azucarera de Colombia. Cenicaña. Cali, Colombia. 1995. 412 Pág.

Ciencia y Biología. Compuestos orgánicos volátiles (COVS O VOCS) [En línea] [Citado el 28 de Ago 2013] disponible en internet: <http://www.cienciaybiologia.com/medio-ambiente/atmosfera/compuestos-organicos-volatiles.htm>

CNN MÉXICO. La temperatura global en 2010 igualó al récord de los años más caliente. [En línea]. 2011. [Citado en 7-Sept-2012] Disponible en internet: <http://mexico.cnn.com/planetacnn/2011/01/20/la-temperatura-global-en-2010-igual-a-el-record-de-los-anos-mas-calientes>

CO2. Compromiso de Reducción de Huella de Carbono. Página Web <http://www.huellacarbono.es/index.html>.

Colque P, Ma Teresa; Sanchez C, Victor. Los Gases de Efecto Invernadero: ¿Por qué se produce el calentamiento global?. [Marzo,2007] [Fecha de consulta: 25-Oct-2013]. [En línea]. Disponible en internet: [http://www.labor.org.pe/descargas/1ra%20publicacion\\_%20abc%20cc.pdf](http://www.labor.org.pe/descargas/1ra%20publicacion_%20abc%20cc.pdf)

Conil, Philippe. Manejo de vinazas- aplicación a Tucuman (argentina) problemas y oportunidades. [En línea] 2012. [fecha de consulta: 9 de junio de 2013] disponible en: <http://www.bio-tec.net/archivos/News/2012/ABRIL/5-PC32C08TUCUMAN.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Página web [www.fao.org](http://www.fao.org)

\_\_\_\_\_. Protocolo de Kyoto de la Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, 1998. [En línea]. Disponible en internet: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>

\_\_\_\_\_. Organic Culture. [En línea]. [Citado 6-Sept-2012]. Disponible en internet: <http://www.fao.org/organicag/oa-faq/oa-faq2/es/>

\_\_\_\_\_. Una herramienta para medir el balance del carbono. [En línea]. 2011. [Citado 19-oct-2012]. Disponible en internet:

[http://www.fao.org/fileadmin/templates/ex\\_act/pdf/Policy\\_briefs/Policy\\_brief\\_ES\\_mainstreaming.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/ex_act/pdf/Policy_briefs/Policy_brief_ES_mainstreaming.pdf)

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. Huella de Carbón. [En línea]. [Citado 6-Sept-2012]. Disponible en internet: [http://www.footprintnetwork.org/es/index.php/GFN/page/carbon\\_footprint/](http://www.footprintnetwork.org/es/index.php/GFN/page/carbon_footprint/)

FAO CORPORATE DOCUMENT REPOSITORY. Comercialización y Seguridad Alimentaria en Relación al Azúcar en América Latina y el Caribe. [En línea]. [Citado 15-Nov-2013]. Disponible en internet: <http://www.fao.org/docrep/005/x4988e/x4988e03.htm>.

FAO, SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, pesca y alimentación). Subíndice de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero – Metodología de Cálculo. Componente: Línea de base del uso sustentable del agua para el año 2010. México.

FEDERACIÓN NACIONAL DE BIOCOMBUSTIBLES EN COLOMBIA. [En línea]. [Citado 17-Nov-2013]. Disponible en internet: <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/nota-web-id-923.htm>

Greenaction. Proyecto de Capacitación sobre el diesel y emisiones en California. [En línea]. [Citado 21-Nov-2013]. Disponible en: [http://greenaction.org/wp-content/uploads/2013/02/En-Espanol-Greenaction-Diesel-Project-Tool-Kit-August-2012\\_ESPANOL.pdf](http://greenaction.org/wp-content/uploads/2013/02/En-Espanol-Greenaction-Diesel-Project-Tool-Kit-August-2012_ESPANOL.pdf)

Greenhouse Gas Management Tool for Agriculture, Rangelands and Agroforestry.Comet2.[En línea]. 2007. [Citado 19-oct-2012]. Disponible en: <http://www.cometvr.colostate.edu/faq/>

IBAÑEZ, Daniel. Efectos del cambio climático en las actividades agrarias y forestales. [En línea]. 2011. [Citado 20 oct-2012]. Disponible en internet: <http://web.ua.es/es/revista-geographos-giecryal/documentos/articulos/efectos-del-cambio-climatico-en-las-actividades-agrarias-y-forestales.pdf?noCache1309623399772>

INGENIO PROVIDENCIA. Caña de azúcar orgánica.[En línea]. 2012.[Citado 15-Nov-2012]. Disponible en internet: <http://www.azucarorganica.org/quienes.html>

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (1996): *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual*.

IPCC (2001a): *Tercer Informe de Evaluación del IPCC*. Ministerio de Medio Ambiente. Página web [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

IPCC (2001b): *Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios de gases de efecto invernadero.*

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. [En línea]. 2012. Disponible en internet: [http://www.minambiente.gov.co/documentos/4170\\_051009\\_fuentes\\_moviles.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/4170_051009_fuentes_moviles.pdf).  
\_\_\_\_\_. [En línea]. 2012. Disponible en internet: [http://www.minambiente.gov.co/documentos/4169\\_051009\\_fuentes\\_puntuales.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/4169_051009_fuentes_puntuales.pdf)

\_\_\_\_\_. [En línea]. 2012. Disponible en internet: [http://www.minambiente.gov.co/documentos/4169\\_051009\\_fuentes\\_puntuales.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/4169_051009_fuentes_puntuales.pdf).

NASA. Carbon Dioxide Controls Earth's Temperature. [En línea]. 2012. Disponible en internet: <http://www.lanasa.net/>.

\_\_\_\_\_. <http://www.nasa.gov/topics/earth/features/2010-warmest-year.html>

PRIMERA COMUNICACIÓN NACIONAL BAJO LA CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO, Chile. 1999. Publicación de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA).

PROEXPORT COLOMBIA. Geografía colombiana. [En línea]. 2012. Disponible en internet: <http://www.colombia.travel/es/turista-internacional/colombia/geografia>.

REVISTA DINERS. El Cambio Climático en Colombia. [En línea]. [Citado 22-Oct-2012]. Disponible en internet: <http://www.revistadiners.com.co/nuevo/internaedicion.php?idn=24&idm=3>

Reyes, Damian. Agricultura Ecológica- Compostaje y Biogás. [En línea] 2013 [fecha de consulta- 29-jun-2013] Disponible en internet: <http://es.scribd.com/doc/180885707/Agricultura-Ecologica-Compostaje-y-Biogas>

ROJAS, Concha. José Luis, Ángela María. Diseño de Experimento para el Cálculo Teórico de Emisiones de  $CO_2$  generadas por cuatro tipos de preparación del suelo para un cultivo de caña de azúcar. Cali. Universidad ICESI. Ingeniería Industrial. 2011.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, pesca y alimentación). Bionergéticos. [En línea]. [Citado 16-Nov-2013]. Disponible en internet: <http://www.bioenergeticos.gob.mx/index.php/introduccion/definicion-ventajas-y-desventajas.html>

SCHNEIDER, SAMANIEGO. Heloisa, José Luis. La huella de carbono en la producción de alimentos, distribución y consumo de productos agro-alimentario.

[En línea].2004.[Citado 22-oct-2012]. Disponible en internet: [http://www.eclac.org/publicaciones/xml/5/38285/LCW.298\\_2.pdf](http://www.eclac.org/publicaciones/xml/5/38285/LCW.298_2.pdf)

SÚAREZ, Acuña. Diego, Hera .Seminario Inter – Americanos de la Caña de Azúcar. Producción de cosecha y mecanización. 1998. Miami, Florida, U.S.A. September<sup>9<sup>th</sup></sup> through the 11<sup>th</sup>. 1998.

Trust Carbon, Defra, BSI British Standards, PE International, Food and Drink Federation, Manchester Business School, EuGeos Ltd ADAS UK Ltd [2008]. "Guide to PAS 2050, How to assess the Carbon footprint of goods and services".[En línea].[Consultado marzo 4 2013]. Disponible en internet [[http://aggie-horticulture.tamu.edu/faculty/hall/publications/PAS2050\\_Guide.pdf](http://aggie-horticulture.tamu.edu/faculty/hall/publications/PAS2050_Guide.pdf)]

VICTORIA, J.I.; J.I.; Briceño, C.O.; Calero, L.M; Gómez, L.A.; Gil, N.J.; Larrahondo, J.E.; Quinteri, R.; Villegas, F. La producción de azúcar orgánica en la industria azucarera de Colombia. Cali, Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia (CENICAÑA), Julio de 2000. 40 Pág.

Vicuña, Sebastián. Estudio sobre los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero en América Latina. [Marzo de 2013] [En línea] [Fecha de consulta: 27 de Jul-2013] Disponible en línea: [http://www.eclac.cl/ccas/noticias/paginas/9/49769/INVENTARIO\\_EMISIONES.pdf](http://www.eclac.cl/ccas/noticias/paginas/9/49769/INVENTARIO_EMISIONES.pdf)

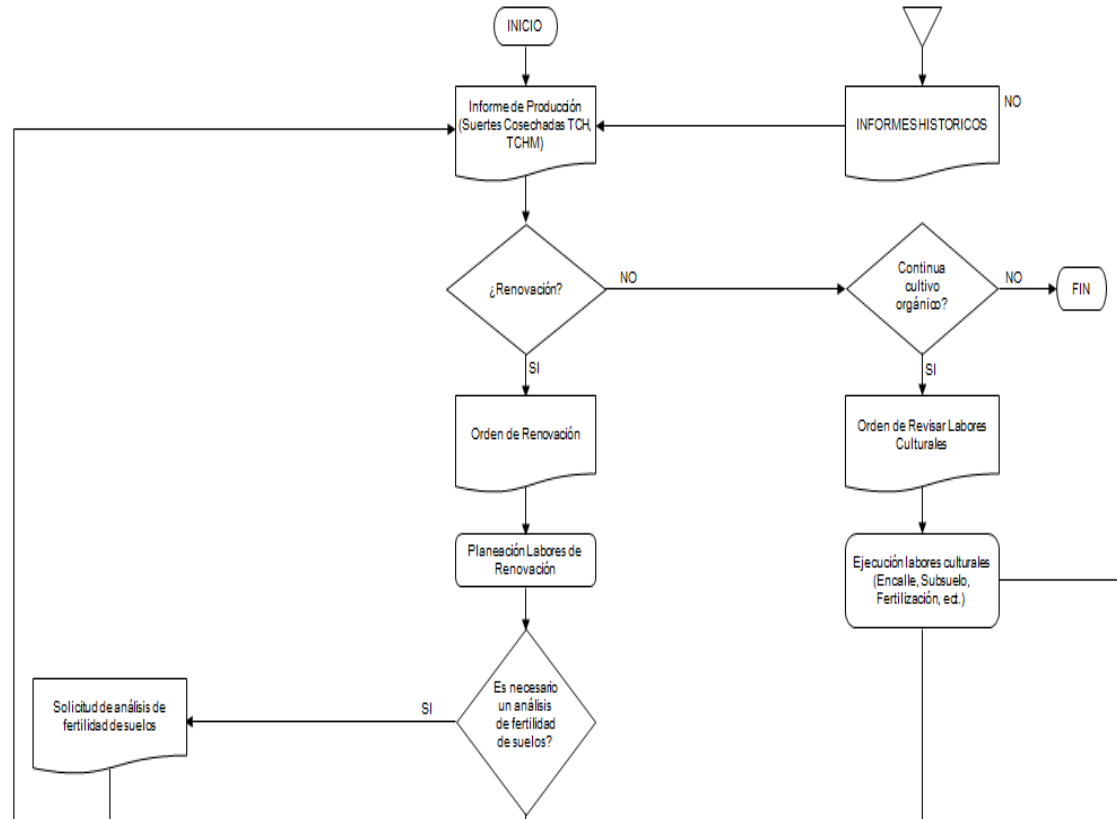
VIGLIZZO, Ernesto. Huella de carbono, ambiente y agricultura en el Cono sur de Sur de Sudamérica. [En línea]. 2010. [Citado 20- oct- 2012]. Disponible en línea: <http://repiica.iica.int/docs/b2087e/b2087e.pdf>.

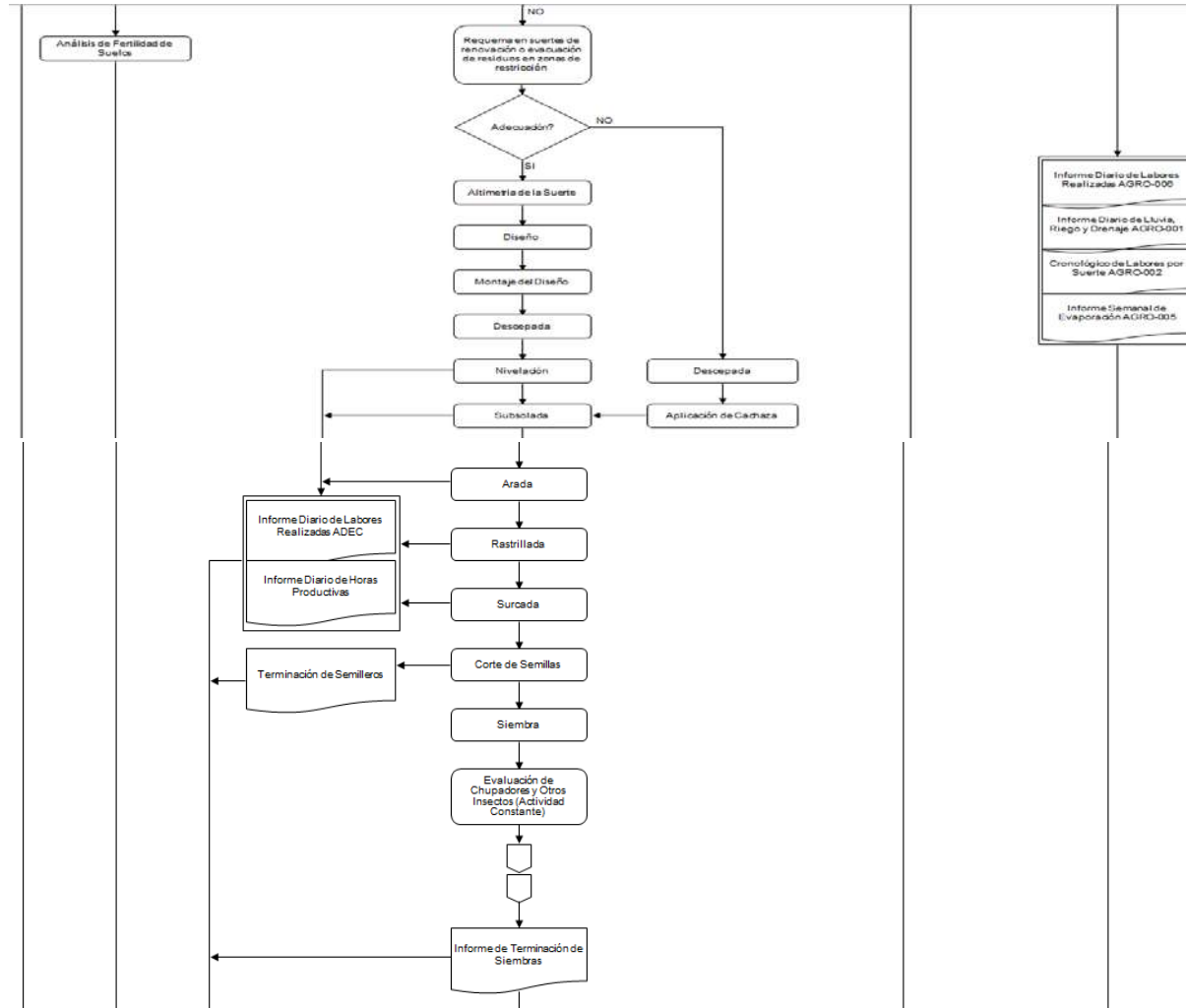
Viveros, C.A; Calderon, H. Siembra. En: CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, Cenicaña, 1995. P.131-139.

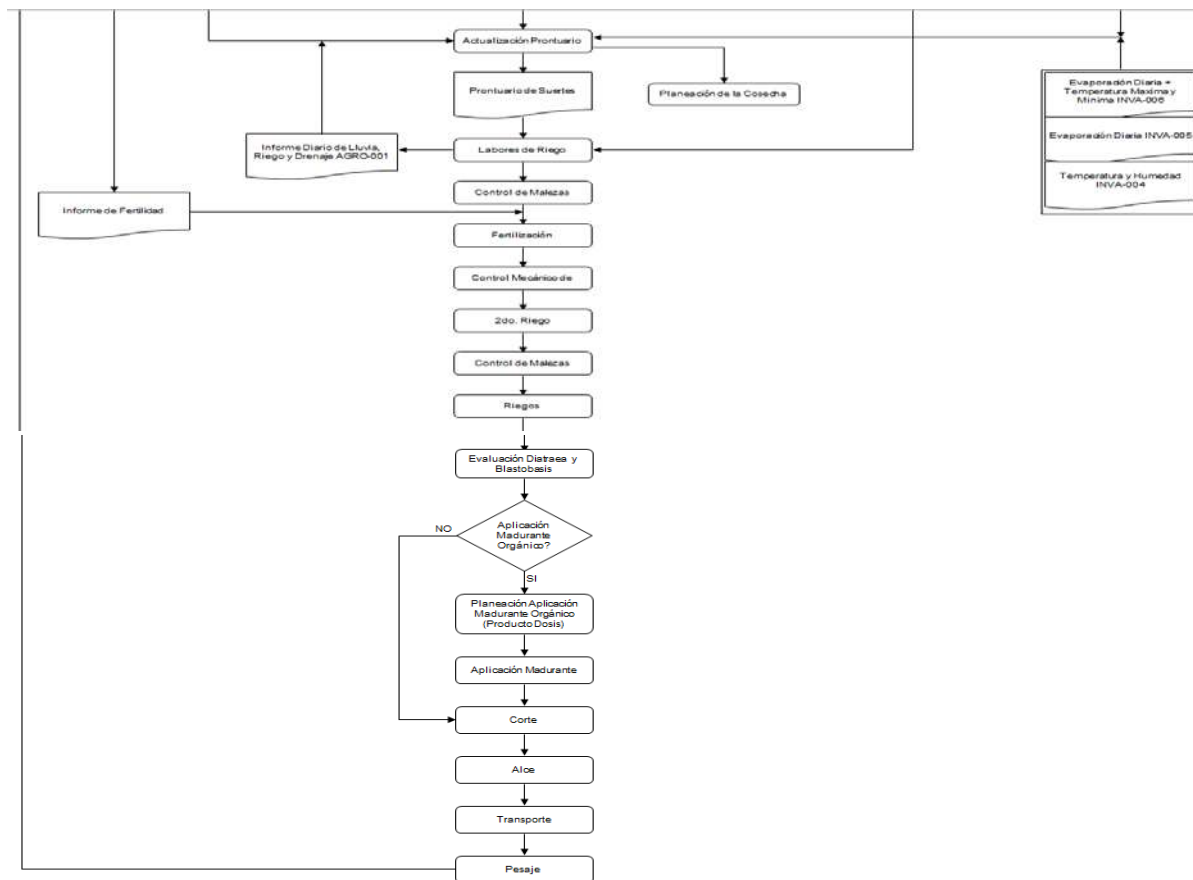
ZÚÑIGA, POHLAN, Orlando, Jurgen. Agricultura Orgánica en Colombia: Un Enfoque Analítico y Sintético. Cali: Universidad del Valle, S.F.400p.

### 13. ANEXOS

#### Anexo 1. Diagrama de Flujo del Procesos de cultivo de caña de azúcar de manejo orgánico







Fuente: López, 2013.

## Anexo 2. Tabla de obtención de datos en las labores de campo de caña orgánica

### Adecuación y Preparación de Suelos, Siembra, Riego, Fertilización y Control de malezas

#### Evaluación de la labor de maquinaria

	Sub Proceso	Tipo de maquinaria (Potencia)	Obtención datos del proceso													
			Tipo de Suelo	Temperatura - Nubosidad	Rendimiento (Min/Ha)	Profundidad (cm)	Cambio de velocidades (rondas)	Velocidad de la máq. En la ronda (km/hr)	Cambio Velocidad (km/hr)	Revoluciones de la maquinaria (RPM)	Trocha (m2)	Capacidad (ton)	Tipo de energía (combustible)	Cantidad de combustible (Galones/hr)	Número de pases	
<b>Preparación de Suelos</b>	1	Descepada														
<b>Adecuación de Suelos</b>	2	Nivelación														
<b>Preparación de Suelos</b>	3	Subsolada														
	4	Incorporación de Materia Orgánica														
	5	Rastro Arado														
	6	Rastrillada														
	7	Surcadora														
	8	Cincelada														
<b>Siembra</b>	9	Corte de semilla														
	10	Transporte														
	11	Siembra de semilla														
<b>Riego</b>	12	Canal Abierto														
	13	Tubería por Ventana														
	14	Aspersión														
<b>Fertilización</b>	15	Frijol														
	16	Compos														
	17	Vinaza														
	18	Green life														
<b>Control de Maleza</b>	19															

