



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 05 de Julio de 2017

Señores:

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Diana Constanza Méndez Arias, con C.C. No. 1075268375,

Cesar Horacio Quesada Quintero, con C.C. No. 1075266494,

autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado “DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN EL CULTIVO DE MAÍZ EN LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA” presentado y aprobado el 21 de junio de 2017 como requisito para optar al título de INGENIERO AGRÍCOLA,

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Diana Constanza Méndez Arias

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: “DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN EL CULTIVO DE MAÍZ EN LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA”

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Méndez Arias Quesada Quintero	Diana Constanza Cesar Horacio

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Izquierdo Bautista	Jaime

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Agrícola

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería Agrícola

CIUDAD: NEIVA **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2017 **NÚMERO DE PÁGINAS:**102

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas X Fotografías___ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general X
Grabados___ Láminas___ Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___
Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas o Cuadros X



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: Adobe Reader.

MATERIAL ANEXO:

- Anexo 1: Costos y Aplicaciones del cultivo de Maíz estudiado para el proyecto.
- Anexo 2: Kg CO₂-Eq por el uso de combustibles fósiles en la producción de maíz.
- Anexo 3: Relación de emisión de los fertilizantes Nitrogenados en Kg CO₂-Eq.
- Anexo 4: Emisión de VOCs de los pesticidas utilizados en el cultivo de maíz.

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1.Granja Experimental	Experimental Farm	6. Pesticidas	Pesticides
2.Huella de Carbono	Carbon Footprint	7. IPCC	
3.GEI	GHG	8. Maíz	Maize
4.Combustión móvil	Mobile Combustion	9. Metodología	Methodology
5. Fertilizantes	Fertilizers	10. EPA	

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

En el Lote C de la granja experimental de la Universidad Surcolombiana, se cultivó maíz con una extensión de 5Ha, se determinó la huella de carbono o las emisiones de GEI (gases de efecto invernadero), se estableció una metodología a seguir para cada una de las fuentes, tales como la combustión móvil, la aplicación de plaguicidas y la utilización de fertilizantes nitrogenados. Para cuantificar las emisiones se utilizó las metodologías existentes establecidas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC,2006) específicamente para las emisiones que son generadas por uso de combustibles y la aplicación de fertilizantes nitrogenados, en cuanto a las emisiones generadas por el uso de pesticidas, las emisiones se cuantifican siguiendo parámetros establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, (EPA). Estas emisiones se cuantificaron en la producción de maíz desde el momento de la adecuación de tierras hasta su cosecha. Una vez se determinada cada una de las emisiones generadas, se realiza el inventario total, se establecen medidas que ayuden a reducir las emisiones generadas por cada una de las etapas de producción y a su vez se enumeran ciertas recomendaciones a seguir durante la producción. Se realizó el cálculo de la Huella de Carbono donde se obtuvo 958,3 Kg CO₂ -eq/Ha para el uso de combustibles, teniendo este el 42% de las emisiones totales de GEI, 3,5 Kg CO₂ -eq /Ha por aplicación de pesticidas



(1%) y 1340,9 Kg CO₂ -eq/Ha por aplicación de fertilizantes el mayor emisor con un 58% de las emisiones totales del cultivo.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

In Lot C at the experimental farm from Universidad Surcolombiana, corn was grown for an extension of 5Ha, it was determinate the carbon footprint or GHG (greenhouse gas) emissions, establishes a methodology to be followed for each of the sources, such as mobile combustion, application of pesticides, and the use of nitrogen fertilizers. For the quantification of emissions based on existing methodologies established by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006) specifically for the emissions that are generated by the use of fuels and nitrogen fertilizer application. In terms of the emissions generated by the use of pesticides, emissions are quantified according to parameters set by the Environmental Protection Agency of the United States, (EPA). Quantify these emissions in corn production since the adequacy of land until its harvest. Once is determined each of emissions and the total inventory, it was established measures that will help to reduce the emissions generated by each one of the stages of production and in turn listed certain recommendations to be followed during the production. The carbon footprint was calculated where 958.3 Kg CO₂ -eq/Ha was obtained for the use of fuels, with this being 42% of the total GHG emissions, 3.5 Kg CO₂ -eq/Ha by the application of pesticides (1%) and 1340.9 Kg CO₂ -eq/Ha by application of fertilizers, been this the largest emitter with 58% of the total emissions of the crop.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: Felipe Andrés Quimbaya Lasso

Firma:

Nombre Jurado: Felipe Andrés Quimbaya Lasso

Firma:

Nombre Jurado: Armando Tormento Laylla

Firma:

**“DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN EL CULTIVO DE MAÍZ
EN LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA”**

**DIANA CONSTANZA MÉNDEZ ARIAS
CESAR HORACIO QUESADA QUINTERO**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

NEIVA

2017

**“DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN EL CULTIVO DE MAÍZ
EN LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA”**

Trabajo de grado para optar a el título de Ingeniero Agrícola.

DIANA CONSTANZA MÉNDEZ ARIAS

CESAR HORACIO QUESADA QUINTERO

Director

JAIME IZQUIERDO BAUTISTA

IA M.Sc. C-PhD Manejo de Cuencas Hidrográficas

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

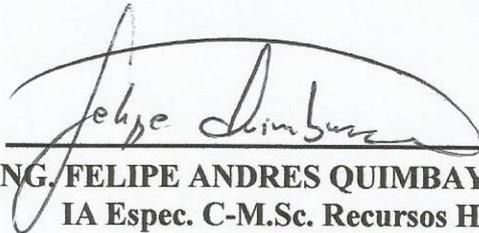
NEIVA

2017

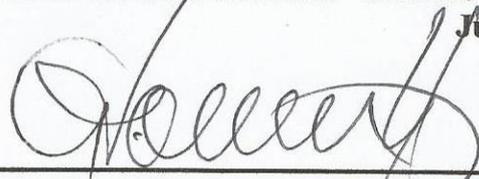
Nota de aceptación



DIRECTOR PROYECTO DE GRADO
ING. JAIME IZQUIERDO BAUTISTA
IA M.Sc. C-PhD. Manejo de Cuencas Hidrográficas
Profesor Universidad Surcolombiana



ING. FELIPE ANDRES QUIMBAYA LASSO
IA Espec. C-M.Sc. Recursos Hidráulicos.
Profesor Corporación Universitaria del Huila "CORHUILA"
Jurado



Dr. ARMANDO TORRENTE TRUJILLO
IA M.Sc. PhD. Ciencias Agrarias
Profesor Universidad Surcolombiana
Jurado

Neiva, 21 de junio de 2017

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir, bendecirme y por estar conmigo en cada paso que doy; Al Espíritu Santo por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente; A la Virgen María por llevarme de su mano, no dejarme desfallecer y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis Padres José Arcadio y Olga María, por educarme en valores, amarme, creer en mí y siempre darme su apoyo incondicional, fueron muchos años de lucha y ustedes fueron testigos de la batalla, Gracias, todo se los debo a ustedes y es para ustedes. A Cristian por su amor y por estar siempre. A mi compañero y amigo Cesar, aunque no fue fácil, aquí estamos; A toda mi familia, primos, amigos, esto también es para ustedes.

Diana Méndez A.

A Dios, por darme la sabiduría, la oportunidad de vivir, por acompañarme en cada uno de mis procesos y culminar mi pregrado; A la Virgen María por iluminar mis pasos, despejar mi camino y por guiarme a mí y a cada una de aquellas personas que estuvieron allí en el andar académico. A mi familia, en especial a mis padres Hernando y Adelaida, por educarme bajo el amor, valores y ejemplo de trabajo arduo y dedicación, ser mi sostén, mi compañía y por creer en mí, a mi hermana Erika por su colaboración y amor. Gracias, lo que soy es por ustedes. A mi amiga Diana, por nuestro excelente equipo, al fin llegamos y es nuestro. A mis profesores por sus enseñanzas, el aprendizaje es por ustedes, a mi familia entera y amigos mil gracias.

Cesar Quesada Q.

AGRADECIMIENTOS

Gratitud principalmente a Dios, quien permitió llevar a cabo cada una de las etapas de este proyecto, a nuestras familias que por medio de su amor y dedicación nos apoyaron para culminar con éxito esta etapa de nuestro desarrollo académico y profesional.

A Jaime Izquierdo Bautista, Ingeniero Agrícola, Magister en Ingeniería Civil.

A Felipe Andrés Quimbaya Lasso, Ingeniero Agrícola, Especialista.

A Armando Torrente Trujillo, Ingeniero Agrícola, PhD en Ciencias Agrarias.

A la Universidad Surcolombiana, especialmente a los trabajadores de la Granja experimental por su amabilidad y colaboración en la realización de este proyecto.

A nuestros amigos, conocidos y compañeros tanto en el salón como en el día a día, gracias por hacer parte de este proceso.

A todos los que hicieron parte de esta meta,

Infinitas Gracias.

RESÚMEN

En el Lote C de la granja experimental de la Universidad Surcolombiana, se cultivó maíz con una extensión de 5Ha, se determinó la huella de carbono o las emisiones de GEI (gases de efecto invernadero), se estableció una metodología a seguir para cada una de las fuentes, tales como la combustión móvil, la aplicación de plaguicidas y la utilización de fertilizantes nitrogenados. Para cuantificar las emisiones se utilizó las metodologías existentes establecidas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC,2006) específicamente para las emisiones que son generadas por uso de combustibles y la aplicación de fertilizantes nitrogenados, en cuanto a las emisiones generadas por el uso de pesticidas, las emisiones se cuantifican siguiendo parámetros establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, (EPA). Estas emisiones se cuantificaron en la producción de maíz desde el momento de la adecuación de tierras hasta su cosecha. Una vez se determinada cada una de las emisiones generadas, se realiza el inventario total, se establecen medidas que ayuden a reducir las emisiones generadas por cada una de las etapas de producción y a su vez se enumeran ciertas recomendaciones a seguir durante la producción.

Se realizó el cálculo de la Huella de Carbono donde se obtuvo 958,3 Kg CO₂.eq/Ha para el uso de combustibles, teniendo este el 42% de las emisiones totales de GEI, 3,5 Kg CO₂.eq /Ha por aplicación de pesticidas (1%) y 1340,9 Kg CO₂.eq/Ha por aplicación de fertilizantes, siendo este el mayor emisor con un 58% de las emisiones totales del cultivo.

Palabras Claves: Granja experimental, Maíz, GEI, Combustión móvil, Fertilizantes, Pesticidas, IPCC, Huella de Carbono, metodología, EPA.

ABSTRACT

In Lot C at the experimental farm from Universidad Surcolombiana, corn was grown for an extension of 5Ha, it was determinate the carbon footprint or GHG (greenhouse gas) emissions, establishes a methodology to be followed for each of the sources, such as mobile combustion, application of pesticides, and the use of nitrogen fertilizers. For the quantification of emissions based on existing methodologies established by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006) specifically for the emissions that are generated by the use of fuels and nitrogen fertilizer application. In terms of the emissions generated by the use of pesticides, emissions are quantified according to parameters set by the Environmental Protection Agency of the United States, (EPA). Quantify these emissions in corn production since the adequacy of land until its harvest. Once is determined each of emissions and the total inventory, it was established measures that will help to reduce the emissions generated by each one of the stages of production and in turn listed certain recommendations to be followed during the production.

The carbon footprint was calculated where 958.3 Kg CO₂-eq/Ha was obtained for the use of fuels, with this being 42% of the total GHG emissions, 3.5 Kg CO₂-eq/Ha by the application of pesticides (1%) and 1340.9 Kg CO₂-eq/Ha by application of fertilizers, been this the largest emitter with 58% of the total emissions of the crop.

Keywords: *Experimental Farm, Maize, GHG, Mobile Combustion, Fertilizers,*

Pesticides, IPCC, Carbon Footprint, methodology, EPA.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	14
2. OBJETIVOS.....	17
2.1. Objetivo general	17
2.2. Objetivos específicos.....	17
3. MARCO CONCEPTUAL	18
3.1. Calentamiento global.....	18
3.2. Gases de efecto invernadero.....	19
3.3. Óxido Nitroso. (N ₂ O).	22
3.3.1. Dióxido de Carbono (CO ₂).	22
3.3.2. El metano (CH ₄).....	23
3.4. Huella de Carbono.....	24
3.4.1. Dióxido de carbono equivalente (CO _{2e}).....	27
3.5. Huella Ecológica.	27
3.6. Iniciativas para el cálculo de la Huella de Carbono	31
3.6.1. ISO 14064.	31
3.6.2. ISO 14069	32
3.6.3. Protocolo GEI	32
3.6.4. Directrices de la IPCC 2006	33
3.7. Cultivo de Maíz.....	35
3.7.1. El Maíz.....	35
4. METODOLOGÍA.....	43
4.1. Ubicación	43
4.2. Método	44
4.2.1. Alcances y Límites.....	46
4.2.2. Metodología del Cálculo de la Huella de Carbono.....	47
4.2.3. Medidas de mejora.....	68
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	69
5.1. Inventario de GEI.....	69

5.2.	Emisiones por combustión en fuentes móviles.	69
5.3.	Emisiones por aplicación de pesticidas.	72
5.4.	Emisiones por aplicación de fertilizantes.	75
5.5.	Emisiones totales de GEI en el cultivo de maíz.	78
5.6.	Análisis y discusión comparativa relacionada con estudios similares.	81
6.	MEDIDAS DE MEJORA.	84
7.	CONCLUSIONES.	87
8.	RECOMENDACIONES.	89
9.	REFERENCIAS.	90

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Fenomenos naturales y actividades antropogenicas que dan origen a los gases, concentración y tasa de crecimiento anual en la atmosfera.....	21
Tabla 2: Huellas ecológicas en diversos países del mundo, 1997.	30
Tabla 3: Factores de emisión de Carbono y CO ₂ por combustible (Kg/Gj)	49
Tabla 4: Factores de Emisión por combustión fija y móvil.	51
Tabla 5: Factores de emisión para VOCs de los ingredientes activos de los pesticidas.....	55
Tabla 6: Porcentaje de VOCs presente en los ingredientes inertes de los pesticidas dado por el tipo de formulación.....	56
Tabla 7: Factores de emisión	60
Tabla 8: Potencial de calentamiento global en unidades de CO ₂ – Eq para diferentes GEI...	60
Tabla 9: Factores de emisión, volatilización y lixiviación por defecto para emisiones indirectas de N ₂ O.....	64
Tabla 10: Factores de emisión por defecto para estimar las emisiones directas de N ₂ O de los suelos gestionados	67
Tabla 11: Emisiones de CO ₂ -Eq en consumo de combustible.....	72
Tabla 12: Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC) de pesticidas.....	74
Tabla 13: Emisiones de N ₂ O indirectas por aplicación de fertilizantes.....	76
Tabla 14: Emisiones de N ₂ O directas por aplicación de fertilizantes.....	76
Tabla 15: Emisiones de N ₂ O por lixiviación	77
Tabla 16: Emisiones de CO ₂ -Eq por urea	78
Tabla 17: Emisiones totales de GEI en Kg de CO ₂ -Eq/Ha.....	80

TABLA DE FIGURAS

Figura 1: Cambio de temperatura en el 2011 comparado con promedios (1950-1980)	19
Figura 2: Evolución del contenido atmosférico en CO ₂ en los últimos decenios. La concentración actual casi alcanza 400 ppm	23
Figura 3: Evolución de los contenidos en dióxido de nitrógeno, dióxido de carbono y metano en el último milenio	24
Figura 4: Huella ecológica del mundo expresada en billones de áreas (1961-97).....	28
Figura 5: Distribución de la huella ecológica y cantidad de población.	29
Figura 6: Evolución de las Directrices del IPCC para los INGEI de 1996 y 2006, en función de los sectores agricultura/CUTS (Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura), agricultura/UTCUTS y AFOLU.	34
Figura 7: Etapas del crecimiento del Maíz.	41
Figura 8: Ubicación.....	43
Figura 9: Diagrama de flujo, metodología para el cálculo de las emisiones de CO ₂	47
Figura 10: Categoría, código y nombre de la maquinaria.....	48
Figura 11: Árbol de decisión para escoger el nivel y ecuación para el cálculo de las emisiones de CO ₂ para el consumo de combustible.	52
Figura 12: Emisiones de CO ₂ (Kg CO ₂ -Eq)	69
Figura 13: Emisiones de EVOCs de herbicidas (Kg)	73
Figura 14: Emisiones de CO ₂ -Eq por la aplicación de Fertilizantes.....	77
Figura 15: Emisión de gases contaminantes por aplicación de fertilizantes.....	78
Figura 16: Porcentaje de Emisión de GEI.....	80

TABLA DE ECUACIONES

Ecuación 1: Estimación de emisiones: fuentes móviles de nivel 2.....	49
Ecuación 2: Ecuación Material Inerte.....	55
Ecuación 3: Cantidad de VOCs presentes en el material inerte	55
Ecuación 4: Emisión de VOCs del pesticida	56
Ecuación 5: Emisiones directas de N ₂ O de suelos gestionados (Nivel 1)	58
Ecuación 6: Emisiones directas anuales de N ₂ O–N producidas por aportes de N a suelos gestionados.....	59
Ecuación 7: Ecuación de conversión de N ₂ O-N en N ₂ O	59
Ecuación 8: N ₂ O producido por deposición atmosférica de N volatilizado de suelos gestionados (Nivel 1).....	61
Ecuación 9: N ₂ O producido por deposición atmosférica de n volatilizado de suelos gestionados (Nivel 1) (simplificada)	62
Ecuación 10: Conversión a emisiones de N ₂ O	62
Ecuación 11: Emisiones de N ₂ O por lixiviación/escorrimento de N de suelos gestionados en regiones donde se producen estos fenómenos	62
Ecuación 12: Emisiones de N ₂ O por lixiviación/escorrimento de N de suelos gestionados en regiones donde se producen estos fenómenos, simplificada	64
Ecuación 13: Conversión de emisiones de N ₂ O(L)-N en emisiones de N ₂ O.....	65
Ecuación 14: Emisiones de CO ₂ por aplicación de urea.....	65
Ecuación 15: Convertir las emisiones de CO ₂ –C en CO ₂	66
Ecuación 16: Emisiones totales de GEI.....	66

GLOSARIO

CG: Calentamiento Global

PCG: Potencial de calentamiento global.

GEI: Gases de efecto invernadero.

N₂O: Óxido nitroso

CO₂: Dióxido de carbono

CH₄: Metano

EVCOs: Emisiones De Compuestos Orgánicos Volátiles

FE: Fuente de emisión

EPA: Agencia de protección del Medio Ambiente de Estados Unidos

IA: Ingrediente Activo

II: Ingrediente Inerte

Ha: Hectárea

T: Tonelada

C: Carbono

HdC: Huella de Carbono

IPCC: Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático

Kg CO₂.eq: Kilogramo de dióxido de carbono equivalente

N: Nitrógeno

GJ: Giga Joules

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, varias naciones del mundo se han visto envueltas en un proceso de formar y tomar conciencia acerca del medio ambiente que cada vez demanda más atención. Los diferentes problemas ambientales como el Calentamiento Global (CG) o la producción de Gases de Efecto Invernadero (GEI) están creando grandes preocupaciones, ya que la sostenibilidad tanto del planeta como de la población se está viendo afectada por estos fenómenos.

El desenfreno consumista de la sociedad actual y el desarrollo ha generado una problemática ambiental que ha llevado a la generación de fuertes emisiones de Gases de efecto invernadero (GEI), contribuyen al cambio climático y a el aumento de la temperatura de la tierra.

El cambio climático tiene a corto plazo un impacto potencial enorme, a razón de falta de agua potable, cambios en el escenario de la producción de alimentos y grandes fenómenos climáticos como inundaciones, tormentas, sequias y olas de calor que conllevan a aumentar los índices de mortalidad y que trae consecuencias nefastas para los ecosistemas, la sociedad y la economía global.

El cambio global ha sido producto de la capacidad técnica y económica del ser humano en cambiar radicalmente el ambiente. Temas como los recursos naturales, los mercados, la energía y el rol de las instituciones son de relevancia en la modificación paulatina del entorno. La globalización ha incrementado la velocidad con la que se desarrollan las actividades humanas; el Internet, las telecomunicaciones y los medios de transporte son cada vez más funcionales. Esto ha permitido – entre otras cosas – disminuir los términos de intercambio y dinamizar el comercio multilateral lo que ha incidido en un aumento significativo en los

patrones de consumo. Este crecimiento productivo, sin precedentes, ha sido a costa de una fuerte presión hacia los recursos naturales, afectando nuestra calidad de vida y la sostenibilidad del planeta (Guerra, 2007).

Existen dos fuerzas que propician el cambio global; la explosión demográfica y el incremento incesante en la demanda de bienes y servicios (Rischard, 2002). La explosión demográfica está causando una presión sin precedentes sobre los suelos, el agua, los bosques y los recursos marinos. (Malthus, 1798) expresó, que la población crece en una progresión geométrica y que los recursos alimenticios crecen en una progresión aritmética. Las proyecciones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) establece que; habrá más de 2000 millones de personas más que en la actualidad para el año 2020, 95% de estas personas estarán en países sub-desarrollados, 50% vivirán en ciudades, lo que conllevará a un incremento en la demanda de alimentos en un 40%.

La huella de carbono se puede medir en todas las actividades que practica en su diario vivir un ser humano, la industria y los diferentes sectores que mueven al mundo. Entre las actividades que pueden ser medidas en el sector agrícola están la producción de diferentes cultivos, uso de maquinaria en las actividades antes y durante la cosecha, uso del suelo, prácticas de riego, protección y nutrición de cultivos a través de componentes químicos como herbicidas, insecticidas, plaguicidas y fertilizantes.

La apuesta mundial en la actualidad está basada en la lucha contra el cambio climático, aunque a la fecha no existe una ley formal que exija calcular la emisión y mucho menos la reducción de emisiones de GEI, si existe un consenso global que parte de la necesidad de mejorar hábitos con el fin de poner en acción la optimización de procesos para lograr una mejora ambiental. La actividad agraria que se lleva a cabo en la Granja Experimental de la Universidad Surcolombiana posee una dinámica de emisiones de gases de efecto invernadero

de cantidad desconocida, es por lo que se busca determinar cada una de las actividades emisoras de GEI hasta el punto de la cosecha del cultivo de maíz para hacer una aproximación sobre la cantidad de emisión de Huella de Carbono (HdC) y el planteamiento de medidas de reducción de GEI.

La Huella de Carbono (HdC), es el instrumento para llevar a cabo la descripción del cálculo de emisiones de todos los gases de efecto invernadero (GEI) asociados a actividades o al ciclo de vida de un producto, con el fin de establecer su contribución al cambio climático, están expresadas en toneladas de CO₂ equivalente.

Con el presente documento se pretende determinar la Huella de carbono producida en el cultivo del maíz implantado en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana. Teniendo en cuenta estos datos, es importante aplicar medidas de reducción de GEI en el sector agrícola y el punto de inicio es calcular y determinar dichas emisiones y sugerir medidas de mitigación, basado en los cálculos que se realizaran solamente hasta el punto de cosecha.

Esto se realiza con el fin de identificar las oportunidades de ahorro energético y económico, lo cual resultará de un mejor conocimiento de las fuentes emisoras y las posibilidades de reducción de emisiones de GEI.

2. OBJETIVOS

2.1.Objetivo general

- Estimar la huella de carbono (HdC) representada en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el cultivo de maíz de la granja experimental de la Universidad Surcolombiana.

2.2.Objetivos específicos

- Analizar las prácticas agrícolas que se utilizan en el cultivo de la granja experimental para la producción de 1 (Una) hectárea (Ha) de maíz y determinar así las emisiones de carbono.
- Determinar las actividades directas e indirectas que implican la generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI).
- Plantear métodos para la reducción de la huella del carbono en la producción de maíz en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana.

3. MARCO CONCEPTUAL

La huella de carbono se puede entender como la totalidad de gases de efecto invernadero que se emiten por efecto directo o por otros medios por un individuo, organización, evento o producto.

La huella de carbono de un producto mide los GEI que emite un producto durante todo su ciclo de vida, iniciando en el proceso de extracción de las materias primas, pasando por el procesado, fabricación y distribución, hasta su etapa de uso y final de vida útil (deposito, reutilizado o reciclado) (Oficina Española de Cambio Climático, 2015).

3.1. Calentamiento global

El calentamiento global se refiere directamente a la variación de las temperaturas de la atmosfera y de los océanos de la Tierra. Los cambios ocurren a escala de 100.000 años, es decir que han ocurrido desde el pleistoceno.

Generalmente ocurre cuando hay demasiados gases de efecto invernadero en la atmosfera, este un proceso natural en el que los rayos del sol entran a la atmosfera para regular la temperatura de la tierra pero que después algunos de ellos son atrapados dentro de ella a causa de la capa de gases de efecto de invernadero y el restante son liberados a el espacio.

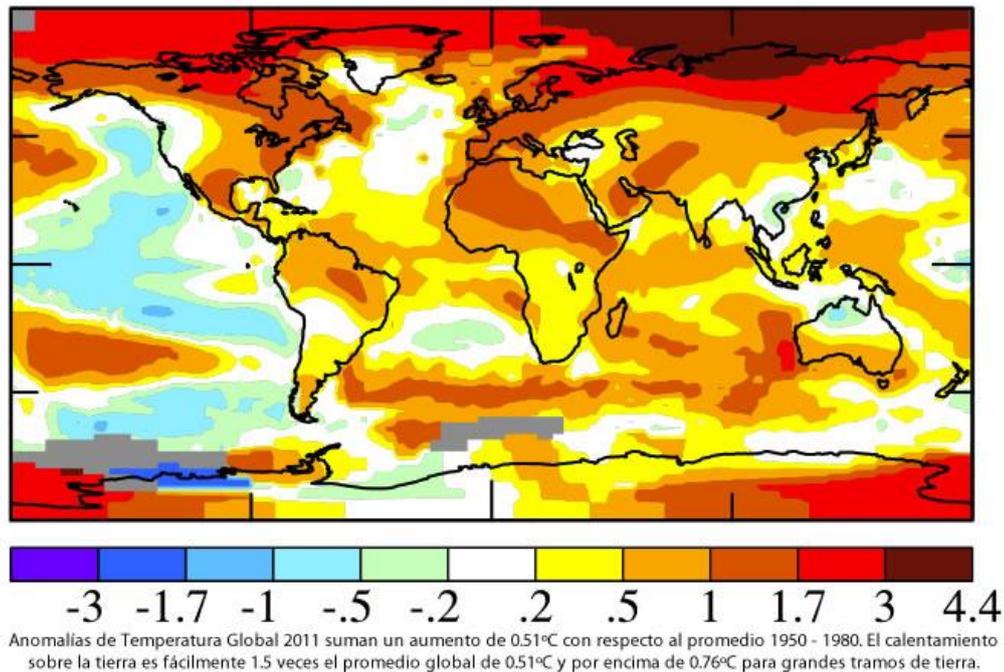


Figura 1: Cambio de temperatura en el 2011 comparado con promedios (1950-1980)
Fuente: Mogens Gallardo, 1999.

Según los cálculos en los últimos 50 años (Figura 1), la temperatura promedio ha aumentado con mayor velocidad en comparación con otros periodos en la historia. Se estima que a finales de este siglo la temperatura promedio de la tierra puede aumentar desde 3 a 9 grados.

3.2. Gases de efecto invernadero

Los gases de efecto se encuentran presentes en la atmosfera terrestre, su concentración es baja, pero influyen sustancialmente en el efecto de la temperatura terrestre, en el especial en la del aire próximo al suelo, haciendo que se mantenga en los rangos óptimos para preservar la vida en el planeta.

Los gases de invernadero más importantes son: vapor de agua, dióxido de carbono (CO₂) metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), clorofluorocarbonos (CFC) y ozono (O₃). El incremento de su concentración debido principalmente a actividades humanas y a la potenciación del efecto

invernadero, puede ser la causa más probable del aumento de 0,6 de la temperatura media del planeta observado en el periodo 1910-1995. (KELLY, M., 1996).

Según la IPCC *“los gases de efecto invernadero absorben la radiación infrarroja, emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera debido a los mismos gases, y por las nubes. La radiación atmosférica se emite en todos los sentidos, incluso hacia la superficie terrestre. Los GEI atrapan el calor dentro del sistema de la troposfera terrestre. A esto se le denomina ‘efecto invernadero natural.’ En efecto, la radiación infrarroja emitida al espacio se origina en altitud con una temperatura que tiene una media de -19°C, en equilibrio con la radiación solar neta de entrada, mientras que la superficie terrestre tiene una temperatura media mucho mayor, de unos +14°C. Un aumento en la concentración de GEI produce un aumento de la opacidad infrarroja de la atmósfera, y, por lo tanto, una radiación efectiva en el espacio desde una altitud mayor a una temperatura más baja. Esto causa un forzamiento radiactivo, un desequilibrio que sólo puede ser compensado con un aumento de la temperatura del sistema superficie–troposfera. A esto se denomina ‘efecto invernadero aumentado’”* (IPCC., 2002).

El CO₂ es un gas que se produce naturalmente, como subproducto de la combustión de combustibles fósiles y biomasa, de los cambios en el uso de las tierras y otros procesos industriales. Su importancia en el calentamiento global está en que es el principal GEI que afecta al equilibrio de radiación del planeta, además por ser el gas de referencia que mide otros gases de efecto invernadero, por este motivo es que se utiliza el concepto de kilogramos de CO₂ equivalente (Kg CO₂-eq) como unidad de medida común de las emisiones, pues es la medida que indica el potencial de calentamiento global (PCG) de cada uno de estos gases (Ver tabla 1). Siendo el PCG el factor que describe el impacto de la fuerza de radiación de una unidad de un determinado GEI en relación a una unidad de CO₂ (Brito, 2011). Asimismo, desde 1896 se sabe que el CO₂ ayuda a impedir que los rayos infrarrojos escapen al espacio, lo que

hace que se mantenga una temperatura relativamente cálida en el planeta, sin embargo, el incremento de los niveles de CO₂ puede provocar un aumento de la temperatura global (Mendoza, 2011).

Tabla 1: Fenómenos naturales y actividades antropogénicas que dan origen a los gases, concentración y tasa de crecimiento anual en la atmósfera.

<i>Gas</i>	<i>Fuente</i>	<i>Concentración actual (ppm*)</i>	<i>Crecimiento anual (%)</i>
Vapor de agua	-evaporación	variable	-
Dióxido de carbono	-combustión de carburantes fósiles (petróleo, gas, hulla) y madera	353	0.5
Metano	-erupciones volcánicas -descomposición anaeróbica de vegetales en tierras húmedas (pantanos, ciénagas, arrozales) -combustión de biomasa -venteo de gas natural	1.7	0.9
Óxido nítrico	-prácticas agrícolas (uso de fertilizantes nitrogenados) -combustión de carburantes fósiles	0.31	0.8
Clorofluocarbonos	-origen sintético (propelentes de aerosoles, refrigeración, espumas)	0.00028 - 0.00048	4.0
Ozonotroposférico	-combustión de carburantes fósiles	0.02 - 0.04	0.5 – 2.0

Fuente: MORAN, 1994.

3.3. Óxido Nitroso. (N₂O).

El óxido nitroso (N₂O) se libera de forma natural de los océanos y de las selvas tropicales gracias a las bacterias del suelo. Algunas de las fuentes influidas por el hombre son los abonos a base de nitrógeno, la quema de combustibles fósiles y la producción química industrial que utiliza nitrógeno, como el tratamiento de residuos. En los países industrializados, el N₂O representa aproximadamente el 6% de las emisiones de gases invernadero. Al igual que el CO₂ y el metano, el óxido nitroso es un gas invernadero cuyas moléculas absorben el calor al tratar de escapar al espacio. El N₂O es 310 veces más efectivo que el CO₂ absorbiendo el calor. Desde el inicio de la Revolución Industrial, las concentraciones de óxido nitroso en la atmósfera han aumentado un 16% aproximadamente y han contribuido entre un 4% y un 6% a acentuar el efecto invernadero.

3.3.1. Dióxido de Carbono (CO₂).

Hace poco, investigadores europeos descubrieron que las concentraciones actuales de CO₂ en la atmósfera son más altas ahora que en cualquier otro período de los últimos 650.000 años. En una investigación se perforaron los núcleos glaciares hasta una profundidad de más de 3 km alcanzando el hielo antártico que se formó hace cientos de miles de años. Este hielo contiene burbujas de aire que ofrecen un historial de composiciones atmosféricas de diferentes épocas en la historia de la Tierra. El CO₂ puede permanecer en la atmósfera entre 50 y 200 años, en función de cómo se recicle en la tierra o en los océanos.

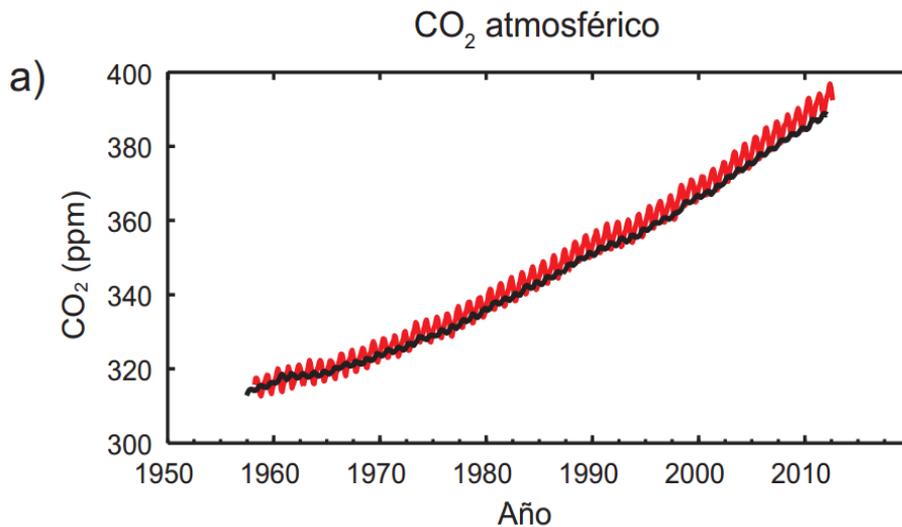


Figura 2: Evolución del contenido atmosférico en CO₂ en los últimos decenios. La concentración actual casi alcanza 400 ppm

Fuente: (IPCC, 2013)

3.3.2. El metano (CH₄).

El segundo gas que más contribuye al efecto invernadero acentuado es el metano (CH₄). Desde el principio de la Revolución Industrial, las concentraciones de metano en la atmósfera se han duplicado y han contribuido un 20% al incremento del efecto invernadero. En los países industrializados, el metano representa normalmente el 15% de las emisiones de los gases invernadero.

El metano se crea sobre todo mediante las bacterias que se alimentan de material orgánico cuando escasea el oxígeno. Por tanto, el metano emana de fuentes naturales y de fuentes influidas por el hombre, siendo mayoría estas últimas. Las fuentes influidas por el hombre son la minería y la quema de combustibles fósiles, la cría de animales (el ganado se alimenta de plantas que fermentan en sus estómagos, por lo que exhalan metano que también está presente en el estiércol), el cultivo de arroz (los arrozales inundados producen metano porque la materia orgánica en el suelo se descompone sin oxígeno suficiente) y los vertederos (aquí también, los residuos orgánicos se descomponen sin oxígeno suficiente). En la atmósfera, el metano retiene

el calor y es 23 veces más efectivo que el CO₂. Su ciclo de vida es, sin embargo, más breve, entre 10 y 15 años.

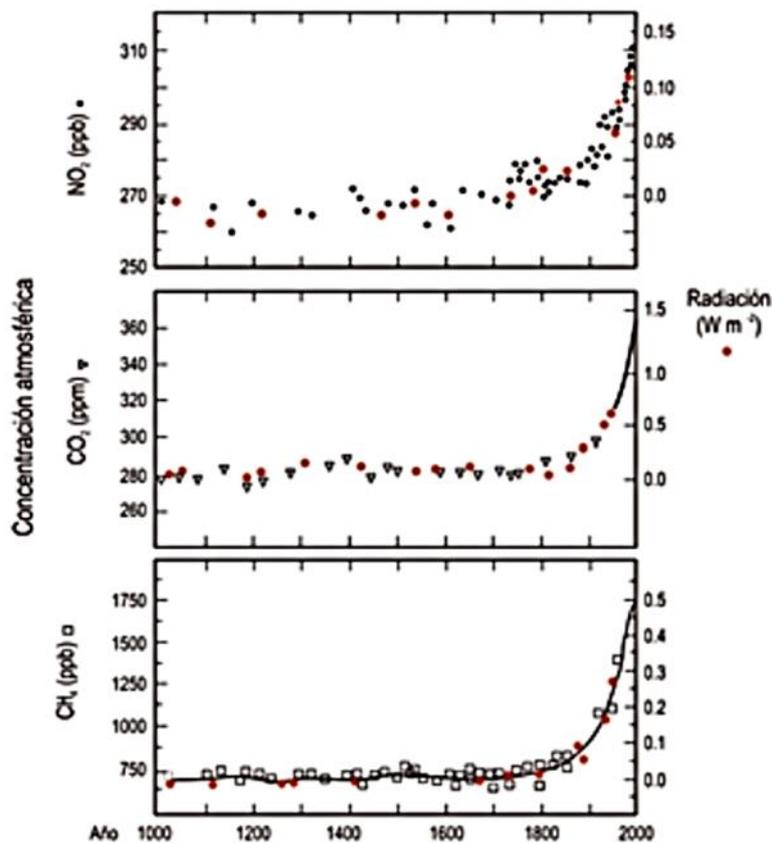


Figura 3: Evolución de los contenidos en dióxido de nitrógeno, dióxido de carbono y metano en el último milenio
Fuente: (IPCC, 2001)

3.4. Huella de Carbono

Los expertos en cambio climático, han visto la necesidad de construir indicadores que nos proporcionen información acerca del impacto humano sobre la capacidad de los sistemas naturales para abastecernos. A pesar de que existen numerosos indicadores de “sostenibilidad física” que informan respecto a la crisis ecológica, la huella de carbono se presenta como aquel indicador que contiene todas las garantías para medir el calentamiento global (Baquedano, 2011).

La huella de carbono corresponde a la totalidad de GEI emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto, los cuales son medidos en unidades equivalentes de dióxido de carbono (CO_{2e}) (Campos, 2012). De acuerdo con esto el IPCC (2006), indica que el impacto de 1 Kg de metano en el calentamiento global equivale a 25 Kg de CO₂ y el impacto de 1 Kg de N₂O es equivalente a 298 Kg de CO₂. Una vez que todos los efectos de los GEI se encuentran en una unidad equivalente a CO₂, éstos se pueden resumir y expresar como CO₂ equivalente (Sepúlveda, 2011). Es importante destacar que la huella de carbono puede ser medida a nivel corporativo, a nivel de productos o sub-productos. En el caso de la medición a nivel corporativo se miden todos los GEI de las actividades que realiza una organización, incluyendo energía utilizada en edificios, procesos industriales y vehículos de la empresa.

En realidad, el concepto de HdC va más allá de la medición única del CO₂ emitido, ya que se tienen en cuenta todos los GEI que contribuyen al calentamiento global, para después convertir los resultados individuales de cada gas a equivalentes de CO₂. Por ello el término correcto sería HC equivalente o emisiones de CO₂ equivalentes, aunque en la práctica y por comodidad se utiliza simplemente el término Carbono.

El GreenHouse Gas Protocol (GHG Protocol) es la metodología más utilizada para este tipo de mediciones, ya que separa las emisiones en tres grandes grupos o ámbitos. Esta metodología fue desarrollada por el Instituto Mundial de Recursos (World Resources Institute) y por el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable (World business council for sustainable development), y fue estandarizado y protocolizado por la Organización Internacional de Normalización (ISO).

Es ampliamente utilizado para la realización de esta medición. Éste separa las emisiones en tres grupos o ámbitos. El primer ámbito corresponde a las emisiones directas que se derivan de las actividades que la empresa controla, como por ejemplo la quema de combustible,

vehículos de la propiedad o controlados por la empresa (CARBON TRUST, 2010). El segundo ámbito incluye las fuentes indirectas, derivadas de la generación de energía, calor o vapor, generados por la empresa, pero controlados por terceros (Schneider y Samaniego, 2009). Y por último el tercer ámbito, contempla otras fuentes indirectas derivadas de las actividades de la empresa pero que no se realizan dentro de ella. Este ámbito incluye viajes de negocios, eliminación de residuos y producción de insumos. Según el protocolo recién descrito toda organización debe incluir el primer y segundo ámbito, siendo el tercer ámbito no obligatorio (CARBON TRUST, 2010).

En realidad, la HC es una versión simplificada de un Análisis de Ciclo de Vida en el que, en lugar de considerar varias categorías de impacto ambiental al mismo tiempo, se considera únicamente una de ellas, la relativa a Calentamiento Global.

El estándar PAS 2050, creada el año 2008 por el Reino Unido da una orientación para la medición de la Huella de Carbono de una amplia gama de bienes y servicios. Esta guía estableció cinco pasos básicos para determinar una huella de carbono. El primer paso es generar una lista de todos los materiales, actividades y procesos que contribuyen en cada etapa de producción elegidos. El segundo paso es comprobar los límites a los que se quieren llegar, porque hay algunas emisiones que se pueden excluir. El tercer paso es la recolección de los datos de la actividad, por ejemplo, los litros de combustible consumido por la unidad de producto. El cuarto paso es el cálculo de la huella propiamente tal, aquí se calculan las emisiones de GEI de cada fuente. Y, por último, el quinto paso es la verificación del cálculo, que se puede realizar por parte de la misma empresa, por una empresa no relacionada o por una empresa acreditadora, siendo esta última la de mayor seguridad e imparcialidad (CARBON TRUST, 2010) Esta evaluación es compleja ya que para poder definirla hay que considerar además la responsabilidad que tienen los consumidores en este proceso, a través de su capacidad de compra. Los consumidores pueden ser considerados como una de las principales

causas de la huella de carbono generada por un determinado bien o servicio (Schneider y Samaniego, 2009).

3.4.1. Dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}).

Esta unidad se utiliza para comparar el fortalecimiento radiactivo de los GEI a un dióxido de carbono. El forzamiento radiactivo o influencia térmica se define como un cambio de la irradiancia neta, expresada en vatios por metro cuadrado (W/m²). Este forzamiento radiactivo representa la diferencia entre los valores totales de energía entrante y saliente de un sistema climático, causada de forma natural o antropogénica. Si este balance es positivo, favorece el calentamiento de la Tierra; y, si es negativo, favorece el enfriamiento (Campos, 2012).

3.5. Huella Ecológica.

La huella ecológica es un indicador ambiental de carácter integrador del impacto que ejerce una cierta comunidad humana, país, región o ciudad sobre su entorno. Es el área de terreno necesario para producir los recursos consumidos y para asimilar los residuos generados por una población determinada con un modo de vida específico, donde quiera que se encuentre esa área. Fue definida en 1996 por William Rees y Mathis Wackernagel en la School for Community & Regional Planning (Escuela para la Planificación Comunitaria y Regional) de la Universidad de la Columbia Británica.

La metodología de cálculo consiste en contabilizar el consumo de las diferentes categorías y transformarlo en la superficie biológica (Figura 5) productiva apropiada a través de índices de productividad.

Estas categorías son:

- Cultivos: área para producir los vegetales que se consumen. Constituye la tierra más productiva ecológicamente, y genera la mayor producción neta de biomasa utilizable por las comunidades humanas.
- Pastos: área dedicada al pastoreo de ganado.
- Bosques: área en explotación para producir la madera y el papel.
- Mar productivo: área para producir pescado y marisco.
- Terreno construido: áreas urbanizadas u ocupadas por infraestructuras.
- Área de absorción de CO₂: superficie de bosque necesaria para la absorción de la emisión de CO₂ debida al consumo de combustibles fósiles para la producción de energía. Se contabilizan consumos en la producción de bienes, gastos en vivienda y transportes, entre otros.

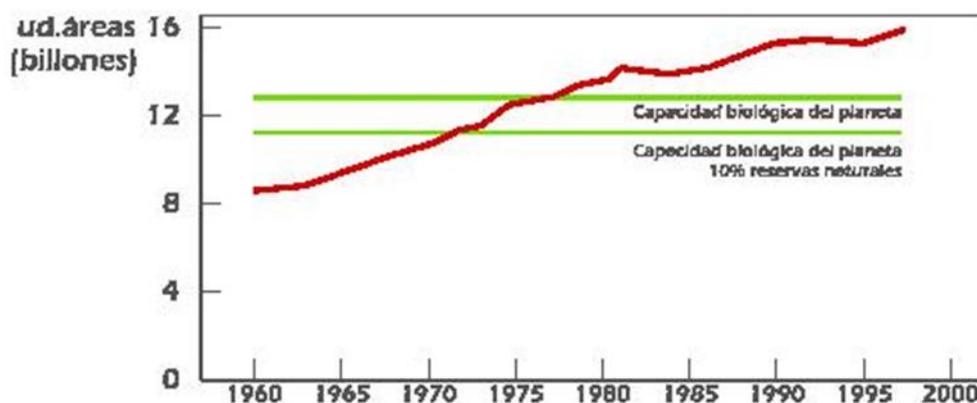


Figura 4: Huella ecológica del mundo expresada en billones de áreas (1961-97).

Fuente: Moreno, 2005

El déficit ecológico es la diferencia entre el área disponible (capacidad de carga) y el área consumida (huella ecológica) en un lugar determinado. Pone de manifiesto la *sobreexplotación* del capital natural y la incapacidad de regeneración tanto a nivel global como local.

La *capacidad de carga* es la capacidad local disponible, teniendo en cuenta la productividad del terreno y una reserva del 12% para conservación de la biodiversidad (Figura 5); Se considera que el 12% es la cantidad suficiente para conservar la biodiversidad, ya que no somos los únicos habitantes del planeta (Moreno, 2005). Supone la máxima explotación a que puede ser sometido un terreno sin dañar de manera permanente su productividad.

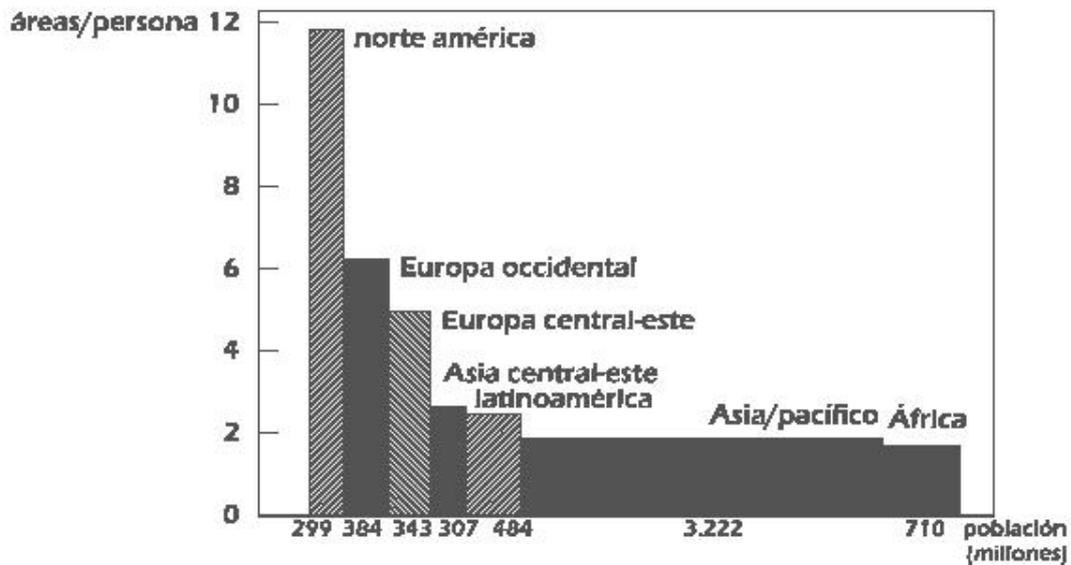


Figura 5: Distribución de la huella ecológica y cantidad de población.

Fuente: Moreno, 2005

La huella mide en hectáreas la superficie de terreno consumida por habitante y año. Se puede observar la huella de los distintos países en relación con el número de habitantes, poniendo de manifiesto las cantidades totales que implica.

Tabla 2: Huellas ecológicas en diversos países del mundo, 1997.

PAIS	POBLACION (MILLONES DE PERSONAS)	HUELLA ECOLOGICA	CAPACIDAD DE CARGA	DEFICIT
Estados Unidos	271,6	12,5	5,5	7,0
Dinamarca	5,2	10,3	5,6	4,7
Noruega	4,3	9,2	5,9	3,3
Australia	18,2	8,9	9,4	-0,5
Canadá	29,9	8,7	11,0	-2,3
Suecia	8,8	8,2	7,9	0,3
Finlandia	5,1	8,2	9,6	-1,4
Francia	58,5	7,3	4,1	3,2
Inglaterra	58,4	6,3	1,7	4,6
Holanda	15,7	6,3	2,2	4,1
Alemania	82,2	6,0	2,4	3,6
Austria	8,2	5,9	4,0	1,9
Japón	125,6	5,6	0,8	4,8
Italia	57,2	5,6	0,8	4,8
España	39,7	5,5	2,3	3,2
Rusia	147,7	5,2	4,4	0,8
Chile	14,6	3,6	2,0	1,6
México	94,3	3,1	1,6	1,5
Tailandia	59,2	2,6	1,3	1,3
Brasil	163,1	2,2	10,9	-8,7
China	1243,7	1,8	0,8	1,0
Egipto	64,4	1,8	0,7	1,1
India	960,2	0,7	0,7	0,0
Paquistán	143,8	1,1	0,7	0,4
Bangladesh	122,0	0,6	0,3	0,3

Fuente: Moreno, 2005.

La situación actual no es más alentadora, según el Informe Planeta Vivo 2004 elaborado por WWF/Adena, la huella global es de 2,2 hectáreas por persona y año, siendo la capacidad

de carga 1,8; se consume un 20% más de lo que la Tierra puede producir; y las poblaciones de especies vertebradas terrestres, marinas y de agua dulce han disminuido una media del 40% entre 1970 y 2000. Uno de los datos más significativos es que el consumo de energías fósiles ha aumentado un 700% de 1961 a 2001 (Moreno, 2005).

3.6. Iniciativas para el cálculo de la Huella de Carbono

Algunas iniciativas ya han comenzado a nivel mundial, algunas de tipo gubernamentales y otras de tipo empresariales.

La familia de normas ISO comprendidas entre la ISO14064 y la14069 tienen como objetivo dar credibilidad y aseguramiento a los reportes de emisión de GEI y a las declaraciones de reducción o eliminación de GEI. Las normas no están alineadas con ningún esquema particular, más bien son independientes y pueden ser usadas por organizaciones que participan en el comercio, en proyectos o en mecanismos voluntarios de reducción de emisiones. Las normas se pueden aplicar a todos los tipos de GEI, no estando limitadas al CO₂.

3.6.1. ISO 14064.

Contiene 3 partes y un conjunto de criterios para la contabilización y verificación de GEI. Las normas definen las mejores prácticas internacionales en la gestión, reporte y verificación de datos e información referidos a GEI. El uso de enfoques normalizados para la contabilización y verificación de datos de emisión aseguran que una tonelada de CO₂, por ejemplo, sea siempre la misma, donde sea que se emita o se acumule.

ISO 14064-1: 2006. Los gases de efecto invernadero - Parte 1: Especificación con orientación, a el nivel de organización para la cuantificación y el informe de los gases de efecto invernadero las emisiones y absorciones. (Cuantificación y reporte de emisiones y remoción de gases de efecto invernadero con un nivel de las organizaciones).

ISO 14064-2: 2006 Los gases de efecto invernadero - Parte 2: Especificación con orientación, el nivel de los proyectos para la cuantificación, el seguimiento y la notificación de efecto invernadero reducciones o incrementos de eliminación de emisión de gases. (Cuantificación y reporte de GEI un nivel de proyectos).

ISO 14064-3: 2006. Los gases de efecto invernadero - Parte 3: Especificaciones y directrices para la validación y verificación de declaraciones sobre gases de efecto invernadero. (Validación y verificación de aseveraciones Sobre IEG).

3.6.2. ISO 14069

La norma " ISO / AWI 14.069 GEI - cuantificación y reporte de GEI las emisiones de organizaciones (huella de carbono de la organización) - Orientación para la aplicación de la norma ISO 14064-1 ", también en fase de Desarrollo, pretende recoger las directrices básicas de aplicación de la norma ISO 14,064 a 1. Tiene como objetivo definir una sistemática para la realización de la huella de carbono por parte de las organizaciones, así como la posterior elaboración de la información de emisiones de GEI.

3.6.3. Protocolo GEI

Alianza entre organizaciones no gubernamentales, gobiernos, empresas y otras entidades, nombrada inicialmente por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI), por tal razón cuenta con una alta gama de datos de GEI proporcionada por empresas y normas relacionadas con el tema. Esta herramienta es consistente con las que ha propuesto el IPCC para la recopilación de emisiones.

El protocolo de GEI cuenta con un manual dispuesto para la aplicación de la metodología, las etapas que se especifican en el Protocolo de GEI, no son de carácter obligatorio ya están relacionadas con la empresa, actividad u estudio a realizar:

1. Determinación de los Límites Organizacionales:
2. Determinación de los Límites Operacionales.
3. Seguimiento de las emisiones a través del tiempo.
4. Identificación y cálculo de emisiones de GEI.
5. Gestión de la calidad del inventario.
6. Contabilidad de reducciones de emisiones de GEI.
7. Reporte de emisiones de GEI.
8. Verificación de Emisiones de GEI.
9. Determinación de un objetivo de emisiones de GEI.

3.6.4. Directrices de la IPCC 2006

Las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (Directrices del IPCC 2006) se prepararon por invitación de la CMNUCC, con el fin de proporcionar a los países metodologías de buenas prácticas para ser usadas en la preparación de los inventarios de GEI y para su reporte a la CMNUCC. Como se muestra en la imagen inferior, los sectores del inventario de GEI son: Energía, procesos industriales y uso de productos IPPU (Industrial Processes and Product Use, que corresponde a sus siglas en inglés), agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU) y desechos.

Las Directrices del IPCC de 2006 son un desarrollo evolutivo en relación a las Directrices del IPCC de 1996, la Orientación sobre Buenas Prácticas OBP 2000 y la OBP-UTCUTS (Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura) 2003. El enfoque de 2006 garantiza la continuidad y permite que las experiencias con las directrices existentes, la nueva información científica y los resultados del proceso de revisión de la CMNUCC sean incorporadas.

Uno de los cambios más significativos entre las versiones de las Directrices de 1996 y 2006 es la unificación del sector UTCUTS con el de agricultura en un único AFOLU. Las

categorías de ambos sectores (UTCUTS y agricultura) se integraron en este nuevo marco para resolver las inconsistencias y evitar la doble contabilidad. Además, esto posibilitó:

- La eliminación de la distinción, un tanto arbitraria, entre estas categorías en las versiones precedentes de orientación y promoción del uso consistente de datos entre ellas, especialmente para los métodos más detallados;
- La consistencia en el tratamiento de los gases en los sectores de agricultura y UTCUTS, permitiendo de este modo un tratamiento más consistente de las conversiones de tierras.

Esta integración reconoce que los procesos subyacentes de las emisiones y absorciones de GEI, así como las distintas formas de reservas de carbono terrestre, pueden ocurrir en todos los tipos de tierras; además, pretende mejorar la consistencia y exhaustividad en la estimación y el reporte de las emisiones y absorciones de GEI.

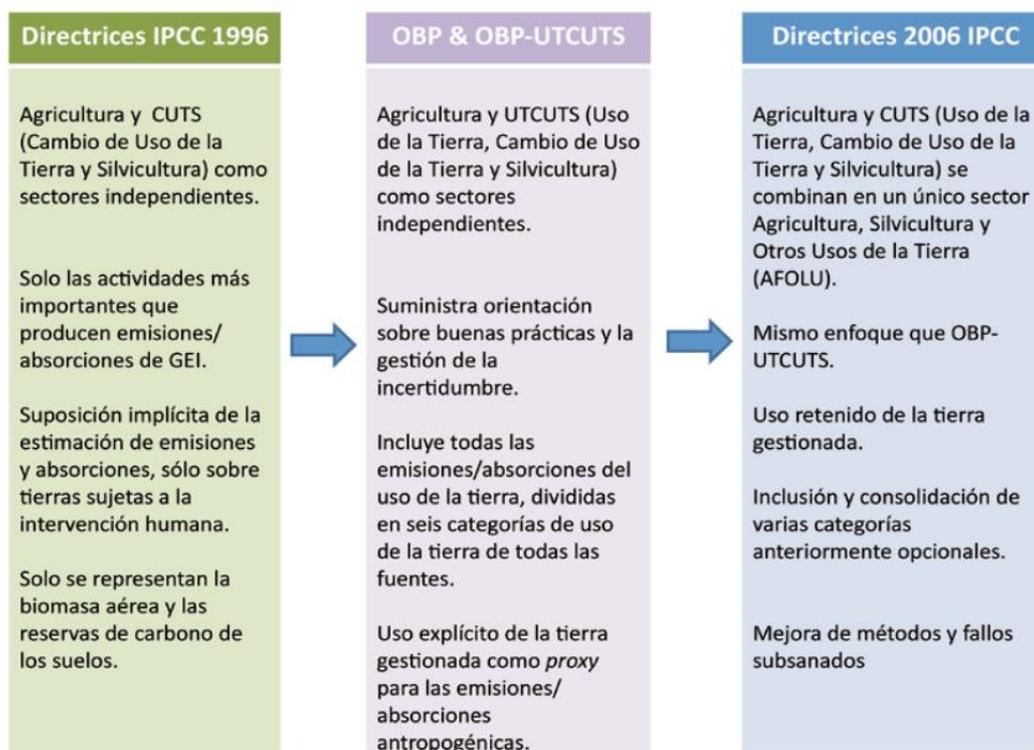


Figura 6: Evolución de las Directrices del IPCC para los INGEI de 1996 y 2006, en función de los sectores agricultura/CUTS (Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura), agricultura/UTCUTS y AFOLU.

3.7.Cultivo de Maíz

3.7.1. El Maíz

3.7.1.1.Origen.

El maíz es originario de América, donde fue el alimento básico de las culturas americanas muchos siglos antes de que los europeos llegaran al nuevo mundo. El origen de esta planta sigue siendo un misterio. Hay pruebas concluyentes, aportadas por los hallazgos arqueológicos y paleobotánicos, de que en el valle de Tehuacan, al sur de México ya se cultivaba maíz hace aproximadamente 4.600 años. El maíz silvestre primitivo no se diferenciaba mucho de la planta moderna en sus características botánicas fundamentales. (Enciclopedia Terranova, 1995).

3.7.1.2.Clasificación taxonómica.

- **Reino:** Vegetal
- **Subreino:** Embriobionta
- **División:** Angiospermae
- **Clase:** Monocotyledoneae
- **Orden:** Cyperales
- **Familia:** Poaceae
- **Género:** Zea
- **Especie:** Mays
- **Nombre Científico:** Zea Mays

3.7.1.3.Descripción Botánica.

- **Raíz:** La raíz primaria, o sea, la que se desarrolla en la germinación tiene corta duración.

En la planta adulta todo el sistema radicular es adventicio y brota de la corona, con el ápice en la parte inferior formada por 10 entrenudos muy cortos. El tamaño y la forma

del sistema radicular cambian considerablemente de acuerdo con el tipo de propagación y las condiciones ambientales (Enciclopedia Terranova, 1995).

- **Tallo:** Está constituido por nudos y entrenudos de número y longitud variable. La parte inferior y subterránea del tallo, la corona, poseen entrenudos de los cuales salen los tallos laterales y las raíces principales. En los entrenudos siguientes en especial en las plantas jóvenes existe una zona de crecimiento activo ó intercalar ubicada en la parte inferior del entrenudo, y una longitud menor a 0,5 mm de ancho en la que se producen tejidos nuevos (Enciclopedia Terranova, 1995).
- **Hojas:** Están constituidas por vaina, cuello y lámina. La vaina es una estructura cilíndrica abierta hasta la base, que sale de la parte superior del nudo, mientras que en el cuello es la zona de transición entre la vaina envolvente y la lámina abierta. La lámina es una banda angosta y delgada de hasta 1,5 m de largo por 10 cm de ancho que termina en un ápice muy agudo. El nervio central está bien desarrollado, es prominente en el envés de la hoja y cóncavo en la parte superior (Enciclopedia Terranova, 1995).
- **Inflorescencia Masculina/ Panoja:** La inflorescencia masculina, normalmente se hace visible entre las últimas hojas de la planta, de 7 a 10 días antes de que aparezcan los estilos de la inflorescencia femenina. Generalmente de 2 a 3 días antes de comenzar la liberación del polen se elongan los internudos de la parte alta del tallo impulsando a la panoja, la cual queda completamente desplegada; la planta en ese momento, alcanza su altura definitiva (Noroña, 2008).
- **Inflorescencia Femenina:** La inflorescencia femenina corresponde a una espiga. La espiga, por su parte, se presenta cubierta por brácteas u hojas envolventes. La espiga, conjuntamente con las brácteas conforma la mazorca. La mazorca apical determina su número de óvulos 15 a 20 días antes de la emisión de estilos, presentando en ese momento entre 1 y 2 cm de longitud.

La cantidad de óvulos de la mazorca apical puede variar entre 500 y 1000. La inflorescencia femenina está conformada por espiguillas; cada espiguilla, a su vez, contiene dos flores, de las cuales solo una logra emitir su estilo, la otra flor aborta, originándose, por lo tanto, solo un grano por cavidad (Noroña, 2008).

- **Mazorca:** En el maíz la mazorca es compacta y está formada por hojas transformadas que en la mayoría de los casos la cubre por completo. El eje de inflorescencia recibe el nombre de tusa en América del Sur y el de elote en México y América Central. La zona de inserción de los granos está formada principalmente por las cúpulas; órganos característicos de ciertas poaceas que tiene forma de copa, con paredes, cuya base angosta se conecta con el sistema vascular del cilindro central (Enciclopedia Terranova, 1995).
- **Semillas:** La semilla de maíz está contenida dentro de un fruto denominado cariósipide; la capa externa que rodea este fruto corresponde al pericarpio, estructura que se sitúa por sobre la testa de la semilla. Esta última está conformada internamente por el endospermo y el embrión, el cual a su vez está constituido por la coleoriza, la radícula, la plúmula u hojas embrionarias, el coleóptido y el escutelo o cotiledoneo (Noroña, 2008).

3.7.1.4. Variedades del maíz.

En la Región Andina se conocen actualmente numerosas variedades de maíz: criollo, mejorado, híbrido, cuya lista es muy larga ya que los nombres cambian de una zona a otra. Las variedades se clasifican según su uso, es forrajero o para la producción de grano. El grano se clasifica además por su estructura, color, contenido de carbohidratos, aceite, proteína, etc. La determinación de la variedad a cultivar en cada región depende de la altura a nivel del mar, condiciones climáticas e intensidad y frecuencia de las heladas, precipitación pluvial y

disponibilidad de los sistemas de riego; la época y densidad de siembra son también datos importantes a la hora de tomar decisiones (Noroña, 2008).

3.7.1.5. Caracteres morfo-fisiológicos que afectan el rendimiento.

El maíz presenta características fisiológicas extremadamente favorables en lo que se refiere a la eficiencia de conversión de CO₂ de la atmósfera, en compuestos orgánicos como los carbohidratos. Este proceso se realiza a través de la fotosíntesis, se refiere a la bioconversión de la energía solar en biomasa. (Fassio, 1998).

- **Área foliar:** Es el área fotosintéticamente activa y determina la disponibilidad de carbohidratos para cumplir las funciones de mantenimiento de la planta para su propio crecimiento y para el llenado de grano. La posición de las hojas, tamaño de la planta y sus hojas, la población y distribución jugarán un papel preponderante en el rendimiento final. (Fassio, 1998).
- **Altura de la planta:** En algunos casos el mayor tamaño de una planta es más importante que la duración del periodo de llenado de grano en la determinación del rendimiento, probablemente porque hay mayor acumulación de reservas. El rendimiento potencial del grano en antesis está en función del crecimiento previo de la planta. Las plantas que se desarrollan con menos competencia tienen rendimientos potenciales más altos. (Fassio, 1998).
- **Días a la floración:** La siembra tardía retrasa la floración, acortando el periodo de llenado de grano (condiciones de baja temperatura durante el mismo) y consecuentemente baja el peso de 1000 granos. (Fassio, 1998).
- **Prolificidad:** Los cultivos prolíficos tienen mayor rendimiento que los uni-espigados en altas densidades. Además, ese rendimiento es más estable en los distintos ambientes debido a que el desarrollo de la espiga está menos inhibido por condiciones ambientales adversas que en los cultivares uni-espigados. (Fassio, 1998).

- **Periodo de llenado de grano:** Una parte de la variación en rendimiento de los genotipos de maíz es atribuible directamente a las diferencias en el periodo de llenado de grano efectivo. La selección recurrente para incrementar el rendimiento aumenta indirectamente este periodo. Si las condiciones ambientales se deterioran, los granos pueden cesar su desarrollo. (Fassio, 1998).

3.7.1.6. Requerimientos climáticos.

- **Temperatura:** El crecimiento óptimo del cultivo ocurre a temperaturas de 24° a 30°C. Las temperaturas nocturnas altas no favorecen el crecimiento del cultivo, en cambio, incrementan las tasas de respiración y de esta forma se reduce el peso seco acumulado durante el día por la fotosíntesis. (Fassio, 1998).
- **Viento y evapotranspiración:** Cuanto mayor es el contenido de humedad del suelo, mayor es el crecimiento de las plantas, sin embargo, esto no se corresponde con un aumento en el tamaño de las espigas. Cuando se consideran las pérdidas de agua, el viento es un factor muy importante, ya que estas aumentan con el aumento de la temperatura. Durante periodos de alta radiación solar y alta temperatura más agua es extraída por evaporación de la superficie del suelo y por transpiración de las hojas que en ausencia de estas condiciones. (Fassio, 1998).
- **Radiación:** La cantidad de radiación interceptada en el periodo crítico de floración, define el número de granos, mientras que aquella interceptada durante el periodo de llenado de granos, define el peso de mil granos. (Fassio, 1998).
- **Balance Hídrico:** La ocurrencia de déficit hídrico es uno de los factores ambientales que más afectan la estabilidad de la producción de granos en maíz. La reducción de producción de granos es función del estadio de desarrollo de la planta, de la intensidad y la duración de la seca y de la sensibilidad del cultivar. El efecto de la falta de agua asociado a la producción de granos es particularmente importante en tres estadios de

desarrollo de la planta. El primer estadio se refiere a la iniciación floral y al desarrollo de la inflorescencia, momento en que se determina el número potencial de granos; el segundo se refiere al periodo de fertilización, que es cuando se fija el potencial de producción; y el tercero es la fase de llenado de grano, en el cual ocurre la acumulación de la materia seca. (Fassio, 1998).

- **Previo a la siembra:** Las condiciones previas a la siembra son especialmente importantes en determinar la reserva de humedad del suelo y la adecuada preparación de la cama de siembra. Cuanto menor sea el agua acumulada antes de la siembra, mayores serán los requerimientos de lluvia durante la estación de crecimiento del cultivo. (Fassio, 1998).
- **Siembra-emergencia:** Este periodo se caracteriza por su dependencia de la temperatura, la humedad y la aireación del suelo y de las reservas acumuladas en la semilla. El umbral de temperatura del suelo óptima para germinación puede variar con el germoplasma. Comenzando la siembra con 12°C en el suelo, el periodo germinación-emergencia puede prolongarse de 8 a 10 días. (Fassio, 1998).
- **Madurez fisiológica del grano:** El maíz en condiciones normales, presenta madurez fisiológica en promedio a los 60 días de floración. Durante la segunda mitad de llenado de grano, un estrés, ya sea debido a la falta de agua o a temperaturas altas, reduce el rendimiento. Un estrés severo puede causar muerte prematura y pérdidas adicionales. En un año húmedo, las reservas de humedad del suelo se incrementan, siendo pequeño el efecto sobre el rendimiento, pero puede retrasar la cosecha. (Fassio, 1998).
- **Secado del grano:** Después de madurez fisiológica, el grano debe secarse hasta una humedad adecuada para la cosecha (menor a 19%). La tasa de secado es afectada por las diferentes condiciones climáticas y por las características del cultivo. (Fassio, 1998).

3.7.1.7. Ciclo Vegetativo del Maíz.

Las investigaciones dividen las etapas de crecimiento en dos grandes categorías:

- Vegetativa (V)
- Reproductiva (R)

Además, las etapas de crecimiento se pueden agrupar en cuatro grandes períodos

(Figura 7):

- Crecimiento de las plántulas (etapas VE y V1)
- Crecimiento vegetativo (etapas V2, V3... VN)
- Floración y la fecundación (etapas VT, R1, y R2)
- Llenado de grano y la madurez (etapas R3 a R6)

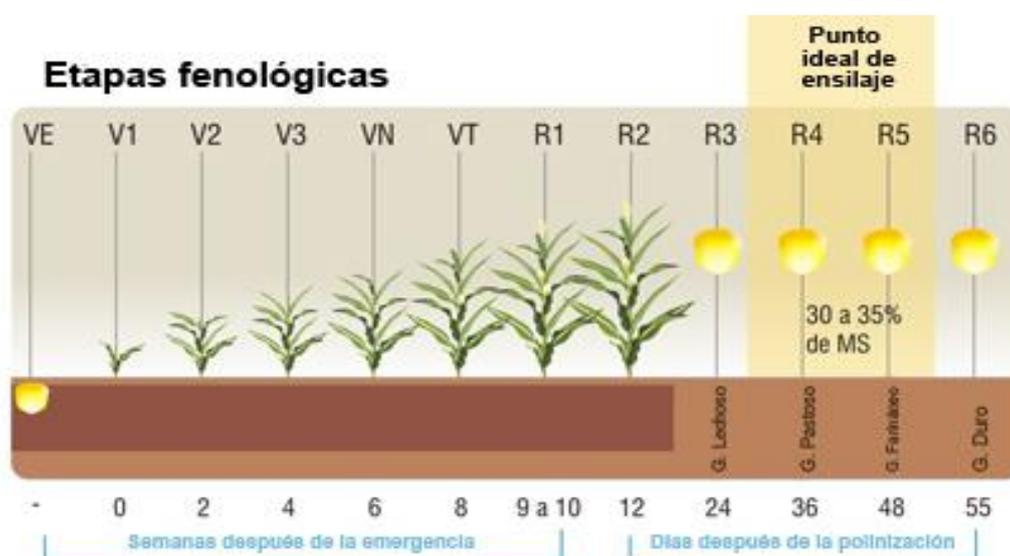


Figura 7: Etapas del crecimiento del Maíz.

Fuente: Magalhaes, 2004

- ✓ **Nacimiento:** Comprende el período que transcurre desde la siembra hasta la aparición del coleóptilo, cuya duración aproximada es de 6 a 8 días.

- ✓ **Crecimiento:** Una vez nacido el maíz, aparece una nueva hoja cada tres días si las condiciones son normales. A los 15-20 días siguientes al nacimiento, la planta debe tener ya cinco o seis hojas, y en las primeras 4-5 semanas la planta deberá tener formadas todas sus hojas.

- ✓ **Floración:** A los 25-30 días de efectuada la siembra se inicia la panoja en el interior del tallo y en la base de éste. Transcurridas 4 a 6 semanas desde este momento se inicia la liberación del polen y el alargamiento de los estilos.

Se considera como floración el momento en que la panoja se encuentra emitiendo polen y se produce el alargamiento de los estilos. La emisión de polen dura de 5 a 8 días, pudiendo surgir problemas si las temperaturas son altas o se provoca en la planta una sequía por falta de riego o lluvias.

- ✓ **Fructificación:** con la fecundación de los óvulos por el polen se inicia el fructificación. Una vez realizada la fecundación, los estilos de la mazorca, vulgarmente llamados sedas, cambian de color, tomando un color castaño.

Transcurrida la tercera semana después de la polinización, la mazorca toma el tamaño definitivo, se forman los granos y aparece en ellos el embrión. Los granos se llenan de una sustancia leñosa, rica en azúcares, los cuales se transforman al final de la quinta semana en almidón.

- ✓ **Maduración y secado:** hacia el final de la octava semana después de la polinización, el grano alcanza su máximo de materia seca, pudiendo entonces considerarse que ha llegado a su madurez fisiológica. Entonces suele tener alrededor del 35% de humedad.

A medida que va perdiendo la humedad se va aproximando el grano a su madurez comercial, influyendo en ello más las condiciones ambientales de temperatura, humedad ambiente, etc., que las características varietales.

4. METODOLOGÍA

4.1.Ubicación

La granja experimental de la Universidad Surcolombiana se encuentra ubicada en el municipio de Palermo, en el departamento del Huila (Figura 8), en el distrito de riego del juncal a unos 5.0 Km de distancia del casco urbano del municipio de Neiva, capital del departamento, a unos 460 m.s.n.m. tiene como coordenadas geográficas los $2^{\circ}53'19,30$ n y los $75^{\circ}18'21,04$ latitud oeste y cuenta con una pendiente promedio del 5%.

El estudio se llevó a cabo en el lote C de maíz blanco DK 370 Referencia VTPRO-RR con una superficie de 5 Ha.

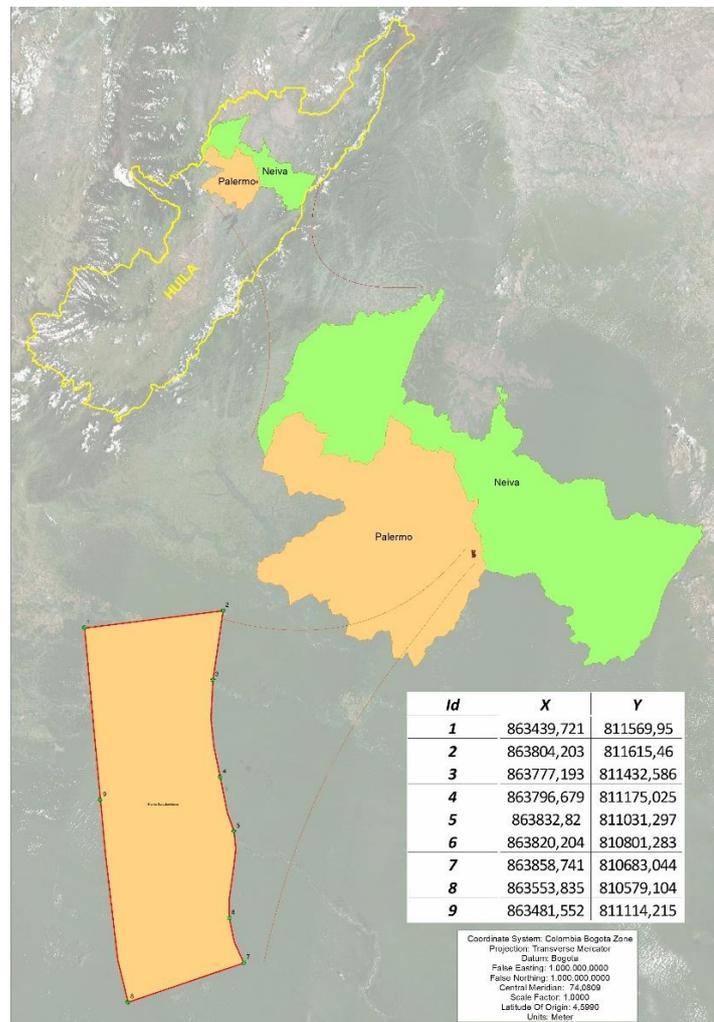


Figura 8: Ubicación.

4.2.Método

Diversas entidades internacionales han establecido metodologías para el cálculo de la huella de carbono, hasta el momento no existe una metodología generalizada para su estimación, pero se conocen algunas que dan orientaciones claras y precisas para su estimación, entre ellas:

- Protocolo de gases de efecto invernadero
- Normas ISO 14000
- Pas 2050
- Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de GEI.

El método de cálculo empleado es el de las directrices del IPCC para los inventarios de las emisiones de GEI.

Las Directrices del IPCC del 2006 para los inventarios de gases de efecto invernadero proporcionan una forma fácil y sencilla para clasificar los sectores y categorías de fuentes con base en los datos y los factores de emisión; las directrices del IPCC se resumen en 5 volúmenes:

- ✓ Volumen 1: Orientación general y generación de informes.
- ✓ Volumen 2: Energía.
- ✓ Volumen 3: Procesos industriales y uso de productos.
- ✓ Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra.
- ✓ Volumen 5: Desechos.

Su función principal consiste en analizar de forma exhaustiva, objetiva, abierta y transparente la información científica, técnica y socioeconómica relevante para entender los elementos científicos del riesgo que supone el cambio climático provocado por actividades antropogénicas, sus posibles repercusiones y las posibilidades de adaptación y atenuación del mismo. El IPCC realiza una evaluación periódica de los conocimientos sobre el cambio

climático, para ello elabora informes especiales y documentos técnicos sobre temas en los que se consideran necesarios la información y el asesoramiento científico e independiente y respalda la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) mediante su labor sobre las metodologías relativas a los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

Las directrices del (IPCC, Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, 2006) se basa en arboles de decisiones y niveles para poder escoger las ecuaciones necesarias para la estimación de la huella de carbono; los árboles de decisión orientan para escoger la metodología por niveles más adecuados a las circunstancias teniendo en cuenta la evaluación de las categorías.

Los niveles representan la complejidad metodológica; en general se muestran tres diferentes niveles, los niveles se basan en sus ecuaciones y en los factores utilizados, el Nivel 1 basa sus ecuaciones en factores estandarizados internacionalmente y están dados dentro el protocolo; el Nivel 2 los factores utilizados en sus ecuaciones se basan en datos del país donde se hace el análisis, y el Nivel 3 es el más complejo de todos ya que especifica que quien hace el análisis construya sus propios factores de emisión de acuerdo a sus necesidades y los recursos utilizados, estos Niveles 2 y 3 se consideran los más exactos.

Dentro de los cálculos para la estimación de la huella de carbono se considera una categorización de acuerdo a cada una de sus fuentes (World Business Council for Sustainable Development y World Resources Institute., 2001) para tener una mayor exactitud en el cálculo así:

- **Combustión fija:** combustión de combustibles en equipos estacionarios o fijos (bombeo de agua, etc.)
- **Combustión móvil:** combustión de combustibles en medios de transporte (automóviles, camiones, autobuses, tractores, etc.).

- **Emisiones de proceso:** emisiones de procesos físicos o químicos (el CO₂ de la etapa de producción de fertilizantes y pesticidas, etc.).
- **Emisiones fugitivas:** liberaciones intencionales y no intencionales (fugas en las uniones, sellos, empaques, o juntas de equipos, tratamiento de aguas residuales, torres de enfriamiento, plantas de procesamiento de gas, etc.).

Una vez teniendo la categorización de las fuentes, se identifica cuál de estas son directas e indirectas y se clasifican en; Alcance 1 para las emisiones directas expresadas en los datos de los combustibles comerciales consumidos (gas natural, diésel, gasolina, etc.), Alcance 2 para las emisiones indirectas basadas en el consumo de energía eléctrica y Alcance 3 las fuentes de otras emisiones indirectas.

Para las emisiones derivadas del uso de pesticidas y plaguicidas se utiliza la Metodología propuesta por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA); esta metodología desglosa una cantidad de ecuaciones que se basan en una serie de datos como los son el ingrediente activo, la presión de vapor, el tipo de formulación de cada ingrediente aplicado, la cantidad e ingrediente inerte así como la fracción o composición de VOCs (compuestos orgánicos volátiles) presente en la formulación del producto (Etiqueta), para la estimación de los GEI después de 30 días de aplicado teniendo en cuenta el factor de emisión para cada producto aplicado.

4.2.1. Alcances y Límites

Se deben tener en cuenta los límites organizacionales, es decir las actividades que son requeridas para la recolección de datos, de este modo las actividades de producción de maíz se reconocen como productoras de CO₂.

- Adecuación de tierra

- Siembra
- Control de malezas
- Fertilización
- Control de plagas y enfermedades
- Cosecha

Alcance 1: Por lo que se toman en cuenta las emisiones que provienen de la energía requerida, es decir, de la combustión de tractores y motores (límite operacional adecuación de tierras, siembra y cosecha) por la aplicación de sustancias químicas (fertilización, control de malezas, de plagas y enfermedades), la energía utilizada en el sistema de riego del predio.

Alcance 2: Incluye las emisiones de la generación de energía adquirida y consumida por la empresa, es decir la energía que es comprada dentro del límite organizacional.

4.2.2. Metodología del Cálculo de la Huella de Carbono.

Para el cálculo de la huella de carbono del cultivo se tuvo en cuenta todas las mediciones teóricas de las emisiones provenientes del consumo de energía por fuentes fijas y móviles, las áreas de fertilización, control de malezas y plagas. Para ello se realiza la descripción así.

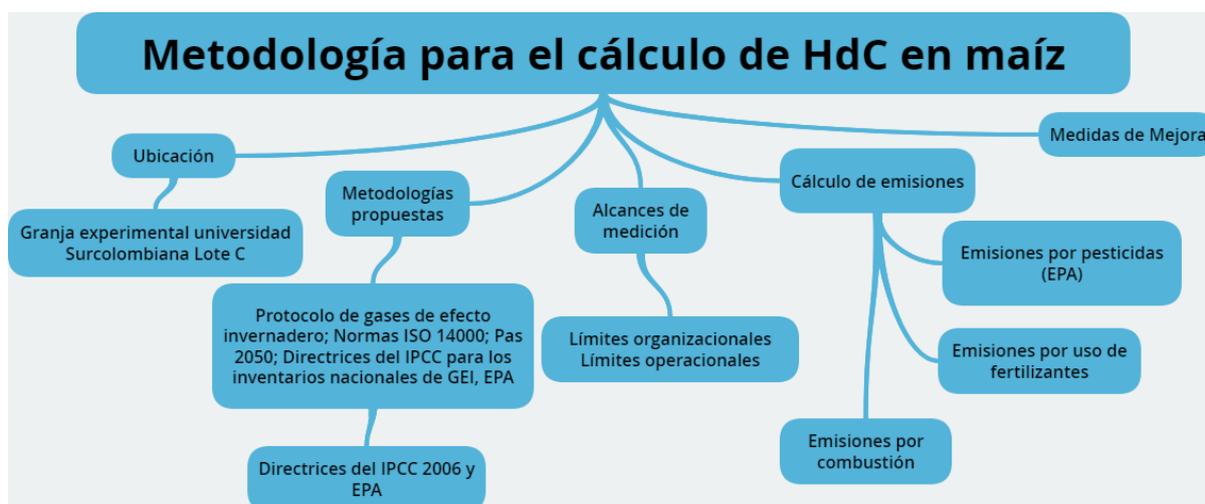


Figura 9: Diagrama de flujo, metodología para el cálculo de las emisiones de CO₂.

4.2.2.1. Emisiones por combustión móvil.

Para las emisiones procedentes por quema de combustible fósil en las directrices del IPCC de 2006 se hace posible su estimación partiendo de la cantidad de combustible consumido (puede ser combustible consumido o combustible vendido) o se estima por combustión móvil en la distancia recorrida por vehículos de tracción, en general para la determinación se presentan tres Niveles (I,II,III), de los cuales el método para calcular las emisiones por combustible vendido se hace más eficaz para el CO₂, y las emisiones por distancia recorrida se representan adecuadamente en CH₄ y NO₂.

Para el caso específico de las emisiones por combustión en la producción de maíz se dan por los gastos de combustible en la combustión móvil por el uso de tractores y motores los cuales en la IPCC se encuentra definido según las categorías y códigos como transporte todo terreno que abarca todo vehículo utilizado en agricultura, silvicultura, industria entre otros. Y las emisiones estacionarias ocurren por los combustibles quemados en bombas.

DIVISIÓN DETALLADA CORRESPONDIENTE AL SECTOR DE TRANSPORTE		
Código y Nombre		Explicación
I A 3	Transporte	Emisiones de la quema y evaporación de combustible para todas las actividades de transporte (a exclusión del transporte militar), independientemente del sector, especificado por las subcategorías que se presentan a continuación. Deben excluirse lo máximo posible, las emisiones de combustible vendido a cualquier aeronave o nave marítima dedicada al transporte internacional (I A 3 a j y I A 3 d i) de los totales subtotales de esta categoría; se debe declarar por separado.
I A 3 e ii	Todo terreno	Emisiones de quema de Otros transportes, a exclusión del transporte por tuberías.

Figura 10: Categoría, código y nombre de la maquinaria.

Fuente: IPCC, 2006

Establecida ya la categoría, se identifica el nivel para estimar las emisiones de CO₂, CH₄, y N₂O procedentes de la combustión en las fuentes móviles todo terreno, esto a través de la implementación de un árbol de decisión con los criterios para seleccionar el nivel y las ecuaciones a emplear, cada nivel despliega medidas específicas.

Para la estimación de las emisiones de CO₂ se basa en el tipo de combustible y la cantidad utilizada, el Nivel II determina las emisiones de CO₂ a partir del producto entre la cantidad de combustible gastado (estimado) y un factor de emisión de CO₂ utilizando la ecuación 1 (IPCC 2006), de donde se supone que para cada tipo de combustible la oxidación es total.

Ecuación 1: Estimación de emisiones: fuentes móviles de nivel 1.

$$Nivel\ I =\ emision_c = \sum [Combustible_j \times EF_j]$$

Donde:

Emisión = Emisiones de CO₂ (Kg).

Combustible j= consumo de combustible (TJ).

EFj = factor de emisión (Kg CO₂ /TJ).

J = tipo de combustible (p. ej., gasolina, Diesel, etc).

Tabla 3: Factores de emisión de Carbono y CO₂ por combustible (Kg/Gj)

Combustible	Estado	Factor de emisión (Kg C/GJ)	Factor de emisión (Kg CO ₂ /GJ)
Carbón	Sólido	26.8	94.53
Crudo	Líquido	20	73.28
Diesel	Líquido	20.2	74.01
Gasolina	Líquido	18.9	69.25
Kerosene		19.5	71.45
Gas propano GLP	Gas	17.2	63.02
Natural gas	Gas	15.3	56.06

Fuente: UPME Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero-Energética – UPME, 2009.

Para el cálculo del Dióxido de Carbono es necesario precisar la cantidad y el tipo de combustible quemado, después de establecer se identifica el nivel para estimar las emisiones de CO₂ procedentes de la combustión en las fuentes móviles todo terreno, a través de la

implementación de un árbol de decisión con los criterios para seleccionar el nivel y las ecuaciones a emplear (Figura 11).

La categoría propone tres diferentes niveles, cada uno con diferentes ecuaciones en función de datos, cada nivel presenta unos parámetros específicos. Teniendo como base la información y el árbol de decisión para estimar las emisiones procedentes de los vehículos todo terreno del IPCC, y la información recopilada por la bitácora del cultivo, el nivel más adecuado y escogido para la emisión de gases de los tres postulados es el nivel dos, donde cada tipo de emisión es determinado por su factor y se especifica el tipo de combustible y vehículo utilizado.

Para la utilización de la ecuación de nivel 2 se utiliza la información de la tabla 4 y se convierten las magnitudes de los parámetros dados, ya que el factor de emisión está dado en Kg C/ GJ (Kilogramos de carbono por giga joule), y el de la ecuación del IPCC está en TJ (Tera joules), diferencias que no alteran el resultado que finalmente está dado en Kg.

Después de conocer la cantidad de combustible consumido en cada una de las labores, se deben convertir las unidades, ya que en la ecuación se utilizan unidades de energía, para ello se debe conocer la cantidad de combustible en kilogramos, de este modo se debe utilizar el valor de la densidad del Diésel Colombiano y así realizar la conversión de unidades de volumen a unidades de masa.

Tabla 4: Factores de Emisión por combustión fija y móvil.

FUENTE DE EMISION		FACTORES DE EMISION								
		CO ₂			CH ₄			N ₂ O		
		Por defecto (Kg CO ₂ /TJ)	Superior	Inferior	Por defecto (Kg CO ₂ /TJ)	Superior	Inferior	Por defecto (Kg CO ₂ /TJ)	Superior	Inferior
COMBUSTION FIJA	GASOLINA	74100	72600	74800	10	3	30	0,6	0,2	2
	GASOLINA	69300	69300	69300	33	9,6	110	3,2	0,96	11
COMBUSTION MOVIL	DIESEL	74100	72600	74800	4,15	1,67	10,4	28,6	14,3	85,8

Fuente: Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

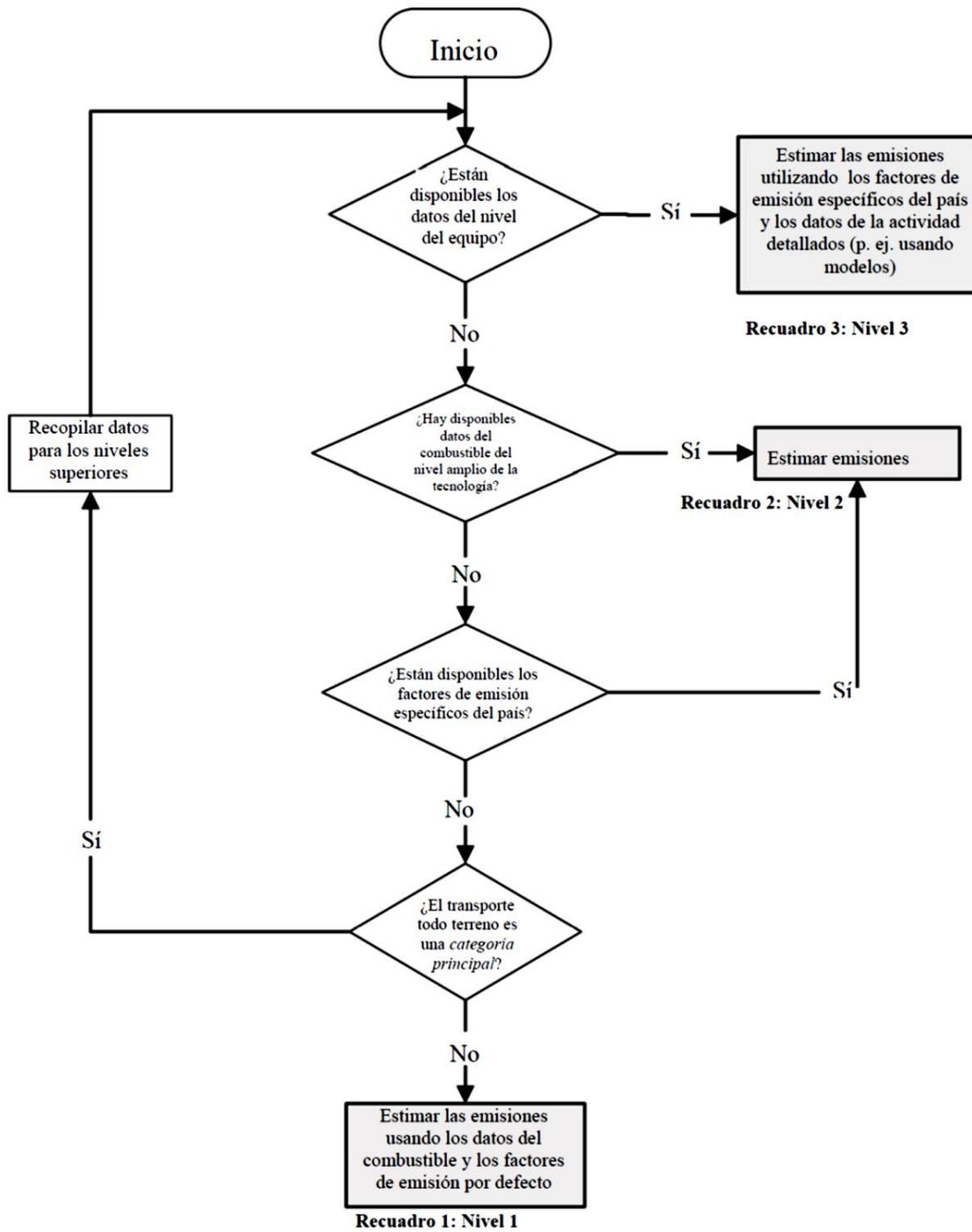


Figura 11: Árbol de decisión para escoger el nivel y ecuación para el cálculo de las emisiones de CO₂ para el consumo de combustible.

Fuente: IPCC, 2006.

Para el desarrollo de la ecuación 1 se debe conocer la cantidad de energía por unidad de masa (kilogramos) del diésel cuando se produce la combustión, esto se conoce como poder

calorífico de la sustancia, para el caso de Colombia, según la UPME, es de 44.715 Kj/Kg, con lo que se calcula el combustible consumido en Kilo Joules (Kj).

Cuando se tiene el consumo de combustible, se puede calcular las emisiones de fuentes móviles utilizando la ecuación de nivel 2 propuesta por el IPCC.

Debido a que la ecuación está determinada para unidades diferentes, se realiza la conversión a GJ y se multiplica por el factor de emisión del diésel, el resultado estará dado en unidades de masa de CO₂ emitido por cada labor, este mismo procedimiento se realiza para la adecuación de tierra, la siembra y la cosecha.

4.2.2.2. Emisiones por uso de pesticidas.

La calidad del aire es una medida de la cantidad de contaminantes en nuestra atmósfera, lo que incluye el aire interior y exterior. Los pesticidas en la agricultura y entornos urbanos tienen el potencial de contaminar nuestro aire, afectando la salud humana, animal y vegetal. Algunos ingredientes en pesticidas permanecen en la atmósfera solo por un período corto de tiempo, mientras que otros pueden durar más tiempo. Los pesticidas liberados al aire pueden depositarse en el suelo, ser descompuestos por la luz solar y el agua en la atmósfera, o disiparse en el aire circundante.

Los pesticidas son sustancias o mezclas empleadas ampliamente para el control de malezas y animales en la agricultura, por los propietarios de las haciendas, en la industria y por agencias gubernamentales. El mayor uso de productos químicos con actividad pesticida, de "ingrediente activo" (AI) en peso se encuentra en la agricultura. Los pesticidas agrícolas se utilizan para el control rentable de las malas hierbas, insectos, ácaros, hongos, nematodos y otras amenazas para el rendimiento, la calidad o la seguridad de los alimentos.

Los métodos de aplicación de plaguicidas varían de acuerdo con la plaga objetivo y para el cultivo u otro valor a proteger. En algunos casos, el plaguicida se aplica directamente a la

plaga, y en otros directamente en la planta. En otros aún, se utiliza en el suelo o en un espacio de aire cerrado. Los tipos de formulaciones de los pesticidas son secos, líquidos, y aerosol.

Para las emisiones derivadas del uso de pesticidas y plaguicidas se utiliza la Metodología propuesta por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA); esta metodología desglosa una cantidad de ecuaciones que se basan en una serie de datos como los son el ingrediente activo, la presión de vapor, el tipo de formulación de cada ingrediente aplicado, la cantidad de ingrediente inerte así como la fracción o composición de VOCs (compuestos orgánicos volátiles) presente en los ingredientes inertes, para la estimación de los GEI después de 30 días de aplicado teniendo en cuenta el factor de emisión para cada producto aplicado.

En la cadena de pasos para la estimación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles se procede de la siguiente manera:

1. Determinar el método de aplicación y la cantidad de producto aplicado.
2. Determinar el tipo de formulación utilizado.
3. Determinar los Ingredientes Activos (IA) especificados en la fórmula y la presión de vapor de cada uno.
4. Determinar el porcentaje (%) de IA presente en cada producto aplicado.
5. Determinar los compuestos orgánicos volátiles que contiene la formulación.
6. Ejecución de los cálculos de emisión.

Las fuentes de emisión proporcionados por la EPA para los VOCs presentes en cada uno de los ingredientes activos de los pesticidas están aplicados a los diferentes rangos de presión de vapor (Ver tabla 5). Para el cálculo se emplea las ecuaciones 2, 3 y 4.

Ecuación 2: Ecuación Material Inerte.

$$MI = [(CpXiA) - CP]$$

Donde:

MI: Materia inerte (Kg).

Cp: Consumo total de pesticidas (Kg).

iA : Cantidad de ingrediente activo (Kg).

Tabla 5: Factores de emisión para VOCs de los ingredientes activos de los pesticidas

RANGO DE PRESIÓN DE VAPOR	FACTOR DE EMISIÓN
TEMPERATURA DE 20-25° C (mm- Hg)	Kg/ T ingrediente activo aplicado
Esparcido superficial	
1 x 10 ⁻⁶ hasta 1 x 10 ⁻⁴	350
>1 x 10 ⁻⁴	580
Aplicación a suelos	
<1 x 10 ⁻⁶	2,7
1 x 10 ⁻⁶ hasta 1 x 10 ⁻⁴	51
>1 x 10 ⁻⁴	52

Fuente: AP-42, Capítulo 9.2.2 “Pesticide Application”, tabla 9.2.2-4.

Ecuación 3: Cantidad de VOCs presentes en el material inerte.

$$E_{VOCs}(inerte)_{30días} = \%prom\ vocs * MI$$

Donde:

%prom VOCs: Porcentaje promedio de VOCs (ver tabla 6).

Tabla 6: Porcentaje de VOCs presente en los ingredientes inertes de los pesticidas dado por el tipo de formulación.

Tipo de Formulación	Porcentaje de VOC contenido en el material inerte (%)
Aceite	66
Solución líquida lista para usar	20
Emulsión concentrada	56
Concentrado acuoso	21
Gel, pasta, crema	40
Gas presurizado	29
Micro-capsulas	23
Líquido presurizado, sprays, dispersores	39
Polvo soluble	12
Material impregnado	38
Pellets, briquetas, tortas o tabletas	27
Polvo mojable, granulados u hojuelas	25
Suspensión	15
Pinturas o recubrimientos	64

Fuente: AP-42, Capítulo 9.2.2 “Pesticide Application”, tabla 9.2.2-3.

Ecuación 4: Emisión de VOCs del pesticida.

$$E_{VOCs}(pesticida)_{30días} = (FE * (Cp \times iA)) + E_{VOCs}(inerte)_{30días}$$

Donde:

FE: factor de emisión para VOCs provenientes del ingrediente activo. (Kg/t iA) (Ver tabla 5).

4.2.2.3. Emisiones por aplicación de fertilizantes

Teniendo en cuenta las directrices del IPCC 2006, en su volumen 4 brinda orientaciones para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector de agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU, por sus siglas en inglés) brinda una serie de ecuaciones con diferentes niveles de cálculo para cada tipo de cultivo gestionado con fertilizantes.

En las directrices del IPCC en el Capítulo 11 del Volumen 4, se proporciona una descripción de las metodologías genéricas a adoptar para el inventario de emisiones de óxido nitroso (N₂O) de suelos gestionados, incluidas las emisiones indirectas de N₂O de los agregados de N a la tierra, debidos a deposición y lixiviación, así como las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) producidas por los agregados de materiales de encalado y de fertilizantes con contenido de urea.

Por lo tanto, se estiman las emisiones de N₂O utilizando agregados de N a los suelos inducidos por el nombre (p. ej., fertilizantes sintéticos u orgánicos); las emisiones se calculan tanto indirecta como directamente y también se determinan las emisiones de N₂O por la utilización de fertilizantes con contenidos de urea.

4.2.2.3.1. Emisiones directas de N₂O.

Dentro de la metodología del IPCC 2006 para las emisiones directas de N₂O se incluye el aumento de N disponible que pueden producirse por agregados de N inducidos por el hombre o por cambios en el uso de la tierra y/o en las prácticas de gestión que mineralicen el N orgánico del suelo. La metodología incluye fuentes como:

- Fertilizantes de N sintético
- N orgánico aplicado como fertilizante (p. ej., estiércol animal, compost, lodos cloacales, desechos)
- N de la orina y el estiércol depositado en las pasturas, praderas y prados por animales de pastoreo
- N en residuos agrícolas (aéreos y subterráneos), incluidos los cultivos fijadores de N y de forrajes durante la renovación de las pasturas
- La mineralización de N relacionada con la pérdida de materia orgánica del suelo como resultado de cambios en el uso de la tierra o en la gestión de suelos minerales
- El drenaje/la gestión de suelos orgánicos.

Pero para efectos de la determinación de estas emisiones solo se tiene en cuenta, el manejo de fertilizantes de N sintético ya que solo se emplea en la producción del cultivo del maíz.

Ecuación 5: Emisiones directas de N₂O de suelos gestionados (Nivel 1).

Fuente: IPCC, 2006.

$$N_2O_{Directas} - N = N_2O - N_{N\ aportes} + N_2O - N_{os} + N_2O - N_{PRP}$$

Dónde:

$$N_2O - N_{N\ aportes} = \left[\frac{[(F_{sn} + F_{ON} + F_{CR} + F_{som}) * EF_1] + [(F_{sn} + F_{ON} + F_{CR} + F_{som})]_{FR} * EF_{1FR}}{1} \right]$$

$$N_2O - N_{os} = \left[\frac{(F_{OS,CG,Temp} * EF_{2CG,Temp}) + (F_{OS,CG,Temp} * EF_{2CG,Temp}) + (F_{OS,F,temp,NR} * EF_{2F,Temp,NR}) + (F_{OS,F,Temp,NP} * EF_{2F,Temp,NP}) + (F_{OS,F,Temp} * EF_{2F,Temp})}{1} \right]$$

$$N_2O - N_{PRP} = [(F_{PRP, CPP} * EF_{3PRP, CPP}) + (F_{PRP, SO} * EF_{3PRP, SO})]$$

De donde:

$N_2O_{Directas} - N$ = Emisiones directas anuales de N₂O–N producidas a partir de suelos gestionados, Kg N₂O–N año.

$N_2O - N_{N\ aportes}$ = Emisiones directas anuales de N₂O–N producidas por aportes de N a suelos gestionados, Kg N₂O–N año.

$N_2O - N_{os}$ = Emisiones directas anuales de N₂O–N de suelos orgánicos gestionados, Kg N₂O–N año.

$N_2O - N_{PRP}$ = Emisiones directas anuales de N₂O–N de aportes de orina y estiércol a tierras de pastoreo, Kg N₂O–N año.

En estos suelos, no se tiene datos de aportes de orina o estiércol aplicado directamente y tampoco son de suelos orgánicos, pues se gestionan con abonos de compuestos químicos, así que la ecuación se resumiría a la mínima expresión siendo

Ecuación 6: Emisiones directas anuales de N₂O–N producidas por aportes de N a suelos gestionados.

$$N_2O_{Directas} - N = N_2O - N_{N\ aportes}$$

$$N_2O - N_{aportes}N = [(F_{SN} X EF_1)]$$

Dónde:

F_{SN} = Cantidad de N aplicado a los suelos en forma de fertilizante sintético, Kg.

EF_1 =Factor de emisión para emisiones de N₂O de aportes de N, Kg N₂O –N (Kg aporte de N)

Tabla 7.

Posteriormente se realiza la conversión de emisiones de N₂O –N en emisiones de N₂O, se realiza empleando la siguiente ecuación:

Ecuación 7: Ecuación de conversión de N₂O-N en N₂O.

$$N_2O = N_2O - N * 44/28$$

Después de desarrollar la ecuación /, se multiplica por el potencial de calentamiento global que se encuentra en la tabla 8.

Tabla 7: Factores de emisión.

FACTORES DE EMISION POR DEFECTO PARA ESTIMAR LAS EMISIONES DIRECTAS DE N ₂ O DE LOS SUELOS GESTIONADOS		
Factor de emisiones	Valor por defecto	Rango de incertidumbre
EF1 para aporte de N de Fertilizantes minerales, abonos orgánicos y residuos agrícolas, y N mineralizado de suelos minerales a casua de perdida de carbono del suelo [Kg N ₂ O-N (KgN)-1]	0,01	0,003-0,03

Fuente: IPCC, 2006.

Tabla 8: Potencial de calentamiento global en unidades de CO₂ – Eq para diferentes GEI.

Nombre	Formula Química	Potencial de calentamiento Global (PGC ó GWP)
Dióxido de Carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	21
Óxido Nitroso	N ₂ O	310
Tetrafluoruro de Carbono (PFC)	CF ₄	6.500
Hexafluoruro de Carbono (PFC)	C ₂ F ₆	9.200
Hexafluoruro de azufre	SF ₆	23.900
Trifluorometano	HFC-23	11.700
Difluorometano	HFC-32	650
Pentafluoroetano	HFC-125	2.800
Trifluoroetano	HFC-143a	3.800
Difluoroetano	HFC-152a	140
Tetrafluoroetano	HFC-134a	1.300

Fuente: IPCC, 2006.

4.2.2.3.2. Emisiones indirectas de N₂O.

Además de las emisiones directas N₂O en suelos gestionados, también tienen lugar las emisiones de N₂O por vías indirectas, una de las maneras es la volatilización de N como NH₃ y óxidos de N (NO_x), y la deposición de estos gases y de sus productos NH₄⁺ y NO₃⁻ sobre los suelos. Las fuentes de N como NH₃ y NO_x no se limitan a los fertilizantes y abonos agrícolas, sino que incluyen también la combustión de combustible fósil, el quemado de biomasa. La segunda vía es la lixiviación y el escurrimiento desde la tierra de N de agregados de fertilizantes sintéticos y orgánicos, residuos agrícolas principalmente en forma de NO₃ (IPCC 2006), para la escogencia se sigue el árbol de decisión sugerido por el IPCC donde se deben de tener en cuenta datos específicos del país, es decir, factores de emisión propios del país o los definidos por defecto en el IPCC, como no se disponen de datos detallados para el desarrollo de las ecuaciones de los niveles 2 y 3, se procede a calcular las emisiones por la ecuación de nivel 1 donde se tiene en cuenta los factores de emisión dispuestos por el IPCC:

Ecuación 8: N₂O producido por deposición atmosférica de N volatilizado de suelos gestionados (Nivel 1)

$$N_2O_{(ATD)} - N = [(F_{SN} * Frac_{GASF}) + ((F_{ON} + F_{PRP}) * FRAC_{GASM})] * EF_4$$

Dónde:

F_{SN} = Cantidad anual de N de fertilizante sintético aplicado a los suelos, Kg N año⁻¹.

$N_2O_{(ATD)} - N$ = Cantidad anual de N₂O–N producida por deposición atmosférica de N volatilizado de suelos gestionados, Kg N₂O–N año⁻¹.

EF_2 = factor de emisión correspondiente a las emisiones de N₂O de la deposición atmosférica de N en los suelos y en las superficies del agua [Kg N– N₂O (Kg NH₃–N + NO_x–N volatilizado)].

$Frac_{GASF}$ = fracción de N de fertilizantes sintéticos que se volatiliza como NH₃ y NO_x, Kg N volatilizado (Kg de N aplicado).

F_{ON} = cantidad anual de estiércol animal gestionado, compost, lodos cloacales y otros agregados de N orgánico aplicada a los suelos, Kg N año-1.

F_{PRP} = cantidad anual de N de la orina y el estiércol depositada por animales de pastoreo en pasturas, prados y praderas, Kg N año-1.

$FRAC_{GASM}$ = Fracción de materiales fertilizantes de N orgánico (FON) y de N de orina y estiércol depositada por animales de pastoreo (FPRP) que se volatiliza como NH_3 y NO_x , Kg N volatilizado (Kg de N aplicado o depositado)-1.

Simplificando la ecuación por el no uso de estiércol y de orina como fertilizantes la ecuación es:

Ecuación 9: N_2O producido por deposición atmosférica de n volatilizado de suelos gestionados (Nivel 1) (simplificada).

$$N_2O(ATD) - N = [(F_{SN} \times Frac_{GASF}) \times EF_4]$$

Donde:

La conversión de emisiones de $N_2O(ATD)-N$ en emisiones de N_2O se realiza mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 10: Conversión a emisiones de N_2O

$$N_2O(ATD) = N_2O(ATD)-N \cdot \frac{44}{28}$$

Para las emisiones a causa de lixiviación y escurrimiento se emplean las ecuaciones:

Ecuación 11: Emisiones de N_2O por lixiviación/escurrimiento de N de suelos gestionados en regiones donde se producen estos fenómenos.

$$N_2O_{(L)} - N = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{CR} + F_{SOM}) \cdot Frac_{LIXIVIACION-(H)} \cdot EF_5$$

De donde:

$N_2O_{(L)} - N$ = cantidad anual de N_2O-N producida por lixiviación y escurrimiento de agregados de N a suelos gestionados en regiones donde se producen estos fenómenos, Kg N_2O-N año-1.

F_{SN} = cantidad anual de N de fertilizantes sintéticos aplicada a los suelos en regiones donde se produce lixiviación/escurrimiento, Kg N año-1.

F_{ON} = cantidad anual de estiércol animal gestionado, compost, lodos cloacales y otros agregados de N orgánico aplicada a los suelos en regiones donde se produce lixiviación/escurrimiento, Kg N año-1.

F_{PRP} = cantidad anual de N de la orina y el estiércol depositada por los animales en pastoreo en regiones donde se produce lixiviación/escurrimiento, Kg N año-1.

F_{CR} = cantidad de N en los residuos agrícolas (aéreos y subterráneos), incluyendo los cultivos fijadores de N y de la renovación de forraje/pastura, devuelta a los suelos anualmente en regiones donde se produce lixiviación/escurrimiento, Kg N año-1.

F_{SOM} = cantidad anual de N mineralizado en suelos minerales relacionada con la pérdida de C del suelo de la materia orgánica del suelo, como resultado de cambios en el uso o la gestión de la tierra en regiones donde se produce lixiviación/escurrimiento, Kg N año-1.

$Frac_{LIXIVIACION-(H)}$ = fracción de todo el N agregado a/mineralizado en suelos gestionados en regiones donde se produce lixiviación/escurrimiento, Kg N (Kg de agregados de N)-1.

EF_3 = factor de emisión para emisiones de N_2O por lixiviación y escurrimiento de N, Kg N_2O-N (Kg N por lixiviación y escurrido)-1.

Simplificando la ecuación:

Tabla 9: Factores de emisión, volatilización y lixiviación por defecto para emisiones indirectas de N₂O

Factor	Valor por defecto	Rango de incertidumbre
EF4 [volatilización y re-deposición de N], Kg N₂O-N (Kg NH₃-N + NO_x-N volatilizado)-1	0,01	0,002 - 0,05
EF5 [lixiviación/escorrimento], Kg N₂O-N (Kg N lixiviación/escorrimento) -1	0,0075	0,0005 - 0,025
FracGASF [Volatilización de fertilizante sintético], (Kg NH₃-N + NO_x-N) (Kg N aplicado) -1	0,1	0,03 - 0,3
FracGASM [Volatilización de todos los fertilizantes de N orgánicos aplicados, y de estiércol y orina depositados por animales en pastoreo], (Kg NH₃-N + NO_x-N) (Kg N aplicado o depositado) -1	0,2	0,05 - 0,5
FracLIXIVIACIÓN-(H) [pérdidas de N por lixiviación/escorrimento en regiones donde Σ (lluvia en la estación lluviosa) - Σ (EP en el mismo período) > capacidad de retención del agua del suelo, O donde se emplea irrigación (excepto por goteo)], Kg N (Kg N agregado o por deposición de animales en pastoreo)-1	0,3	0,1 - 0,8

Ecuación 12: Emisiones de N₂O por lixiviación/escorrimento de N de suelos gestionados en regiones donde se producen estos fenómenos, simplificada.

$$N_2O(L)-N = (F_{SN})XFrac_{Lixiviacion-(H)} \cdot EF_5$$

$N_2O(L)-N$ = cantidad anual de N₂O -N producida por lixiviación y escurrimiento de agregados de N a suelos gestionados en regiones donde se producen estos fenómenos, Kg N₂O -N.

$(F_{SN})XFrac_{Lixiviacion-(H)}$ = fracción de todo el N agregado a/mineralizado en suelos gestionados en regiones donde se produce lixiviación/escorrimento, Kg N (Kg de agregados de N) (Ver tabla 5).

EF_5 = factor de emisión para emisiones de N₂O por lixiviación y escurrimiento de N, Kg N₂O-N (Kg N por lixiviación y escurrido).

La conversión de emisiones de N₂O (L)-N en emisiones de N₂O a los efectos de la declaración se realiza empleando la siguiente ecuación:

$$N_2O(L) = N_2O(L)-N \cdot 44/28$$

Ecuación 13: Conversión de emisiones de N₂O(L)-N en emisiones de N₂O.

4.2.2.3.3. Emisiones de CO₂ por aplicación con Urea.

Al gestionar los suelos con urea durante la fertilización conduce a una pérdida de CO₂ que se fija en el proceso de producción industrial. La urea (CO(NH₂)₂) se convierte en amonio (NH₄⁺), ion hidroxilo (OH⁻), y bicarbonato (HCO₃⁻) en presencia de agua y de enzimas de ureasa. Los inventarios pueden desarrollarse empleando métodos de Niveles 1, 2 o 3; cada uno de los sucesivos Niveles requiere más detalles y recursos que el anterior (IPCC 2006).

Las emisiones de CO₂ por la fertilización con urea pueden estimarse mediante la Ecuación de Nivel 1.

Ecuación 14: Emisiones de CO₂ por aplicación de urea.

$$CO_2 - C_{Emission} = M \cdot EF$$

Donde:

M = cantidad de fertilización con urea, (Kg urea)

EF = factor de emisión, ton de C (Kg de urea)

El Nivel 1 plantea tres pasos para la determinación de emisiones representadas en CO₂-C, donde el primero es conocer la totalidad de urea aplicada en el suelo, el segundo es escoger el factor de emisión, que por defecto para el nivel 1 es 0,2 para urea, que es equivalente al contenido de carbono de la urea sobre el peso atómico, (20% para CO(NH₂)₂). (IPCC 2006).

Se hace una conversión de las emisiones calculadas en $CO_2 - C_{Emision}$ a emisiones de CO_2 utilizando el factor $\frac{44}{12}$.

Ecuación 15: Convertir las emisiones de $CO_2 - C$ en CO_2 .

$$CO_2 = CO_2 - C_{Emision} \cdot \frac{44}{12}$$

4.2.2.4. *Calculo de las emisiones totales de GEI*

Las emisiones totales de GEI, se calcula sumando cada una de las emisiones parciales así:

Ecuación 16: Emisiones totales de GEI.

$$Emisiones_{Totales} = Emisiones_{Combustibles} + Emisiones_{Pesticidas} + Emisiones_{Fertilizantes}$$

Donde,

Emisión total: Emisiones de GEI totales [Kg CO_2 -eq.].

Emisión combustible: emisiones de CO_2 , por uso de combustibles en fuentes móviles y fijas.

Emisión fertilizante: emisiones de C_2O por uso y aplicación de fertilizantes (incluye emisiones directas e indirectas, y aplicación de urea).

Emisiones pesticidas: emisiones de VOCs por aplicación de pesticidas.

Tabla 10: Factores de emisión por defecto para estimar las emisiones directas de N₂O de los suelos gestionados

Fertilizantes Nitrogenados	
F1 Para aportes de N de fertilizantes minerales.	0,01(Kg N ₂ O-N/(KgN))
FACTORES DE EMISIÓN, VOLATILIZACIÓN Y LIXIVIACIÓN POR DEFECTO PARA EMISIONES INDIRECTAS DE N₂O DEL SUELO	
EF4 = factor de emisión correspondiente a las emisiones de N₂O de la deposición atmosférica de N en los suelos y en las superficies del agua.	0,010 Kg N ₂ O-N / (Kg NH ₃ -N + NO _x -N volatilizado)
EF5 = factor de emisión para emisiones de N₂O por lixiviación y escurrimiento de N, Kg N₂O-N.	0,0075Kg N ₂ O-N /Kg N lixiviación/escurrimiento
FracGASF = fracción de N de fertilizantes sintéticos que se volatiliza como NH₃ y NO_x, Kg N volatilizado (Kg de N aplicado.	0,1Kg N de agregados de N / Kg N aplicado
FracLIXIVIACIÓN-(H): fracción de todo el N agregado a/mineralizado en suelos gestionados en regiones donde se produce lixiviación/escurrimiento.	0,3 Kg N Kg de agregados de N / Kg de N aplicado o depositado

Fuente: Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

4.2.3. Medidas de mejora.

Después de un análisis e interpretación de datos de cada una de las actividades contaminantes, exponiendo las razones de los resultados obtenidos en el desarrollo del cultivo de maíz, se disponen a diseñar unas medidas de mejora en base a la huella de carbono generada en el cultivo.

La huella de carbono es útil para conocer las emisiones de GEI generadas por cada actividad, brinda la posibilidad para actuar sobre cada una de ellas, estableciendo medidas de mejora para reducir la cantidad de emisiones, ya que sin los inventarios de GEI, se hace compleja la gestión de la actividad.

Por medio del cálculo de la huella de carbono se reconocen las fuentes de emisión y de este modo se identifican cuáles son los puntos críticos y así definir de una forma más precisa la posible reducción de consumo.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Inventario de GEI

En el cultivo de Maíz, las actividades que generan emisiones de gases de efecto invernadero son: la adecuación de tierra, la siembra, control de malezas, fertilización, control de plagas y cosecha.

5.2. Emisiones por combustión en fuentes móviles.

Las emisiones de GEI provenientes de las fuentes móviles están relacionadas con el consumo de combustible en las labores de adecuación de terreno, siembra y cosecha. Los valores de consumo son galones, en el Anexo 2 se evidencia el combustible empleado en cada una de las actividades en el lote de maíz.

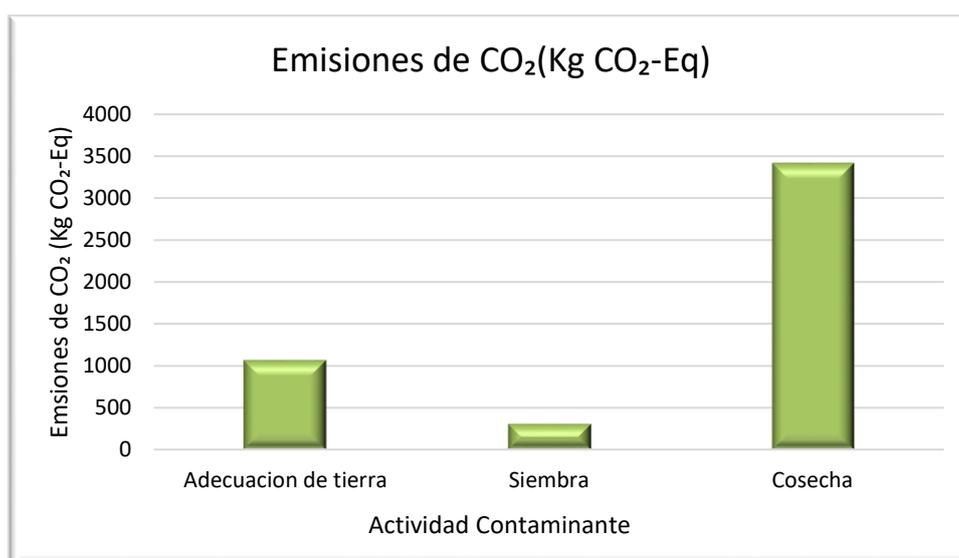


Figura 12: Emisiones de CO₂ (Kg CO₂-Eq)

Para desarrollar la ecuación 1, se extrae la información del Anexo 1, que fue suministrada por el encargado del cultivo de maíz y se infiere que para la adecuación del terreno se consumieron 98,8 gl, para la siembra 28,4 gl y para la cosecha 315 gl.

Según la Unidad de Planeación Minero Energética, tenemos que:

$$\rho_{diesel} = \frac{0,865Kg}{Lt}$$

Se sabe que 1 galón es igual a 3,7854118 litros y partiendo de que la densidad relaciona masa y volumen se obtiene el peso del combustible utilizado en una hectárea por cada una de las actividades:

$$V_{diesel} = 98,8 \text{ gl} * 3,785 \text{ litros/gl}$$

$$V_{diesel} = 374 \text{ lt}$$

Conociendo el volumen utilizado en litros de diésel para la adecuación del terreno se procede a conocer su peso en Kg:

$$m_{diesel} = \frac{0,865Kg}{L} * 374 \text{ Lt}$$

$$m_{diesel} = 323,5 \text{ Kg}$$

Para la resolución de la ecuación 1 se debe conocer la cantidad de energía por unidad de masa (kilogramos) del diésel cuando se produce la combustión, esto se conoce como poder calorífico de la sustancia, para el caso de Colombia, según la UPME, es de 44.715 kJ/Kg, con lo que se puede calcular el combustible consumido en kilo Joules (kJ).

$$\text{Combustible consumido} = 323,5kg * 44.715 \frac{Kj}{Kg}$$

$$\text{Combustible consumido} = 14.465.302,5 \text{ Kj}$$

Conociendo el consumo de combustible, se calculan las emisiones de fuentes móviles utilizando la ecuación de nivel 2 propuesta por el IPCC.

$$\text{Emisiones} = 14.465.302,5 \text{Kj} * \frac{10^{-6} \text{GJ}}{\text{kJ}} * 74,1 \frac{\text{CO}_2}{\text{GJ}}$$

$$\text{Emisiones} = 1070,58 \text{ Kg CO}_2$$

Debido a que la ecuación está determinada para unidades diferentes, se realiza la conversión a Giga Joules (GJ) y se multiplica por el factor de emisión del diésel y el resultado está dado en unidades de masa de CO₂ emitido por cada labor, este mismo procedimiento se realiza para la siembra y la cosecha.

$$\text{Emisiones por siembra} = 307,7702 \text{ KgCO}_2$$

$$\text{Emisiones por cosecha} = 3413,271 \text{ KgCO}_2$$

Después de desarrollar la ecuación 1, Según la figura 12, la actividad contaminante que más emisiones arroja a la atmosfera en Kg de CO₂-Eq es la cosecha con 3413,27 Kg CO₂-Eq total del cultivo y 682,65 Kg CO₂-Eq/Ha, después se encuentra la adecuación de tierras con 1070,58 Kg de CO₂-Eq total del cultivo y 214,12 Kg de CO₂-Eq/Ha y por último, la menos contaminante por emisiones de combustión móvil es la siembra con 307,77 Kg de CO₂-Eq total del cultivo y 61,55 Kg de CO₂-Eq/Ha. Las emisiones totales por el uso de combustible fueron 4791,62 Kg CO₂-Eq total del cultivo y 958,34 Kg CO₂-Eq/Ha, después del desarrollo de la ecuación 1, se multiplica por el PCG del CO₂ que para este caso es 1, pues se está hablando del mismo gas, esto con el fin de obtener emisiones en CO₂-Eq, al igual que se realiza con el CH₄ y el NO₂, otros gases contaminantes por consumo de combustible.

Al considerar las otras actividades contaminantes, como la aplicación de fertilizantes y la aplicación de plaguicidas; El porcentaje total contaminante con respecto a las otras actividades realizadas en el cultivo, para las emisiones por combustión móvil es del 43,1%.

Tabla 11: Emisiones de CO₂-Eq en consumo de combustible

Lote C	AREA	Consumo de Diesel (Kg)	Poder Calorífico (Kj/Kg)	Consumo de Energía en Kj	Factor de Conversión (Gj/Kj)	Factor de Emisión (Kg CO ₂ /Gj)	Emisiones (Kg CO ₂ -Eq)
Adecuación de tierra	5Ha	323,5	44715	14465302,5	1,00E-06	74,01	1070,58
Siembra	5Ha	93	44715	4158495	1,00E-06	74,01	307,77
Cosecha	5Ha	1031,4	44715	46119051	1,00E-06	74,01	3413,27

5.3.Emisiones por aplicación de pesticidas.

Las emisiones por compuestos orgánicos volátiles (VOC) que producen los pesticidas (herbicidas, insecticidas y coadyuvantes) utilizados en el cultivo de maíz de la granja experimental de la Universidad Surcolombiana se observan en la figura 13, en ella se analiza que el insecticida Round Up Brío es el de mayor emisión (8,73 Kg EVOCs total del cultivo y 1,75 Kg EVOCs/Ha), esto se debe a que este herbicida tuvo una aplicación superficial, su ingrediente activo (IA), el glifosato, está en una proporción del 75% de contenido (Etiqueta) y de acuerdo con la presión de vapor del IA, se determinó que su factor de emisión es de 350 Kg/T, además, una cantidad muy alta (27,9 Kg) fue aplicada en él cultivo, por otro lado, el insecticida Raudo es el que posee menor emisión (0,037 Kg EVOCs total del cultivo y 0,0074 Kg EVOCs/Ha) debido a que este producto fue aplicado en el suelo y/o en poca cantidad (0,625 Kg) al cultivo, su ingrediente activo es el Imidacloprid, el cual, también está en un contenido de 73% en la etiqueta, pero por su baja presión de vapor y su método de aplicación se determinó que su factor de emisión es de 2,7 Kg/T.

Los pesticidas según su forma de aplicación (superficial o en el suelo), y las presiones de vapor de sus ingredientes activos, determinan el factor de emisión, de lo que se puede concluir que los pesticidas aplicados a la superficie son más contaminantes.

De acuerdo con los cálculos realizados para la determinación de las emisiones de VOC, se encontró que el valor total de emisión para los pesticidas es de 17,72 Kg de VOCs total del cultivo y de 3,54 Kg de VOCs /Ha. En la tabla 12 se observan los cálculos realizados para la determinación de las emisiones de los pesticidas.

El cálculo de las emisiones producidas por el uso de pesticidas tiene un valor del 0,15% respecto a las emisiones totales calculadas para el cultivo de maíz de la granja experimental de la Universidad Surcolombiana. (Ver figura 16).

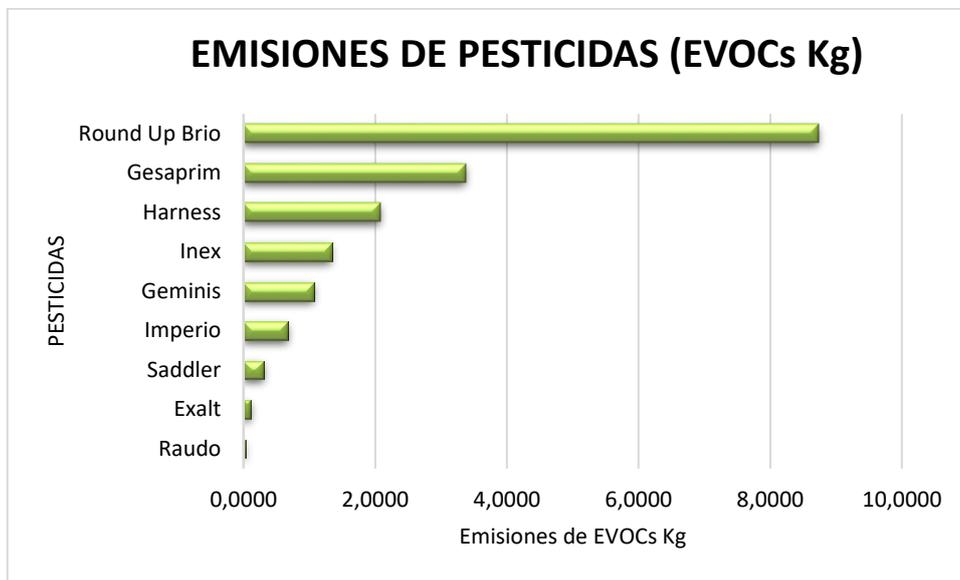


Figura 13: Emisiones de EVOCs de herbicidas (Kg)

Tabla 12: Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC) de pesticidas

Producto	Cantidad Total Aplicada	Cantidad Total (Kg)	Cantidad de componente activo	EVOCS (inerte) (Kg)	Cantidad de Ingrediente Activo (IA) (Ton)	EVOCS (IA) (Kg)	EVOCS (Total Predio Kg)	EVOCS TOTAL (Kg)	
INSECTICIDAS									
Saddler	2 Lt	2,248	0,7868 Kg de Thiocard	0,3069	0,0009	0,0021	0,3090	0,31	de Saddler
Raudo	0,5 Lt	0,625	0,45625 Kg de Imidacloprid	0,0358	0,0005	0,0012	0,0371	0,037	de Raudo
Geminis	2 Kg	2,00	0,46 Kg de Imidacloprid	0,3860	0,0005	0,1610	0,5470	1,07	de Geminis
	2 Kg	2,00	0,2 Kg de Lambda-cihalotrina	0,4500	0,0002	0,0700	0,5200		
Exalt	0,5 Lt	0,51595	0,03044105 Kg de Atrazine	0,1020	0,0000	0,0107	0,1126	0,11	de Exalt
HERBICIDAS									
Gesaprim	10 Kg	10	9 Kg de Atrazine	0,2200	0,0099	3,1500	3,3700	3,37	de Gesaprim
Harness	5 Lt	5,595	5,0355 Kg de Acetochlor-acetamide	0,3133	0,0055	1,7624	2,0757	2,08	de Harness
Round Up Brio	16,4 Lt	27,9456	20,9592 Kg de Glyphosate	1,3973	0,0231	7,3357	8,7330	8,73	de Round Up Brio
Imperio	3 Lt	3,345	0,4014 Kg de Tebuconazole	0,0878	0,0004	0,1405	0,2283	0,68	de Imperio
	3 Lt	4,02	0,804 Kg de Azoxystrobin	0,1688	0,0009	0,2814	0,4502		
COADYUVANTE									
Inex	4,4 Lt	4,488	1,16688 Kg de Tensioactive Ethoxylated Copolymers	0,6609	0,0013	0,6768	1,3377	1,34	de Inex
Total EVOCS del Cultivo Maíz (5 Ha):								17,72	

5.4.Emisiones por aplicación de fertilizantes.

Las emisiones por uso de fertilizantes se calculan según la fuente, es decir, el compuesto aplicado, teniendo en cuenta sus emisiones directas e indirectas (Anexo 4), se calculan solo aquellos que presentan el componente nitrógeno, debido a que en las metodologías de cálculo de la HdC no hay estudios realizados de factores de emisión para cada uno de los componentes existentes, es el CO₂-Eq el que más emisiones contaminantes genera, pero de estas emisiones el que más aporte tiene es el Óxido Nitroso (NO₂) transformado en Kg CO₂-Eq.

Las emisiones directas de CO₂ son generadas por el uso de Urea, en teoría, el 100% de peso de la urea es considerado como compuesto nitrogenado, el factor de conversión que es equivalente al contenido de carbono de la urea sobre la base de su peso atómico, transforma las emisiones directas en CO₂-Eq.

Para las emisiones teóricas generadas por CH₄, no existe un modelo matemático adaptado para fertilizantes, la mayoría de emisiones de este gas en ámbitos de agricultura, forestación y otros usos del suelo, provienen de estiércol del ganado, digestión entérica del mismo y disposición de desechos, fuentes para las que si se han desarrollado metodologías numéricas que cuantifiquen el impacto con base en factores ya establecidos.

Existe una relación entre la cantidad de CH₄ producida y el CO₂, los cuales se estiman con las emisiones generadas directamente por la urea, se toma como punto de referencia ya que el contenido de C en este fertilizante sintético es igual a la cantidad aplicada, una vez la cantidad de CO₂ emitido por la urea es conocido, se puede hallar la cantidad de CH₄ emitido, para esta estimación se utiliza el potencial de calentamiento de cada gas así: las emisiones de urea en CO₂-Eq se multiplican por el PCG del CO₂ que es igual a 1, ya que se está interactuando con el mismo gas, luego este producto se divide por el PCG del CH₄ que es 34.

Tabla 13: Emisiones de N₂O indirectas por volatilización en aplicación de fertilizantes

Fertilizante	Cantidad Kg	%N	FSN	FE4	FracGASF	N ₂ O (ATD)-N	N ₂ O(ATD)
Rafos	700	12	84	0,01	0,1	0,084	0,13
Nitro Xtend	1550	46	713	0,01	0,1	0,713	1,12
Nitro Mag	1000	21	210	0,01	0,1	0,21	0,33
Terrabiol	600	1,5	9	0,01	0,1	0,009	0,014

Tabla 14: Emisiones de N₂O directas por aplicación de fertilizantes

Fertilizante	Cantidad Kg	%N	FSN	FE1	N ₂ O - N aportes	N ₂ O
Rafos	700	12	84	0,01	0,84	1,32
Nitro Xtend	1550	46	713	0,01	7,13	11,20
Nitro Mag	1000	21	210	0,01	2,1	3,30
Terrabiol	600	1,5	9	0,01	0,09	0,14

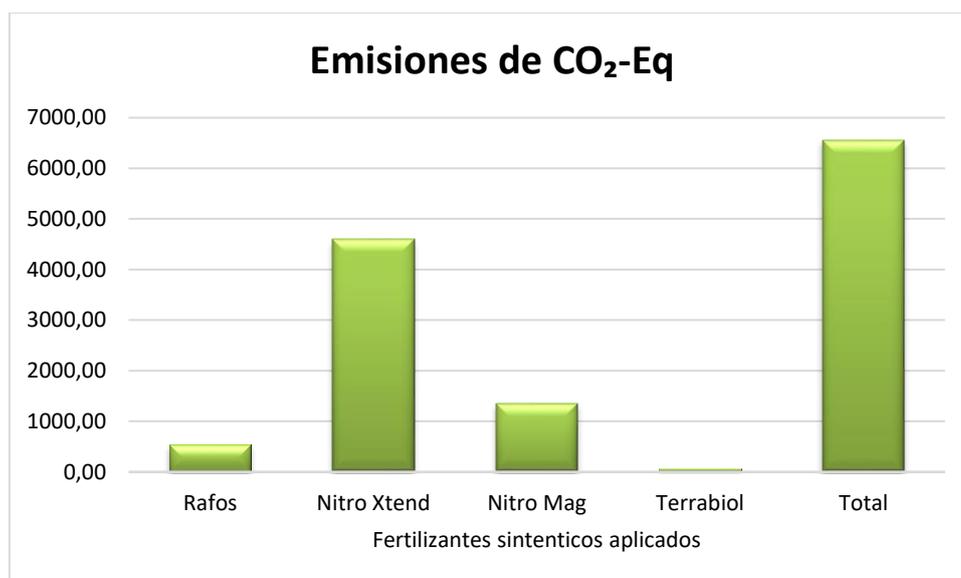


Figura 14: Emisiones de CO₂-Eq por la aplicación de Fertilizantes

Tabla 15: Emisiones de N₂O por lixiviación

Fertilizante	Cantidad Kg	%N	FSN	FE 5	FracLixiviacion - (H)	N ₂ OL(L)
Rafos	700	12	84	0,0075	0,3	0,30
Nitro Xtend	1550	46	713	0,0075	0,3	2,52
Nitro Mag	1000	21	210	0,0075	0,3	0,74
Terrabiol	600	1,5	9	0,0075	0,3	0,03

En la figura 14 se observa que el fertilizante Nitro Xtend presentó la mayor emisión con 4602,16 KgCO₂-eq total del cultivo y 920,4 KgCO₂-eq/Ha, pues es el fertilizante con mayor contenido aplicado y mayor concentración de N₂, seguida por el NitroMag con 1355,48 Kg CO₂-eq total del cultivo y 271,09 KgCO₂-eq/Ha, mientras que el Rafos y el Terabiol fueron los de menores emisiones, a causa de su baja aplicación y el terrabiol por el hecho de ser un fertilizante orgánico, su contenido de N₂ es aproximadamente del 1,5% de su peso; Es decir, entre menos cantidad de fertilizante sintético se aplique o menor sea su contenido de Nitrógeno, menor es su emisión de gas contaminante. La emisión por el uso de fertilizantes nitrogenados es de 6557,92 Kg de CO₂-Eq total del cultivo y 1311,59 KgCO₂-eq/Ha.

Para la urea, que es el fertilizante con menor aplicación su emisión es igual a 146,67 Kg CO₂-Eq total del cultivo y 29,33 Kg CO₂-Eq/Ha, en comparación con los otros fertilizantes

como el Rafos sus emisiones son similares, a pesar de que el Rafos tiene más cantidad aplicada en el cultivo, de acuerdo con esto se puede inferir que los fertilizantes menos contaminantes son los orgánicos.

Las emisiones totales por el uso de fertilizantes son alrededor de 6299,64 Kg de CO₂-Eq total del cultivo y 1259,93 KgCO₂-eq/Ha, con un 56,7% de las emisiones totales de GEI generadas por el cultivo de maíz.

Tabla 16: Emisiones de CO₂-Eq por urea

NOMBRE DEL PREDIO	AREA	FERTILIZANTE	CANTIDAD (Kg)	FE	CO ₂ - C	Emisión de CO ₂ (Kg CO ₂ -eq)
Lote C	5Ha	Urea	200	0,2	40	146,67



Figura 15: Emisión de gases contaminantes por aplicación de fertilizantes

5.5.Emisiones totales de GEI en el cultivo de maíz.

Aplicando la ecuación 16, que representa la sumatoria de cada una de las emisiones parciales de GEI, dan como resultado 11.514,02 Kg CO₂-Eq total del cultivo y 2.302,80 Kg CO₂-Eq/Ha para el Alcance 1, de donde se infiere que la fuente de emisión más contaminante es la aplicación de fertilizantes, cuyo porcentaje en el desarrollo de este proyecto representa el 58% del total de las emisiones de CO₂-Eq, en unidades de emisión son Kg CO₂-Eq, pero en

teoría, es decir en el desarrollo de las ecuaciones, es el Óxido Nitroso el que más Kg de emisiones aporta.

A razón de que en el desarrollo de las ecuaciones de huella de carbono se ignora la procedencia de GEI que vienen de otros compuestos que hacen parte de los fertilizantes, diferentes a los que tienen contenido de nitrógeno, y el N₂O proviene específicamente de la aplicación de fertilizantes con contenidos de N, cuyo impacto es mayor respecto a las emisiones de CO₂ directas emitidas de la urea.

En la tabla 17, se presentan las totalidades de emisiones en Kg CO₂-Eq para todo el cultivo de maíz respecto a cada una de las labores empleadas en el lote C de la granja de la Universidad Surcolombiana.

En cuanto a las emisiones de otros gases tales como el metano CH₄, como se explicó anteriormente, se calculó bajo las emisiones directas de CO₂ presentes en la Urea. El N₂O con una cantidad de 6557,92 Kg CO₂-Eq total del cultivo y 1311,59 Kg CO₂-Eq/Ha es el gas que mayores emisiones presenta y de esta forma el más contaminante, esto se debe a que posee un potencial de calentamiento global que supera en 310 al potencial de calentamiento global del CO₂.

Para las emisiones por el uso de combustibles representadas en 4791,72 Kg CO₂-Eq total del cultivo y 958,34 Kg CO₂-Eq/Ha teniendo un 43,1% de las emisiones totales, la labor que más aporta es la cosecha a granel en comparación a las otras actividades.

Tabla 17: Emisiones totales de GEI en Kg de CO₂-Eq

FUENTE DE EMISIÓN		TOTAL DE GEI (Kg CO ₂ -eq)	
USO DE COMBUSTIBLE	Preparación terreno	Rastra	472,45
		Rastrillo	418,27
		Surcadora	179,88
	Siembra	S. Mecanizada	307,75
	Cosecha	Granel	3413,37
	TOTAL GEI POR EL USO DE COMBUSTIBLES		4791,72
APLICACIÓN DE QUIMICOS	Pesticidas	Herbidas	14,86
		Insecticidas	1,53
		Coadyudante	1,34
	Total GEI por pesticidas		17,72
	Fertilizantes	Urea	146,67
Nitrogenados		6557,92	
TOTAL GEI POR FERTILIZANTES		6704,58	
Emisiones totales de CO ₂ -Eq		11.514,02	
Emisiones totales de CO ₂ -Eq/Ha		2.302,81	

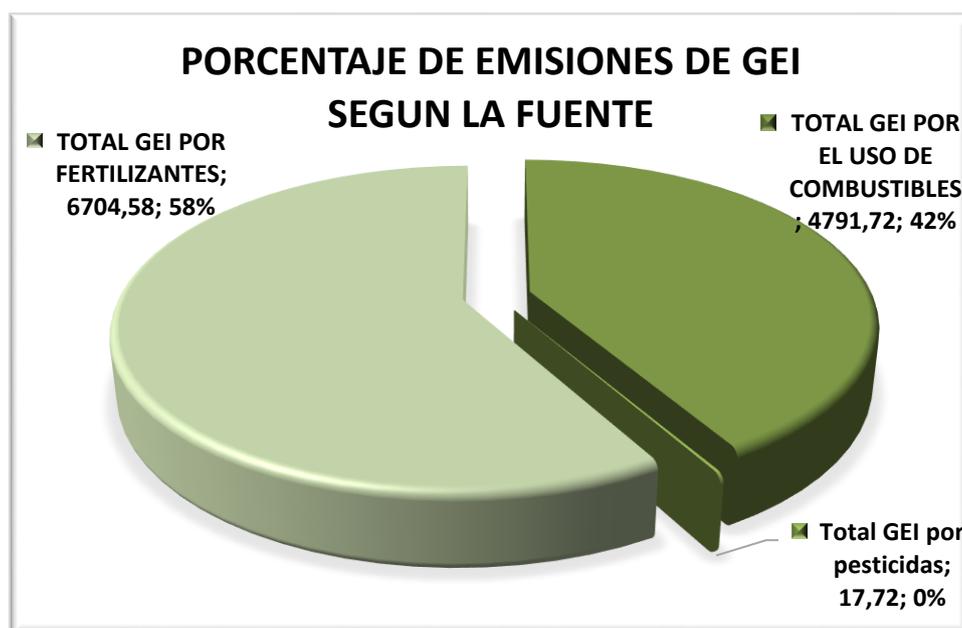


Figura 16: Porcentaje de Emisión de GEI

5.6. Análisis y discusión comparativa relacionada con estudios similares.

(Umaña y Conde, 2013) hicieron investigación en seis tratamientos diferentes (cultivos o sistemas de producción), entre ellos maíz en monocultivo, donde fueron empleadas parcelas temporales de muestreo, allí, se estimaron las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la implementación de fertilizantes nitrogenados utilizando factores de emisión del IPCC, se encontró que el maíz y la caña de azúcar fueron los que emitieron CO₂ a la atmósfera en un 63,8% por la utilización de fertilizantes y un 22,4% por el consumo de combustible para el maíz. Cabe aclarar que en estos resultados se evidencian unos aportes altos de emisiones por las actividades tradicionales agrícolas, lo cual podría afectar la fertilidad en suelos y contribuir a la contaminación del medio ambiente. La implementación de sistemas agroforestales en la zona genera mayor importancia por la remoción de la contaminación atmosférica, lo que representa un valor agregado para los agricultores de la zona y para las futuras generaciones. Caso similar fue el que se obtuvo en el desarrollo del presente proyecto.

En España, (Altuna, et al, 2012) hicieron un estudio en el que se calculó la huella de carbono en tres cereales: el trigo blanco, la cebada y el maíz; Las emisiones se hallaron para fertilización nitrogenada, fertilización orgánica, fertilización por Urea, riego y tratamiento en semilla, de los tres cereales evaluados, el maíz fue el que más emisiones generó; las emisiones para la actividad de fertilización fueron 135,88 Kg CO₂-Eq, 104,74 Kg CO₂-Eq y 174,29 Kg CO₂-Eq respectivamente. La huella de carbono de los cereales se ha situado en 384 Kg CO₂ Eq/Ha de trigo y 299 Kg CO₂ Eq/Ha en cebadas cuando se consideran los resultados medios del conjunto del estudio realizado. La huella de carbono de los cereales en regadío se ha situado en 562 Kg CO₂-Eq/Ha, una vez más se rectifica que la actividad que más emisiones de GEI produce es la fertilización de los cultivos.

En la llanura del norte de China (Wang, et al,2015) se desarrolló un estudio para la aplicación optimizada de fertilizantes nitrogenados para alto rendimiento del grano y menores

emisiones de C en el cultivo de maíz verano, experimento que se llevó a cabo durante 2010-2012, en los resultados de este estudio se mostró que el rendimiento del grano, la energía utilizada para el riego, los GEI y la huella de carbono fueron aumentando proporcionalmente respecto al aumento de la tasa de N que contenían los fertilizantes. Entre las diferentes fórmulas nitrogenadas que se utilizaron, se determinó que el componente de GEI que produjo la fertilización con nitrógeno estuvo entre el (0 a 51,1%); Tomando como referencia los resultados obtenidos en el proyecto de la Universidad Surcolombiana, se da lugar a que los cálculos que se realizaron para el cultivo de maíz se corroboran nuevamente con este estudio que se practicó en la República de China.

De Igual manera, (Hernán, et al, 2014), en un estudio realizado en Campoalegre, Huila en cultivo de arroz, las emisiones por utilización de fertilizantes nitrogenados generaron un 65% del total de las emisiones de GEI para ese estudio, siendo estas las más representativas al igual que las de este proyecto, en segundo lugar se encuentra el consumo energético por maquinaria y transporte en el cultivo y en menor medidas las de aplicaciones en herbicidas; datos que corroboran el informe de este estudio realizado al cultivo de maíz.

En el valle del Cauca, en un estudio realizado en un ingenio azucarero, específicamente en la labor de fertilización, se determinó que las mayores emisiones provienen de la aplicación de fertilizantes nitrogenados con un 70,71% y la menor fuente de emisiones son los fertilizantes orgánicos (Triana, 2014).

Por su parte, (González y Méndez, 2014) realizaron la determinación de la huella de carbono para un distrito de riego que abastece agua para el cultivo de arroz en La Vereda el Juncal, municipio de Palermo, Huila, donde las emisiones de GEI en Kg CO₂-Eq son 4998,70 por hectárea de arroz cosechada, de estas la fuente representativa con un 64,91% es el uso de fertilizantes nitrogenados y con contenidos de carbono, seguido por el consumo energético en

la combustión móvil y estacionaria con 21,84% y la de menor emisión es la aplicación de pesticidas con un 1,10%; datos que se relacionan con los calculados en la huella de carbono en el cultivo de maíz estudiado en este proyecto.

Un estudio realizado en Chile, en una empresa vitivinícola, a través del método compuesto de las cuentas contables; este método consistente en una Planilla de cálculo con 20 hojas que presenta unas categorías para el cálculo de la HdC de cualquier organización, basada en la matriz de consumos de las principales categorías que una empresa necesita. En este estudio (Quezada, et al, 2013) considera que las emisiones más características en la organización son quema del combustible diésel, utilizado principalmente en las maquinarias industriales que se emplean en el proceso de producción de vino.

6. MEDIDAS DE MEJORA.

Con el cálculo de las emisiones de GEI en el cultivo de maíz, se determinó que las actividades más contaminantes son la aplicación de fertilizantes sintéticos con contenidos altos de N₂ y el consumo de combustible, se identificó que el punto crítico es la aplicación de fertilizantes, con la necesidad de proponer medidas para la mitigación y/o disminución de la generación de GEI a la atmosfera.

Las medidas de mejoras para la reducción de emisiones de GEI hacen referencia a la implementación de actividades dentro de las acciones necesarias para poder producir maíz, esto en aras de trabajar conjuntamente con el medio ambiente, para lograr la reducción de emisiones en el cultivo de maíz, se deben incluir las acciones voluntarias del agricultor, como por ejemplo, la reducción en el consumo de combustibles, insumos, mejoramiento de prácticas operacionales, cambio de combustibles; Dando lugar a la generación de estrategias encaminadas a optimizar las operaciones llevadas a cabo en el cultivo y disminuir gastos.

A continuación, se mencionan algunas de las iniciativas recomendadas.

- Es de suma importancia el registro y documentación de cada una de las actividades realizadas sobre el cultivo, se hace necesario tener una bitácora para el cálculo de las emisiones por las fuentes intervinientes en el proceso del cultivo y cosecha del maíz.
- Las emisiones por el consumo de combustibles se generan en las actividades de adecuación de tierras, siembra y cosecha. En la práctica de adecuación de tierras se puede emplear la mínima labranza; La siembra y la cosecha son actividades mecanizadas, de esta manera se hace necesario concientizar respecto al buen uso y manejo de estos equipos y las maquinarias a usar, esto traducido en una operación

correcta y en las prácticas de mantenimiento establecidas en manuales de usuario para así asegurar eficiencia y vida útil del equipo.

- Se recomienda el cuidado del sistema de los equipos, esto en pro de disminuir o tener pérdidas mínimas de potencia y, por ende, no presentar aumentos por consumo de combustible; Así mismo, practicar revisiones preventivas y de corrección a maquinaria y equipos.
- Cambiar a fuentes de energías que sean amigables con el ambiente, tales como el biodiesel de palma como sustitutos fósiles: reduce las emisiones de GEI en un 87% (Yañez et al.,2009), en comparación con el diésel de origen fósil, el biodiesel reduce las emisiones de gases que provocan el efecto de invernadero. Así, por ejemplo, el uso de una tonelada de Biodiésel, evita la producción de 2.5 toneladas de dióxido de carbono (CO₂) y sobre todo elimina, si se usa el biodiesel sólo en los motores, las emisiones de azufre (SO₂) del diésel, evitando las lluvias ácidas; además, lo que es fundamental: es un combustible renovable y no finito como los hidrocarburos (Comisión Nacional para el ahorro de energía, 2007).
- De la misma manera en uso y aplicación de fertilizantes, ya que estos al ser nitrogenados, crean emisiones debido al alto gasto energético causado por el empleo de combustibles fósiles en la fabricación de fertilizantes minerales, y demás emisiones de N₂O procedentes de suelos agrícolas gestionados por aplicación tanto de fertilizantes nitrogenados, orgánicos y sintéticos.
- Realizar análisis de suelo para conocer las concentraciones de minerales en él y de esta manera, seleccionar los fertilizantes a utilizar de acuerdo con las necesidades que presenta el suelo y el cultivo.

- El incremento del nitrógeno disponible en los suelos mediante la adición de fertilizantes orgánicos, residuos vegetales, estiércol líquido, estiércol animal, etc., conduce a una disminución de las emisiones directas de N₂O mediante procesos microbianos.
- Aunque las emisiones por uso de pesticidas, plaguicidas y herbicidas son mínimas; estas se pueden mitigar bajo el uso de trampas de feromonas, color y luz como fuente de atracción para insectos. Esto permite identificar las plagas y controlarlas por el método de disminución de población. Se hace necesario contar con una fuente atrayente, dispositivo de captura y un colector. Al usar este tipo de mecanismos de control la calidad en la producción se maximiza pues se tendría menos daño por insectos-plagas y menos uso de insumos químicos.

7. CONCLUSIONES

- Las mayores emisiones generadas en el desarrollo de este proyecto se encontraron en la aplicación de fertilizantes con un resultado de 6704,58 Kg CO₂-Eq total del cultivo y 1304,92 Kg CO₂-Eq/Ha, el equivalente a 58% de las emisiones totales de GEI de cultivo de maíz.
- Las fuentes móviles, en comparación con los fertilizantes aportan una menor cantidad de emisiones de Kg CO₂-Eq, pero estas dos fuentes en conjunto representan el 100% de las emisiones de la huella de carbono en el cultivo de maíz.
- El GEI que mayores emisiones presenta es el Óxido Nitroso N₂O, con un porcentaje del 98%.
- El consumo de combustible por fuentes móviles genera un total de 4791,72 Kg CO₂-Eq total del cultivo y 958,34 Kg CO₂-Eq/Ha, siendo el 43% de las emisiones totales de GEI producidas por el cultivo de maíz.
- El total de emisiones correspondiente a los pesticidas es de 17,72 Kg de VOCs total del cultivo y de 3,54 Kg de VOCs /Ha, ocupando solo el 0,15% de las emisiones generadas por el cultivo de maíz respecto a las emisiones totales calculadas.
- Las emisiones totales calculadas fueron 11514,02 Kg CO₂-Eq en el cultivo y 2302,81 Kg CO₂-Eq/Ha, estas equivalen a la sumatoria de emisiones por uso de combustibles y la aplicación de agroquímicos (Fertilizantes y plaguicidas), prácticas agrícolas que se llevan a cabo en cada predio que sea utilizado para la producción de maíz.
- A pesar de que, en este proyecto, la urea no tiene una gran representación en las emisiones totales, debido a su baja aplicación en la producción de este cultivo, es el fertilizante que más emisiones puede generar, pues en teoría el 100% de su peso es fertilizante nitrogenado

- La utilidad y precisión de la herramienta está ligada a la calidad de la información suministrada, pese a que no se cuenta con datos nacionales y se emplean valores por defecto, el resultado constituye un valor específico, sirve como referente para futuros proyectos a realizar, cuenta con fuerte soporte teórico proveniente del IPCC y abre la posibilidad de medir la cantidad aproximada de emisión de GEI y huella de carbono generada en labores de fertilización y consumo de combustible.
- Los pesticidas pueden ser aplicados de forma superficial o directamente en el suelo, las presiones de vapor de los ingredientes activos de los productos son los que determinan el factor de emisión, pero los pesticidas aplicados a la superficie presentan mayor factor de emisión y son más contaminantes.
- Las metodologías empleadas para este estudio fueron las directrices del IPCC de 2006, ya que su estructura está orientada de forma tal que cualquier investigador, independientemente de su experiencia o recursos, pueda producir estimaciones confiables con la identificación de las fuentes de emisión y relacionarla con su respectivo FE que cuando no se tiene datos específicos son proporcionados por este método; y la metodología propuesta por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) para el cálculo de las emisiones por aplicación de pesticidas ya que la cuantificación de las emisiones se relaciona con la forma de aplicación del producto, formulación y porcentaje de ingrediente activo e inerte.

8. RECOMENDACIONES

- Para reducir las emisiones específicamente provenientes de las fuentes móviles, sería reemplazar el uso del combustible que se usa actualmente por biodiesel, un combustible que se puede obtener de aceites animales y vegetales.
- Se puede estudiar la posibilidad de reducir y cambiar totalmente el uso de fertilizantes sintéticos y continuar con la implementación de cultivos orgánicos. De esta forma se reduciría considerablemente el impacto de la huella de carbono, ya que este estudio sólo considera una hectárea y todo el cultivo (5Ha); Se podría llegar a tener un alcance mucho mayor y así generar un beneficio mucho más significativo en cuanto a reducción de emisiones. Así mismo, se pueden disminuir los costos en la labor de fertilización debido a que los fertilizantes orgánicos son elaborados con residuos de otras de sus actividades, aprovechándose como subproductos y garantizando tener a disposición la materia prima para sus propios fertilizantes.
- La huella de carbono es una herramienta utilizada a nivel mundial, sin embargo, es un indicador limitado en el desempeño ambiental de la actividad, pues no involucra la gama de impactos ambientales que están relacionados con el cultivo, pues se deben considerar factores adicionales, que no son reflejados en los resultados de la huella de carbono como impactos sobre la calidad de agua, biodiversidad, calidad de aire, entre otros.

9. REFERENCIAS.

- Altuna, A., Arnal, A. L., Hierro, O. d., Unamunzaga, O., Besga, G., Domench, F., & Sopelana, A. (2012). Huella de carbono de los cereales: análisis de la emisión de gases de efecto invernadero en el sector agroalimentario. *Navarra Agraria*, 31-38.
- Andrade, H., Campo, O., & Segura, M. (2014). Huella de carbono del sistema de producción de arroz (*Oryza sativa*) en el municipio de Campoalegre, Huila, Colombia. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 25-31.
- Baquadano, M. (2011). *Tu Huella Ecológica, Calcula tu huella de carbono*. Santiago de Chile: Cuatro Vientos.
- Brito Contreras, S. (2011). *Diagnóstico De Implementación De Metodología De Cálculo De La Huella De Agua Y Huella De Carbono En Empresa DSM*. Tesis, PUERTO MONTT, CHILE.
- BUSATO, G., GRÜTZMACHER, A., GARCÍA, M., GIOLO, F., ZOTTI, M., & MAGALHAES, T. (2004). Tabela de vida de fertilidade de populações de *Spodoptera frugiperda* (J.E. SMITH, 1797) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) em folhas de milho e arroz irrigado. *Rev. Brás. Agrociencia*, 449-455.
- Calle Benavides, C. C., & Guzman Bejar, R. (2001). *Cálculo de la huella de carbono del ecolodge ulcumano ubicado en el sector de La Suiza, Distrito de Chontabamba, Provincia de Oxapampa, Región Pasco*. Lima. Perú.
- Campos Armijo, A. (2012). *Marco general para la Medición de la Huella de Carbono del arándano en la Región de los Ríos, Chile. Estudio de caso*. Tesis, Valdivia, Chile.
- Carballo P, A., Doménech Quesada, J., García-Negro, M., Villasante, C., Rodríguez Rodríguez, G., & González-Arenales, M. (2008). Análisis comparativo de la huella ecológica de dos empresas del sector pesquero gallego. Observatorio Iberoamericano

del Desarrollo Local y la Economía Social. *Revista académica, editada y mantenida por el Grupo EUMED.NET de la Universidad de Málaga.*

Catála Goyanes, J. (2006). Diseño y validación de un procedimiento de cálculo de la huella de carbono en una administración local.

Climático, O. E. (2016). *Guía para el calculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización.* Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, España.

Comisión Nacional para el ahorro de energía. (2007). *Dirección de ahorro de energía del transporte.*

Comité Técnico ISO/TC 207, G. a. (2006). *ISO 14064-1.*

Cordero Ahimán, O. V. (2011). *Cálculo de la huella de carbono según la metodología francesa BILAN CARBONE: Aplicación a la sociedad de los transportes públicos de la ciudad limoges S.T.C.L. en el año 2009.* Zaragoza, España.

Department for enviromental Food and Rurals Affairs (defra); Department of energy & climate change; Department for Bussiness Innovation & Skills (BIS); BSI. (2011). *PAS 2050:2011, Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services.* London, United Kingdom.

Dómenech, J. (2010). *Estándares2010 de huella de carbono MC3.* Girón, España: CONAMA 10.

Duplat Guzmán, M., & Silva Álvarez, J. M. (2011). *Huella de Carbono de producto de consumo masivo en empresa del valle del cauca.* Santiago de Cali, Colombia.

Enciclopedia Agropecuaria Terranova. (1995). *Producción Agrícola 1.* Bogotá, Colombia: Terranova Editores LTDA.

- FAOSTAT. (2004). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Obtenido de Sistema de Información Estadística de la Organización Mundial de la Agricultura y la Alimentación (FAO): www.fao.org
- Fassio, A., Carriquiry, A. I., Tojo, C., & Romero, R. (1998). *MAIZ: Aspectos sobre fenología*. Montevideo, Uruguay: Unidad de difusión e Información Tecnológica del INIA.
- González Meneses, H. V., & Méndez Velásquez, V. E. (2014). *Determinación de la huella de carbono en el cultivo de arroz en el distrito de riego El Juncal, Huila, Colombia*. Neiva, Huila, Colombia.
- Guerra Alarcón, L. (2007). Construcción de la huella de carbono y logro de carbono neutralidad para el Centro agronómico Tropical de la Investigación y enseñanza (CATIE), Costa Rica. Turrialba, Costa Rica.
- Guerra, L. (2007). "*Construcción de la huella de carbono y logro de carbono neutralidad para el centro Agronómico tropical de investigación y enseñanza (CATIE)*" Costa Rica. Turrialba, Costa Rica.
- Hillier, J., Hawes, C., Geoff, S., Hilton, A., Wale, S., & Smith, P. (2009). The carbon footprints of food crop production. *International journal of agricultural sustainability* , 7, 107-118. Obtenido de http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3763/ijas.2009.0419#.UaUY_NIyJ-U.
- INCLAMCO₂, Ingeniería de Aguas| Cambio Climático ; RETORNA. (2012). Huella de Carbono, Estudio comparativo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el proyecto piloto de implantación de un sistema de recogida, devolución y retorno de envases frente al sistema de gestión integral actual. *Proyecto piloto Almonacid del Marquesado (RETORNA)*. Cuenca, España.
- IPCC. (2001). *GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMATICO, Cambio Climatico 2001, Impactos, adaptaciones y vulnerabilidad*.

- IPCC. (2002). *GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. Cambio climático y biodiversidad*. Documento técnico V del IPCC.
- IPCC. (2006). *INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE*. Obtenido de 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/>
- IPCC. (2013). *INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE CLIMATE CHANGE 2013 The Physical Science Basis*.
- Kelly, M., & Granich, S. (1996). *Tiempo: Global Warming and the Third World. Tiempo: Global Warming and the Third World*.
- Malthus, T. (1798). *"An essay on the principle of population"*. London.
- Mendoza Rodríguez, H., Martínez Isaac, J. A., & Contreras Diego, E. (2011). Influencia del calentamiento global en la salud humana. *Revista Cubana de Tecnología de la Salud, Volumen 2, Número 2*.
- Mercado Liegue, Verónica Aidee; Rodríguez Jiménez, Diana Cecilia. (2015). *Cálculo de huella de carbono de productos terminados en yacimientos petrolíferos fiscales bolivianos- YPFB*. Madrid.
- Mogens Gallardo. (08 de 06 de 1999). *Cambio Climático Global*. Obtenido de <http://cambioclimaticoglobal.com/que-es-el-calentamiento-global>
- Moran, Josep M; Morgan, Michael D; Pauley, Patricia M. (1997). *Meteorology: the atmosphere and the science of weather*. Upper Saddle River.
- Moreno Lopez, R. (03 de 03 de 2005). *Ciudades para un Futuro más Sostenible*. Obtenido de <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n32/i2armor.html>
- Morison, J. I., & Gifford, R. (1984). Plant growth and water use with limited water supply in high CO₂ concentrations: I. Leaf area, water use and transpiration. *Australian Journal of Plant Physiology*, 11, 361-374.

- Navarro Padilla, R. A. (2007). *Efectividad de seis mezclas de herbicidas posemergente para el control de coyolillo (Cyperus rotundus) en caña de azúcar*. Honduras.
- Noroña, J. (2008). *Caracterización y evaluación agromorfológica de 64 accesiones de maíz negro y 27 accesiones de maíz chulpi (Zea mays) colectados en la serranía del Ecuador en la EESX-INIAP, Quito*. Latacunga, Ecuador.
- Quezada, R., Hsieh, T., & Valderrama, J. (2013). Determinación de la Huella del Carbono mediante el Método Compuesto de las Cuentas Contables (MC3) para una Empresa Vitivinícola en Chile. *Información Tecnológica*, 24(4), 3-14.
- Rischar, J.-F. (2002). *High Noon: 20 global problems, 20 years to solve them*. New York: Basic Books.
- Rodas Samayoa, S. G. (2014). Estimación y gestión de la huella de carbono del campus central de la Universidad Rafael Landívar. Guatemala de la Asunción, Guatemala.
- Rojas Alvarez, P. A. (2013). Análisis del ciclo de vida y Huella de Carbono de una rotación de Pinus radiata D. Don en predio Magaluf, Región de los Ríos. Valdivia, Chile.
- Sánchez Rasero, F. (s.f.). Características de los formulados comerciales de plaguicidas. Influencia sobre los residuos encontrados en alimentos. En A. Valverde (Ed.), *Residuos de Plaguicidas '96* (Instituto de Estudios Almerienses, Universidad de Almería ed., págs. 125-140). El Ejido, Almería, España. Recuperado el 2017
- Sánchez Sierra, J. C. (2009). *Evaluación técnica-económica para la producción de una bebida a partir de morocho blanco y leche*. Quito.
- Santillán Sandoval, P. A. (2014). Determinación de la huella de carbono bajo las consideraciones de la norma ISO 14064 en el área de acería de la empresa metalúrgica ecuatoriana ADELCA C.A. Riomba, Ecuador.

- Sepúlveda Teuber , M. (2011). *Análisis de la percepción y disposición a pagar por la Huella de Carbono de Leche Fluida en Consumidores de la ciudad de Valdivia*. Valdivia, Chile.
- Serratos Hernandez, José Antonio; Geenpeace México. (2012). *El origen y la diversidad del maíz en el continente americano* (Segunda ed.). Ciudad de México, México.
- Téllez Triana, C. M., & Montoya Ramírez, M. C. (2014). *Estimación de la huella de carbono generada durante la labor de fertilización en una hectarea de cultivo de caña de azúcar en un ingenio del Valle del Cauca*. Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia.
- The Carbon Trust. (2007). *Carbon footprint measuring methodology*. Obtenido de <https://www.carbontrust.com/home/>
- Umaña, J. A. (2013). Huella de carbono en los sistemas de producción agrícola dominantes en el municipio de Falan, Tolima. *Revista Ciencia Animal*, 11-27.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (1995). *Emission Factors & AP-42* (Vol. I). USA. Obtenido de <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch09/final/c9s02-2.pdf>
- Urrutia, J., & Valenzuela, R. (2010-2014). *Huella de Carbono: Herramienta para el mejoramiento de la competitividad climática en las exportaciones chilenas (Estudio)*. Chile.
- Valderrama, J. O., Espíndola, C., & Quezada, R. (2011). Huella de Carbono, un concepto que no puede estar ausente en cursos de ingeniería y ciencias. *Formación Universitaria*, 3-12.
- Wackernagel, M., & Rees, W. E. (1996). *Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth*. Philadelphia, PA, USA; Gabriola island, Canada: New Society Publishers.

- WANG, Z.-b., WEN, X.-y., ZHANG, H.-l., LU, X.-h., & Chen, F. (2015). Net energy yield and carbon footprint of summer corn under different. *Journal of Integrative Agriculture*, 1534-1541.
- West, T. O., & Marland, G. (2002). A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S01678809010023>
- Wiedmann, T., & Minx, J. (2007). A Definition of 'Carbon Footprint'. *ISA Reino Unido Research Report*.
- Wiedmann, T., & Minx, J. (2008). A Definition of "Carbon Footprint". (C. C. Pertsova, Ed.) *Ecological Economics Research Trends*, 1-11.
- World Business Council for Sustainable Development y World Resources Institute. (2001). *Protocolo de Gases de Efecto Invernadero*. (Primera ed.).
- WWF. (2008). *World Wildlife Fund*. Obtenido de Informe Planeta Vivo. : http://assets.panda.org/downloads/lpr_2008_span_lo_res.pdf
- Yañez A, E., Silva L, E., Ester da Costa, R., & Andrade T, E. (2009). The energy balance in the Palm Oil-Derived Methyl Ester (PME) life cycle for the cases in Brazil and Colombia. *Renewable Energy*.

ANEXOS

Anexo 1: Costos y Aplicaciones del cultivo de Maíz estudiado para el proyecto.

 UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA CUADRO DE COSTOS MAIZ LOTE C 2015-1				
	UNIDA D	CANTIDA D	VR. UNITARIO	VR.TOTAL
A. COSTOS DIRECTOS				
1. Personal				
Rastra	Jornal	3	\$ 53.100	\$ 159.300
Rastrillo	Jornal	2	\$ 53.100	\$ 106.200
Surcos	Jornal	1	\$ 53.100	\$ 53.100
Siembra	Jornal	1	\$ 53.100	\$ 53.100
Preabonada				
Preemergencia	Jornal	3	\$ 53.100	\$ 159.300
Abonada 1	Jornal	1	\$ 53.100	\$ 53.100
Abonada 1	Jornal	1	\$ 53.100	\$ 53.100
Abonada 2	Jornal	1 1/2	\$ 53.100	\$ 79.650
Abonada 3	Jornal	1 1/2	\$ 53.100	\$ 79.650
Abonada 4	Jornal	1 1/2	\$ 53.100	\$ 79.650
Fumiga 1	Jornal	2	\$ 53.100	\$ 106.200
Fumiga 2	Jornal	2	\$ 53.100	\$ 106.200
Fumiga 3	Jornal	2	\$ 53.100	\$ 106.200
Fumiga 4	Jornal	2	\$ 53.100	\$ 106.200
Fumiga 5	Jornal	1	\$ 53.100	\$ 53.100
SUBTOTAL				\$ 1.354.050
2. Tratamiento de Semilla				
Saddler	Lt	2	\$ 122.000	\$ 244.000
Raudo	Lt	0,50	\$ 89.100	\$ 44.550
Kelasys Zinc	Kg	1	\$ 16.000	\$ 16.000
SUBTOTAL				\$ 304.550
3. Semilla				
Semilla hibrida DK 370	Bolsa	7	\$ 673.400	\$ 4.713.800
Semilla Refugio	Bolsa	1	\$ 576.600	\$ 576.600
SUBTOTAL				\$ 5.290.400
4. Pre Emergente				
Inex	Lt	1	\$ 28.700	\$ 28.700
Gesaprim	Kg	10	\$ 21.670	\$ 216.700
Harnes	Lt	5	\$ 25.200	\$ 126.000
SUBTOTAL				\$ 371.400

5. Preabonada				
Rafos	BT	14	\$ 67.600	\$ 946.400
SUBTOTAL				\$ 946.400
6. Abonada 1				
Nitro extend	BT	13	\$ 62.400	\$ 811.200
Terrabiol	BT	15	\$ 36.850	\$ 552.750
KCL	BT	8	\$ 60.000	\$ 480.000
SYS menores	BT	5	\$ 64.300	\$ 321.500
SUBTOTAL				\$ 2.165.450
7. Abonada 2				
Nitro extend	BT	18	\$ 62.400	\$ 1.123.200
KCL	BT	18	\$ 60.000	\$ 1.080.000
Kelatex Magnesio	Kg	12	\$ 23.300	\$ 279.600
SUBTOTAL				\$ 2.482.800
8. Abonada 3				
Urea	BT	4	\$ 58.700	\$ 234.800
SUBTOTAL				\$ 234.800
9. Abonada 4				
NitroMag	BT	20	\$ 57.700	\$ 1.154.000
SUBTOTAL				\$ 1.154.000
10. Fumiga 1				
Inex	Lt	1	\$ 28.700	\$ 28.700
Roundup Brio	Lt	5	\$ 20.090	\$ 100.450
SUBTOTAL				\$ 129.150
11. Fumiga 2				
Inex	Lt	1	\$ 28.700	28.700
Roundup Brio	Lt	10	\$ 20.090	\$ 200.900
Fosfacel	Kg	5	\$ 18.500	\$ 92.500
Geminis	Kg	1	\$ 66.600	\$ 66.600
X-Cyte	Lt	2	\$ 91.500	\$ 183.000
SUBTOTAL				\$ 571.700
12. Fumiga 3				
Inex	Lt	0,25	\$ 28.700	\$ 7.175
Exalt * 60 SC * 500 CC	Dosis	1	\$ 101.000	\$ 101.000
SUBTOTAL				\$ 108.175
13. Fumiga 4				
Inex	Lt	1	\$ 28.700	\$ 28.700
Globafol	Lt	5	\$ 30.500	\$ 152.500
Plantafol	Lt	3	\$ 23.000	\$ 69.000
Imperio	Lt	3	\$ 136.400	\$ 409.200
Geminis	Kg	1	\$ 71.500	\$ 71.500
SUBTOTAL				\$ 730.900
14. Fumiga 5				
Inex	Lt	0,14	\$ 28.700	\$ 4.018

Roundup Brio	Lt	1,4	\$ 20.090	\$ 28.126
SUBTOTAL				\$ 32.144
15. Suministros y Materiales				
A.C.P.M (Gl)	Rastra	13,1	\$ 8.148	\$ 106.739
	Rastra	10,6	\$ 8.148	\$ 86.369
	Rastra	19,9	\$ 8.148	\$ 162.145
	Rastrillo	16,9	\$ 8.148	\$ 137.701
	Rastrillo	21,7	\$ 8.148	\$ 176.812
	Surcada	16,6	\$ 8.148	\$ 135.257
	Siembra	28,4	\$ 8.148	\$ 231.403
	Cosecha	315	\$ 8.148	\$ 2.566.620
Gasolina				
SUBTOTAL				\$ 3.603.046
16. Costo Cosecha Lote C				
	Ha	5	\$ 653.498,40	\$ 3.267.492
SUBTOTAL				\$ 3.267.492,00
COSTO TOTAL DEL CULTIVO				\$ 21.592.457

Anexo 2: Kg CO₂-Eq por el uso de combustibles fósiles en la producción de maíz.

Lote C	AREA	Consumo de Diesel Kg	Poder Calorifico (Kj/Kg)	Consumo de Energia en Kj	Factor de Conversion (Gj/Kj)	Factor de Emision (Kg CO ₂ /Gj)	Emisiones (Kg CO ₂ -Eq)
Rastra	5Ha	142,763	44715	6383647,545	1,00E-06	74,01	472,4538
Rastrillo	5Ha	126,39	44715	5651528,85	1,00E-06	74,01	418,2697
Siembra	5Ha	92,9924	44715	4158155,166	1,00E-06	74,01	307,7451
Cosecha	5Ha	1031,43	44715	46120392,45	1,00E-06	74,01	3413,3702
Surcadora	5Ha	54,3547	44715	2430470,411	1,00E-06	74,01	179,8791

Anexo 3: Relación de emisión de los fertilizantes Nitrogenados en Kg CO2-Eq.

NOMBRE DEL PREDIO	AREA	FERTILIZANTE	CANTIDAD (Kg)	% N	FS N	EF 1	N ₂ O - N aportes	N ₂ O	FE 4	FracG ASF	N ₂ O (ATD)-N	N ₂ O(ATD)	FE 5	Frac Lixiviación - (H)	N ₂ OL (L)	Emisiones totales de N ₂ O	EMISIONES TOTALES DE C ₂ O-Eq
Lote C	5 Ha	Rafos	700	1/2	84	0,01	0,84	1,3200	0,01	0,1	0,084	0,1320	0,0075	0,3	0,30	1,749	542,19
Lote C	5 Ha	Nitro Xtend	1550	4/6	71/3	0,01	7,13	11,2043	0,01	0,1	0,713	1,1204	0,0075	0,3	2,52	14,84567857	4602,16
Lote C	5 Ha	Nitro Mag	1000	2/1	21/0	0,01	2,1	3,3000	0,01	0,1	0,21	0,3300	0,0075	0,3	0,74	4,3725	1355,48
Lote C	5 Ha	Terrabiol	600	1,5	9	0,01	0,09	0,1414	0,01	0,1	0,009	0,0141	0,0075	0,3	0,03	0,187392857	58,09
Total																	6557,92

Anexo 4: Emisión de VOCs de los pesticidas utilizados en el cultivo de maíz.

Producto Aplicado	IA (Ingrediente Activo)	Presion de Vapor (mmHg)	Densidad (Kg/Lt)	Cantidad Aplicada (Lt)	m (Kg) = d*v	% IA SEGÚN ETIQUETA	Cantidad de IA volatilizado a los 30 dias de aplicado (Kg)	Cantidad de IA Aplicado SEGÚN ETIQUETA(T)	Cantidad de IA Aplicado SEGÚN ETIQUETA(T Cortas (US))	Factor de emision (Kg/Mg)	% INGREDIENTE INERTE (FORMULA)	EMISIONES DE INGREDIENTES INERTES VOC (Kg)	% INGREDIENTE INERTE (ETIQUETA)	Cantidad de IA Aplicado SEGÚN ETIQUETA(Kg)	CANTIDAD TOTAL DE VOCs(Kg)
Saddler	Thiocard	1,00E-07	1,124	2	2,248	0,35	2,124,E-03	7,868,E-04	8,655,E-04	2,7	0,21	3,069,E-01	0,65	7,868,E-01	3,090,E-01
Raudo	Imidacloprid	3,00E-12	1,25	0,50	0,625	0,73	1,232,E-03	4,563,E-04	5,019,E-04	2,7	0,21	3,583,E-02	0,273	4,563,E-01	3,706,E-02
Exalt	Atrazine	2,90E-07	1,0319	0,50	0,51595	0,059	1,065,E-02	3,044,E-05	3,349,E-05	350	0,21	1,020,E-01	0,9413	3,044,E-02	1,126,E-01
Harness	Acetochlor-acetamide	3,40E-08	1,119	5,00	5,595	0,9	1,762,E+00	5,036,E-03	5,539,E-03	350	0,56	3,133,E-01	0,1	5,036,E+00	2,076,E+00
Round Up Brio	Glyphosate	9,80E-08	1,704	16,40	27,9456	0,75	7,336,E+00	2,096,E-02	2,306,E-02	350	0,2	1,397,E+00	0,25	2,096,E+01	8,733,E+00
Imperio	Tebuconazole	1,30E-08	1,115	3,00	3,345	0,12	1,405,E-01	4,014,E-04	4,415,E-04	350	0,21	8,781,E-02	0,125	4,014,E-01	2,283,E-01
	Azoxystrobin	8,30E-13	1,34	3,00	4,02	0,2	2,814,E-01	8,040,E-04	8,844,E-04	350	0,21	1,688,E-01	0,2	8,040,E-01	4,502,E-01
Inex	Tensioactive	2,E+01	1,02	4,40	4,488	0,26	6,768,E-01	1,167,E-03	1,284,E-03	580	0,2	6,609,E-01	0,7363	1,167,E+00	1,338,E+00
Geminis	Imidacloprid	3,00E-12			2	0,23	1,610,E-01	4,600,E-04	5,060,E-04	350	0,25	3,860,E-01	0,772	4,600,E-01	5,470,E-01
	Lambda-cihalotrina	1,50E-09			2	0,1	7,000,E-02	2,000,E-04	2,200,E-04	350	0,25	4,500,E-01	0,9	2,000,E-01	5,200,E-01
Gesaprim	Atrazine	2,90E-07			10	0,9	3,150,E+00	9,000,E-03	9,900,E-03	350	0,2	2,200,E-01	0,11	9,000,E+00	3,370,E+00
															17,720658