

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Análisis de la Huella de Carbono y del Crecimiento del Cultivo de la  
Palma Africana en el Ecuador**

**María José Ayala Mantilla**

Tesis de grado presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniería  
Ambiental

Quito, Julio 2012

**Universidad San Francisco de Quito  
Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales**

**HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS**

**Análisis de la Huella de Carbono y del Crecimiento del Cultivo de la  
Palma Africana en el Ecuador**

**María José Ayala Mantilla**

René Parra, PhD. ....  
Director de Tesis y  
Miembro del Comité de Tesis

Ródney Peñafiel, PhD. ....  
Miembro del Comité de Tesis

Valeria Ochoa, PhD .....  
Miembro del Comité de Tesis

Stella de la Torre, PhD .....  
Decana del Colegio de Ciencias  
Biológicas y Ambientales

Quito, julio de 2012

© Derechos de Autor  
María José Ayala Mantilla  
2012

## Dedicatoria

A mis padres por su infinito apoyo en todos los momentos de mi vida y a mis hermanos por su amistad y constantes palabras de aliento.

A mi mejor amigo, con quien tengo la fortuna de compartir todos los días del resto de mi vida, por tu incesante impulso para que alcance mis aspiraciones y nunca dejar que me de por vencida.

## Agradecimientos

Al Dr. René Parra por su incondicional apoyo en el desarrollo de mi tesis.

Al Dr. Ródney Peñafiel por los conocimientos impartidos a lo largo de mis estudios.

A la Ing. Carolina Cerón, por su amistad y generosa colaboración en la realización de mi tesis.

A ANCUPA, en particular al Ing. Francisco Naranjo, por su el acceso brindado a las facilidades del CIPAL y su información, sin la cual este estudio no hubiera sido posible.

## Resumen

El cultivo de palma africana en el Ecuador ha incrementado significativamente su producción y superficie en la última década. La demanda de aceite de palma ha crecido por su uso como biocombustible. El ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) es un indicador de los beneficios del reemplazo de combustibles fósiles por biocombustibles. Uno de los principales impactos asociados a la palma es el cambio de uso de suelo. En este estudio se calculan las emisiones de GEI generadas en la fase de cultivo de la palma calculando su huella de carbono. Se calcularon las emisiones de GEI en la plantación del Centro de Investigaciones de Palma Aceitera (CIPAL) bajo dos escenarios 1) condiciones actuales y 2) asumiendo cambio de uso de suelo. Adicionalmente, se realizó un análisis del crecimiento del cultivo en el país, determinando zonas aptas para su expansión a futuro en base a criterios agroecológicos. Los resultados de emisiones totales son: escenario 1) 0.3 tCO<sub>2</sub>e/t aceite y escenario 2) 1.83 tCO<sub>2</sub>e/t aceite. Se encontró que las emisiones de GEI en el CIPAL son comparables a otras plantaciones y demuestran bajos niveles de emisiones. El crecimiento del cultivo ha ocurrido en zonas no aptas, principalmente en las Provincias de Esmeraldas e Imbabura. Se identificaron 403 408.5 ha disponibles para el crecimiento en 16 provincias. Se debe realizar un estudio con un enfoque de análisis de ciclo de vida para determinar la sustentabilidad del uso del aceite de palma como biocombustible, y una evaluación ambiental exhaustiva. Es imprescindible implementar una zonificación agroecológica para controlar el crecimiento del cultivo, evitando impactos futuros por cambios de uso de suelo.

## Abstract

The cultivation of African Palm in Ecuador has significantly increased its production and area in the last decade. The demand for palm oil has grown due to its use as a biofuel. The emissions savings of greenhouse gases (GHG) is an indicator of the benefits of replacing fossil fuels with biofuels. One of the main impacts associated with palm cultivation is land use change. This study calculated the GHG emissions of palm generated in the cultivation phase by computing its carbon footprint. GHG emissions were calculated at the Centre for Oil Palm Research (CIPAL) under two scenarios 1) current conditions and 2) assuming land use change. Additionally, an analysis of crop growth in the country, identifying suitable areas for future expansion based on agro ecological criteria, was developed. The results of total emissions are: Scenario 1) 0.3 tCO<sub>2</sub>e/t oil and 2) 1.83 tCO<sub>2</sub>e/t oil. It was found that emissions of GHG at the CIPAL are comparable to other crops and show low levels of emissions. Crop growth has occurred in unsuitable areas, mainly in the provinces of Esmeraldas and Imbabura. We identified 403 408.5 ha available for growth in 16 provinces. A study with a life cycle analysis focus should be conducted to determine the sustainability of the use of palm oil as a biofuel, as well as a comprehensive environmental assessment. It is essential to implement an agro-ecological zoning to control crop growth and avoid future impacts of land use changes.

## Tabla de Contenidos

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Conceptos Generales sobre la Huella de Carbono Aplicada al Cultivo de Palma Africana</b>	<b>4</b>
2.1	<b>Datos Generales</b>	<b>4</b>
2.1.1	Origen del Cultivo	4
2.1.2	Requerimientos Agroecológicos	5
2.1.3	Actividades del Cultivo de Palma Aceitera	8
2.1.4	El Aceite de Palma Africana	13
2.1.5	La Palma Africana en el Ecuador	15
2.1.6	Expansión del Cultivo	18
2.1.7	Importancia del Cultivo	22
2.1.8	Impactos Ambientales	23
2.2	<b>La Huella de Carbono</b>	<b>31</b>
2.2.1	La Huella de Carbono, Eficiencia Energética y Biocombustibles	32
2.2.2	Huella de Carbono para el Sector Agrícola	34
<b>3</b>	<b>Metodología</b>	<b>36</b>
3.1	<b>Cálculo de la Huella de Carbono</b>	<b>36</b>
3.2	<b>Análisis del Crecimiento del Cultivo</b>	<b>49</b>
3.3	<b>Recopilación de Información y Aplicación de la Metodología</b>	<b>51</b>
3.3.1	Cálculo de Emisiones GEI	51
3.3.1.1	Establecimiento de Límites Organizacionales	51
3.3.1.2	Establecimiento de Límites Operacionales	52
3.3.1.3	Año Base	55
3.3.1.4	Identificación y Cálculo de Emisiones GEI	55
3.3.2	Análisis del Crecimiento del Cultivo	63
3.3.2.1	Generación de Mapas	63
<b>4</b>	<b>Resultados y Discusión</b>	<b>68</b>
4.1	<b>Resultados</b>	<b>68</b>
4.1.1	Huella de Carbono de la Plantación CIPAL	68
4.1.2	Análisis de Crecimiento del Cultivo de Palma en el Ecuador	69
4.2	<b>Análisis de los Resultados</b>	<b>74</b>
4.2.1	Huella de Carbono	74
4.2.2	Crecimiento del Cultivo de Palma	80
	<b>Conclusiones</b>	<b>84</b>
	<b>Recomendaciones</b>	<b>87</b>
<b>5</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>89</b>
	<b>Anexo 1 – Documentos de Respaldo en Formato Digital</b>	
	<b>Anexo II – Registro Fotográfico</b>	
	<b>Anexo III - Mapas</b>	
	<b>Lista de Figuras</b>	
	Figura 2-1: Cortes Longitudinales del Futo de la Palma	4
	Figura 2-2: Conformación Típica de Siembra	10
	Figura 2-3: Rendimiento de Cultivos Oleaginosos por Hectárea	14



Figura 2-4: Mapa de Zonas con Cultivos de Palma de Acuerdo al Censo Nacional Palmicultor 2005 .....	17
Figura 2-5: Mapa de Zonas Palmeras en el Ecuador Continental.....	18
Figura 3-1: Mapa de Ubicación .....	38
Figura 3-2: Croquis de la Plantación del CIPAL .....	38
Figura 3-3: Fuentes de Emisiones Asociadas al Sector Agrícola .....	43
Figura 3-4: Proceso para el Cálculo de Emisiones GEI.....	49
Figura 3-5: Modelo de Zonificación Agroecológica .....	50
Figura 3-6: Emisiones Directas e Indirectas de N <sub>2</sub> O Consideradas en la Metodología del IPCC y Biograce .....	57
Figura 3-7: Proceso de Identificación de Zonas de Temperatura y Precipitación Óptimas.....	64
Figura 3-8: Identificación de Zonas con Temperatura o Precipitación Óptimas.....	65
Figura 3-9: Generación de Zonas Morfopedológicas Aptas para el Cultivo de Palma .....	66
Figura 3-10: Generación del Mapa con la Delimitación de Zonas Aptas para el Cultivo de Palma Africana .....	67
Figura 4-1: Zonas Aptas para el Cultivo de Palma en el Ecuador .....	70
Figura 4-2: Zonificación Agroecológica para el Cultivo de Palma Generada por el MAE.....	72
Figura 4-3: Cobertura de Palma Africana en el Ecuador de Acuerdo al SINAGAP, 2008 .....	73
Figura 4-4: Porcentaje de Emisiones por Actividad – Escenario 1 .....	74
Figura 4-5: Porcentaje de Emisiones por Actividad – Escenario 2 .....	75
Figura 4-6: Porcentaje de Emisiones por Alcance – Escenario 1 .....	75
Figura 4-7: Porcentaje de Emisiones por Alcance – Escenario 2 .....	76
Figura 4-8: Porcentaje de Emisiones por Fuente de Emisión – Escenario 1 .....	76
Figura 4-9: Porcentaje de Emisiones por Fuente de Emisión – Escenario 2 .....	77
Figura 4-10: Identificación de Zonas de Expansión del Cultivo de Palma 2005-2008 .....	81
Figura 4-11: Plantaciones Existentes y Zonas Óptimas Disponibles para Cultivos .....	83

## Lista de Tablas

Tabla 2-1: Clasificación de Topografía para el Cultivo de la Palma Africana.....	7
Tabla 2-2: Clasificación Propuesta de las Propiedades Climáticas en Relación con la Conveniencia para el Cultivo de Palma de Aceite .....	8
Tabla 2-3: Estratificación del Cultivo de Palma Aceitera en el Ecuador, Año 2010.....	16
Tabla 2-4: Superficie Sembrada de Palma Africana Periodo 2000-2010 .....	19
Tabla 2-5: Variación de Superficie Sembrada de Cultivos Permanentes .....	20
Tabla 3-1: Coordenadas de la Plantación CIPAL (WGS84, UTM Zona 17 Sur).....	37
Tabla 3-2: Escenario Base para la Definición de Límites Operacionales.....	41
Tabla 3-3: Emisiones de GEI de las dos Principales Fuentes en el Sector Agrícola .....	44
Tabla 3-5: Actividades consideradas para los Alcances 1, 2 y 3 .....	54
Tabla 3-6: Metodologías Utilizadas para el Cálculo de Emisiones .....	56
Tabla 3-7: Datos Actuales del la Plantación CIPAL Utilizados en los Cálculos de Emisiones ....	58
Tabla 3-8: Datos Ingresados a la Hoja de Cálculo Biograce para Emisiones de N <sub>2</sub> O .....	60
Tabla 3-9: Datos Ingresados a la Hoja de Cálculo Biograce para Emisiones debido a Cambio de Uso de Suelo.....	61
Tabla 3-10: Datos Ingresados a la Hoja de Cálculo Biograce para Emisiones en la Fase de Cultivo .....	62
Tabla 3-11: Variables Óptimas Seleccionadas .....	63
Tabla 4-1: Resultados de Emisiones GEI para el Escenario 1 (actual, sin cambio de uso de suelo).....	68
Tabla 4-2: Resultados de Emisiones GEI para el Escenario 2 (referencial, con cambio de uso de suelo de bosque nativo a plantación de palma).....	68
Tabla 4-3: Emisiones Desagregadas por Alcance.....	68
Tabla 4-4: Emisiones Desagregadas por Fuentes Mecánicas y No Mecánicas .....	69

Tabla 4-5: Resultado de Emisiones Biograce .....	69
Tabla 4-6: Superficie Apta para el Cultivo de Palma por Provincia.....	71
Tabla 4-7: Comparación de Resultados del Estudio y Resultados de la Literatura Consultada ....	78

## **1 Introducción**

La industria agropecuaria en el Ecuador ha tenido una importancia histórica como un eje fundamental en el crecimiento económico y desarrollo social del país. Esto se manifiesta por la participación de la industria agropecuaria en el Producto Interno Bruto (PIB) del Ecuador, alcanzando un 10.7 % del PIB nacional en el 2008, año en el cual este sector fue el segundo productor de bienes más importante del país luego del petróleo, representó el 28% del total de exportaciones y llegó a contribuir con el 26% al ingreso nacional (MAGAP, 2011).

El cultivo de palma africana ha experimentado un crecimiento sustancial en el país en términos de producción, superficie y exportación de su producto procesado. El cultivo está vinculado con el aumento de consumo e interés en biocombustibles. El Ecuador se perfila como un país exportador de aceite crudo de palma para abastecer este creciente mercado (Ayala, 2008).

Un tema de discusión actual sobre los biocombustibles es la sustentabilidad de su producción y uso, en reemplazo de combustibles fósiles, a fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). La huella de carbono es un indicador que permite cuantificar las emisiones GEI y permite evaluar la conveniencia del uso de biocombustibles.

Hasta la fecha, no se han localizado estudios específicos sobre las emisiones de GEI asociadas al cultivo y cosecha de palma en el Ecuador o en la región Andina. Es necesario desarrollar estudios que evalúen el impacto y la sustentabilidad del cultivo y cosecha de palma en el Ecuador para su posterior uso como biodiesel.

En el país, el cultivo de palma africana ha sido asociada a controversiales impactos ambientales, principalmente por la deforestación de bosques primarios y nativos, por lo

que la sustentabilidad de esta actividad es criticada. El cultivo también está relacionado con impactos sobre la calidad del aire por la emisión de isopreno. Por lo tanto es importante analizar el futuro crecimiento del cultivo en el país para determinar el impacto en términos de deforestación y el potencial incremento de emisiones de isopreno.

El objetivo general del presente estudio es realizar el cálculo de la huella de carbono de una plantación de palma africana y determinar el potencial crecimiento del cultivo a nivel nacional.

Los objetivos específicos son:

- Conocer los principales impactos ambientales asociados al cultivo de la palma africana.
- Investigar sobre las metodologías de cálculo aplicables al sector agrícola para la elaboración de un inventario de emisiones de GEI.
- Aplicar las metodologías de cálculo de la huella de carbono del sector agrícola en un estudio de caso en una plantación de palma africana.
- Determinar los requerimientos para el cultivo y crecimiento de palma africana.
- Establecer el potencial crecimiento del cultivo de palma africana en el Ecuador en los próximos años en base a tendencias actuales, y las posibilidades y/o restricciones geográficas o de condiciones ambientales.

En el capítulo dos se presentan conceptos generales sobre el cultivo de palma africana y de la huella de carbono. Se indica el estado actual de esta industria en el Ecuador, su importancia en términos económicos y productivos para el país y los principales impactos ambientales asociados al cultivo, así como los fundamentos base de la huella de carbono y su aplicación al sector agrícola.

En el capítulo tres se detallan las metodologías empleadas para el cálculo de la huella de carbono y el proceso de generación del mapa de zonificación para el cultivo de palma africana, mediante el cual se realiza una proyección de las zonas aptas para el futuro crecimiento del cultivo.

Los resultados y análisis de la metodología empleada se presentan en el capítulo cuatro.

## 2 Conceptos Generales sobre la Huella de Carbono Aplicada al Cultivo de Palma Africana

### 2.1 Datos Generales

#### 2.1.1 Origen del Cultivo

La palma africana o palma aceitera es un cultivo con un auge significativo en los últimos años a nivel mundial, tanto por el crecimiento de la superficie de plantación como por la demanda de los productos derivados de sus frutos.

La palma africana (*Elaeis guineensis*) es originaria de África Occidental y Central (Corley y Tinker, 2003). Actualmente, los cultivos de palma africana se encuentran en zonas ecuatoriales o intertropicales en África, Asia Suroriental y América del Sur y Central.

La palma africana se caracteriza por ser “grande con hojas pinnadas que tiene un solo tallo columnar con entrenudos cortos” (Corley y Tinker, 2003). Los frutos de la palma se producen en racimos compactos, su pulpa rodea a una nuez cuya cáscara encierra a las almendras de palma (ver Figura 2-1).

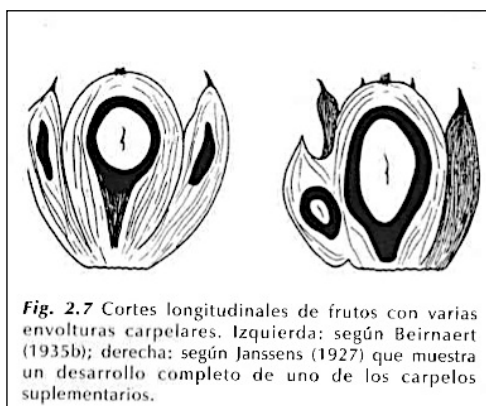


Figura 2-1: Cortes Longitudinales del Futo de la Palma  
Fuente: (Corley y Tinker, 2003)

Existe también la palma americana de aceite (*Elaeis oleifera*), que se encuentra distribuida en los países tropicales de Centro y Sur América. Ésta se diferencia de la *E. guineensis* por su tronco más corto y por la diferencia en su tasa de crecimiento. La palma americana registra aumentos anuales de altura de solo 5-10 cm, menos de un quinto que la *E.*

*guineensis* (Corley y Tinker, 2003).

El tipo de palma cultivada en América del Sur para fines comerciales es generalmente un híbrido entre la *E. Guineensis* y *E. Oleifera*, de las cuales existen algunas variedades, la más común llamada Tenera. El valor principal de la palma americana es justamente su uso para la hibridación con la palma africana, ya que se busca obtener sus características de lento crecimiento y resistencia al amarillamiento fatal; enfermedad que ocasiona el pudrimiento del punto de crecimiento de la planta y que ha generado la devastación total de algunas plantaciones en Colombia (Corley y Tinker, 2003). Al obtener una planta de menor crecimiento anual, se alarga el periodo productivo del cultivo, ya que las palmas son eliminadas después de alrededor de 25 años (Corley y Tinker, 2003). Estos híbridos, además de ser más compactos, producen más racimos por año, por lo que pueden generar rendimientos de más del doble que otras variedades (Clay, 2004).

El ciclo de crecimiento de la palma desde su etapa de inmadurez hasta su etapa de fructificación tarda entre 2.5 a 3 años. Los frutos se presentan como racimos que pueden alcanzar hasta 50 o más cm de largo y 35 cm de ancho (Corley y Tinker, 2003). El peso de los racimos varía con la edad, en palmas de 3 años se registran pesos promedio de 5 kg y en plantas de 15 años pueden pesar más de 25 kg (Corley y Tinker, 2003). El número de racimos producidos declina con la edad, llegando a su máximo en un período de 3 a 6 años. Sin embargo las plantas mantienen un rendimiento constante por muchos años, durante los cuales el peso de los racimos se incrementa (Corley y Tinker, 2003).

### **2.1.2 Requerimientos Agroecológicos**

Al ser un cultivo nativo a zonas tropicales, la palma africana requiere de condiciones particulares para su crecimiento y adecuado rendimiento. A continuación se señalan los principales requerimientos agroecológicos para el cultivo de la palma africana, los cuales

serán utilizados en secciones posteriores para determinar las zonas aptas para el cultivo en el Ecuador.

### **Temperatura**

La temperatura es un factor determinante para el crecimiento de la palma, requiriendo un rango óptimo entre los 24-28°C. El mejor crecimiento se presenta a los 25°C. Puede crecer a temperaturas menores a los 20°C, e incluso en zonas como La Concordia en Ecuador, donde se han registrado temperaturas entre los 12-13°C. Las bajas temperaturas pueden incidir en el incremento de abortos de la planta y una lenta maduración de los racimos (ANCUPA, 2012).

### **Precipitación**

El cultivo es muy demandante de agua y requiere niveles de precipitación entre 150-180 mm por mes, es decir, 1800-2200 mm/año (ANCUPA, 2012). El nivel óptimo de precipitación es de 2000 mm anuales, distribuidos regularmente, sin una estación seca marcada y con por lo menos 100 mm mensuales (Corley y Tinker, 2003).

### **Radiación Solar**

La palma requiere de 1400-1600 horas/año de brillo solar, es decir de 5-7 horas de brillo solar diario en todos los meses y radiación solar de 15 MJ/m<sup>2</sup> o 173.55 W/m<sup>2</sup> por día (Corley y Tinker, 2003).

### **Humedad Relativa**

Goh (2000), citado por Corley y Tinker señala que la palma requiere una humedad relativa superior al 85% en condiciones óptimas.

### **Suelo**

La palma es tolerante a una variedad de condiciones con respecto al suelo, incluso grandes variaciones en acidez (pH 4-6.5). El suelo recomendable debe presentar poca arena gruesa y una textura que permita un drenaje apropiado que retenga suficientes cationes de



intercambio y un nivel adecuado de materia orgánica (Corley y Tinker, 2003).

Los suelos que cumplen con estos requisitos son los de textura franco, franco-arcilloso y franco-limoso. Estos permiten una adecuada respiración de las raíces, lo cual facilita la absorción de nutrientes y agua. Estos suelos mantienen la capacidad de campo, por lo que no tienen excesos o déficits de agua (ANCUPA, 2012).

La pendiente máxima del terreno para la siembra de palma, debido a peligros de erosión durante la siembra, “debería ser de preferencia no más de 12°, y con seguridad no mayor a 20°” (Corley y Tinker, 2003). La clasificación de topografía recomendada por Corley y Tinker se muestra en la Tabla 2-1:

Tabla 2-1: Clasificación de Topografía para el Cultivo de la Palma Africana

Característica del Suelo – Topografía	Muy Apropiado		Moderadamente Apropiado	Marginamente Apropiado	No Apropiado
	Sin Límite	Limitación Menor	Limitación Moderada	Limitación Grave	Limitación Muy Grave
Pendiente (%)	0-4	4-12	12-23	23-38	>38
Pendiente (°)	0-2	2-6	6-12	12-20	>20

Fuente: (Corley y Tinker, 2003)

Corley y Tinker desarrollaron una “Clasificación propuesta de las propiedades climáticas en relación con la conveniencia para el cultivo de palma de aceite” (Corley y Tinker, 2003) que se presenta en la Tabla 2-2:

Tabla 2-2: Clasificación Propuesta de las Propiedades Climáticas en Relación con la Conveniencia para el Cultivo de Palma de Aceite

Elemento Climático	Altamente Conveniente	Conveniente	Moderadamente Conveniente	Generalmente Conveniente	Permanentemente Inconveniente
Precipitación anual (mm/año)	2000-2500	2500-3000 1700-2000	3000-4000 1400-1700	4000-5000 1100-1400	>5000 <1100
Duración de estación seca (meses)	0	1	2-4	5-6	>6
Temperatura media anual (°C)	26-29	29-32 23-26	32-34 20-23	34-36 17-20	>36 <20
Radiación solar diaria (W/m <sup>2</sup> )	185-187	197-220 162-185	220-243 162-127	243-266 93-127	>266 <93
Viento (m/s)	<10	10-15	15-25	25-40	>40

Fuente: (Corley y Tinker, 2003)

### 2.1.3 Actividades del Cultivo de Palma Aceitera

Una plantación de palma aceitera involucra algunas actividades básicas comunes a esta industria en el Ecuador. La información presentada se basa en la “Caracterización del Cultivo de Palma Aceitera” y en el “Manual del Cultivo de Palma Aceitera” realizados por la Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Africana (ANCUPA), creada en 1970, organización que brinda apoyo técnico y representación de sus asociados (ANCUPA, 2011). Las actividades incluyen los procesos necesarios para iniciar una plantación.

#### Preparación del Terreno

Una vez determinado el lugar donde se realizará el cultivo, el primer paso es retirar la vegetación existente. Se marca la posición de los caminos de cosecha y las hileras de palma. En una hectárea de terreno se puede plantar un promedio de 143 palmas (ANCUPA, 2010 a). Los drenajes naturales deben ser limpiados y se deben instalar nuevos drenajes en zonas donde se identifique la necesidad de remover excesos de agua superficial. La vegetación removida debe ser apilada en montículos para prevenir la obstrucción de cauces de agua.

Dependiendo del tipo de vegetación reemplazada, se puede requerir de herbicidas para remover pasto o hierbas. Usualmente se aplican herbicidas como gramoxone o glifosato. Normalmente se requiere un mínimo de dos aplicaciones, y cuando se reemplaza un cultivo, se suele aplicar insecticidas para eliminar plagas asociadas a cultivos anteriores.

Se conforman terrazas para obtener superficies planas para la siembra de la palma, a fin de facilitar la siembra y cosecha. En plantaciones pequeñas, se conforman por plataformas individuales de 3 m de diámetro que no son interconectadas, mientras que en plantaciones grandes se puede realizar movimientos de tierra siguiendo la topografía.

Las terrazas sirven además para prevenir problemas de erosión y escorrentía. Se procede a realizar una cobertura de leguminosas tan pronto terminan los trabajos de conformación para prevenir la erosión del suelo.

### **Conformación de Caminos de Acceso y Caminos de Cosecha**

La creación de caminos de acceso y cosecha depende del tamaño de la plantación. Por lo general, los caminos de acceso corren en forma perpendicular a los caminos de cosecha con anchos promedio de 3 a 5 m. Debido al volumen de carga y tráfico que soportan, éstos suelen estar cubiertos por grava o algún material de soporte. Incluyen cunetas para evacuar agua de escorrentía. Los caminos de cosecha tienen distancias promedio de 200 m.

### **Construcción de Campamentos, oficinas y bodegas**

Algunas plantaciones incluyen campamentos para el alojamiento de personal, especialmente si la plantación se ubica en zonas alejadas. Usualmente, estas construcciones son mixtas, utilizando materiales como cemento, bloque y madera. Los campamentos son más usuales en plantaciones medianas a grandes, ya que las pequeñas plantaciones suelen ser de carácter familiar, y las personas que realizan las labores de mantenimiento y cosecha tienen su vivienda en la misma plantación.

Otras estructuras que pueden estar presentes son oficinas y bodegas, dependiendo de las necesidades y tamaño del cultivo.

### Siembra

La siembra se realiza con plantas de alrededor de un año. Las hileras de palmas se orientan siempre de norte a sur para un mejor aprovechamiento de la radiación solar (en el Ecuador). La conformación típica es en forma de triángulo equilátero, de 9 m de lado, por lo que la distancia entre hileras es de 7.8 m y la distancia entre palmas de 9 m (ver Figura 2-2). Alrededor de cada palma se forma una “corona”, que es un círculo de 1 m de diámetro libre de malezas y residuos, con el objetivo de asegurar el desarrollo de la palma sin competencia de cualquier factor. Esta corona se mantiene despejada durante toda la vida de la palma.

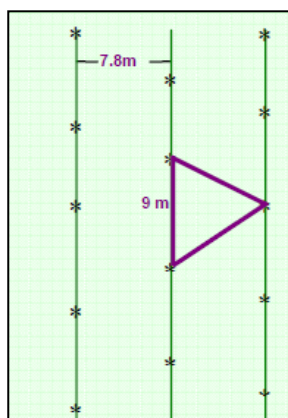


Figura 2-2: Conformación Típica de Siembra  
Fuente: (ANCUPA, 2010 a)

### Mantenimiento

Es la fase de mayor duración del cultivo, ya que se realiza a lo largo de su vida productiva.

Las actividades en esta fase incluyen:

- Mantenimiento de coronas y caminos
- Establecimiento de cobertura vegetal
- Análisis de suelo y foliares

- Fertilización
- Control de plagas
- Podas

El establecimiento de cobertura vegetal con leguminosas es un paso importante ya que mejora el contenido de materia orgánica del suelo, controla la erosión, reduce la compactación y temperatura del suelo, mantiene la humedad, reduce la necesidad de remoción de vegetación rastrera, y estimula la micro flora y micro fauna del suelo. Adicionalmente, leguminosas como la pueraria o kudzú (*Pueraria phaseoloides*), mucuna (*Mucuna bractetata*) y otras, fijan el nitrógeno atmosférico mediante su interacción con bacterias en el suelo como *Bradyrhizobium* y *Rhizobium*, generando un aporte de este nutriente para ser utilizado por la palma.

El control de malezas en la corona es imprescindible para asegurar la eficiencia de la fertilización y control de plagas de la raíz y para reducir el porcentaje de frutos extraviados en el campo. El control de malezas se realiza a mano o mediante la utilización de maquinaria como la moto guadaña. Para mantener las coronas libres de plantas se utilizan herbicidas en cultivos adultos, de 5 años en adelante, con una dosis aproximada de 2.5 cm<sup>3</sup> herbicida/palma con una periodicidad de 60 a 120 días. No se utilizan herbicidas en cultivos de 1 a 4 años de edad ya que las hojas cercanas al suelo y las raíces pueden dañarse. Adicionalmente, se realizan controles de maleza en las interlíneas para evitar competencia por luz, agua, nutrientes y espacio entre las palmas con otras plantas, utilizando métodos manuales o mecánicos.

La fertilización es otra actividad necesaria para asegurar el buen rendimiento del cultivo de palma. Cada plan de fertilización depende de las condiciones particulares del sembrío, por lo que los nutrientes, concentraciones y periodicidad de aplicación dependen de las

características físicas, químicas y biológicas del suelo, así como otros factores particulares del sitio. En el Ecuador, los principales nutrientes que requiere la palma aceitera son el Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Boro (B). La fertilización se realiza de acuerdo a análisis foliares y de suelo. La aplicación se ejecuta varias veces al año en función del tipo de fertilizante, tipo de suelo, edad del cultivo y calidad de drenaje en el sitio.

La aplicación en el suelo de los residuos de la palma como troncos, hojas, raquis (racimos vacíos) y la leguminosa de cobertura se utilizan como un complemento a la fertilización, ya que al descomponerse liberan al suelo nutrientes como nitrógeno y potasio y aumentan el contenido de materia orgánica. Además se pueden utilizar los lodos y efluentes del proceso de extracción de aceite como abono orgánico.

### **Cosecha y Transporte**

Una vez que los racimos llegan a su madurez, son cosechados y transportados a las plantas extractoras dentro de las siguientes 12 horas, para evitar el aumento de ácidos grasos en la fruta. La cosecha se realiza cada 8 a 10 días. La primera cosecha se realiza cuando la palma tiene entre 24 y 34 meses de edad. Por lo general, se utilizan mulas para la extracción de los racimos y/o maquinaria. Se recomienda evitar el uso de maquinaria ya que ésta compacta el suelo y puede afectar las raíces de las palmas que tienen una extensión radial extensa. Usualmente se utiliza maquinaria en plantaciones grandes por la extensión del terreno.

La fruta cosechada se transporta a las plantas extractores en camiones, debido al corto tiempo en el cual se debe procesar la fruta después de ser cosechada, las extractoras suelen ubicarse en cercanía a las zonas de cultivo, por lo que las distancias de transporte suelen ser cortas.

#### **2.1.4 El Aceite de Palma Africana**

La cadena de valor de la palma africana incluye el aceite crudo de palma, la torta de palmiste, el aceite refinado y sus fracciones. Se obtienen dos tipos de aceite de la extracción de la fruta fresca (los racimos cosechados), el aceite crudo o rojo de palma que proviene del mesocarpio o la pulpa del fruto, y el aceite crudo de almendra o palmiste, que proviene de la almendra en el endocarpio, al interior de la fruta. De la extracción del palmiste queda la torta, que puede ser utilizada para la producción de balanceado para animales. Los aceites crudos deben pasar por un proceso de fraccionamiento adicional que resulta en la obtención del aceite de palma refinado (Ayala, 2008).

El aceite de palma se ha convertido en sustituto de una variedad de productos que solían provenir de aceites animales y vegetales. El aceite de palma tiene usos industriales y alimenticios. Se utiliza en la industria para reducir la fricción durante fabricación de acero inoxidable, para la elaboración de concentrados minerales, aditivos para lubricantes, crema para zapatos, tinta para imprentas, velas, entre otros (Ayala, 2008). El aceite refinado sirve para consumo humano, como el ingrediente principal de la margarina y manteca, aceites de mesa, y en la producción de detergentes líquidos, jabones, shampoos. En su consistencia más sólida sirve como la base de lápices de labio, ceras y betunes (Clay, 2004).

El consumo humano per cápita de aceites vegetales se ha incrementado rápidamente en los últimos treinta años, más que cualquier otro grupo de alimentos (Clay, 2004). Mercados como China e India tienen un mayor poder adquisitivo y pueden comprar más aceites vegetales. Además, hay preferencia en el consumidor global por utilizar aceite vegetal en relación al aceite de origen animal. Otro atractivo del cultivo es que “dentro de los cultivos de semillas oleaginosas, la palma es la que mayor cantidad de aceite produce por hectárea” (Ayala, 2008). De acuerdo a datos obtenidos de Oil World por ANCUPA, la palma africana tiene un rendimiento de 5550 L de aceite por hectárea. La comparación de su

rendimiento con otras oleaginosas se observa en la Figura 2-3:

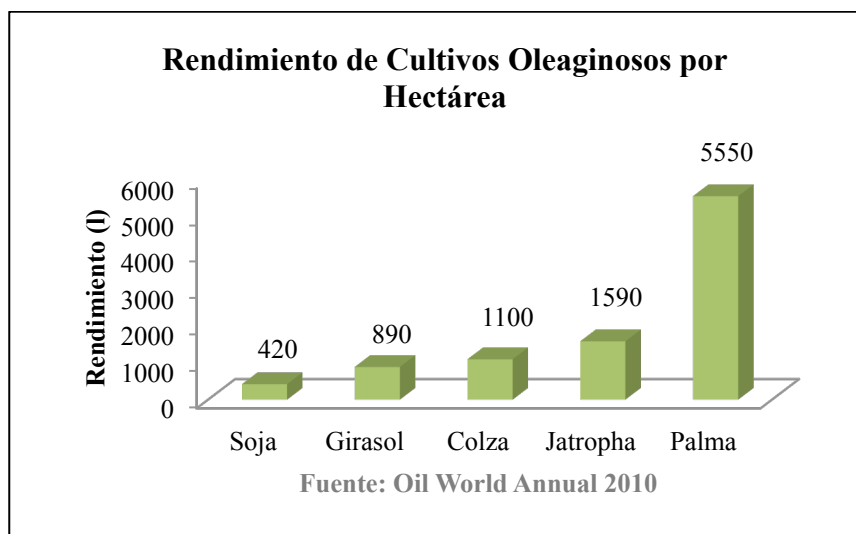


Figura 2-3: Rendimiento de Cultivos Oleaginosos por Hectárea  
Fuente: Oil World citado por ANCUPA, 2010 a.

Algunos analistas consideran que la demanda de aceites vegetales continuará creciendo y que el aceite de palma seguirá dominando el mercado (Clay, 2004).

### **El Aceite de Palma y los Biocombustibles**

Más aún, la demanda por el aceite de palma se ha incrementado por su uso para la fabricación de biodiesel. El creciente consumo de biocombustibles se desarrolla en un marco legislativo y programa de incentivos que promueven el reemplazo de combustibles fósiles por biocombustibles (Bravo, 2007). El biodiesel puede reemplazar al gasoil utilizado en motores de diesel convencional, al mezclarse con diesel petrolífero en porcentajes de 30% o 70%, o como reemplazo del mismo en un 100%. También puede utilizarse como aditivo para combustibles derivados del petróleo en proporciones 1%-5% (Bravo, 2007). Es previsto que América Latina proveerá la creciente demanda de biodiesel, ya que sus gobiernos ven en este sector oportunidades de exportación y se estima que los aceites de soya y palma serán los principales utilizados para satisfacer esta demanda (Bravo, 2007).



La Unión Europea es el principal consumidor de biodiesel. Para el año 2010 se prevé que el 5.75% del combustible utilizado en el transporte sea de origen vegetal (Bravo, 2007). ANCUPA estima que “la producción de biodiesel del mundo a partir de aceite de palma se expandirá en 32% hasta el año 2019, y el comercial neto alcanzará las 2,2 millones de toneladas en relación al 2010” (ANCUPA, 2010 b). Con estos preceptos, es acertado afirmar que gran parte de los cultivos de palma africana y su producción de aceite serán destinados para obtener biocombustible.

### **2.1.5 La Palma Africana en el Ecuador**

El cultivo de la palma africana en el Ecuador empieza en 1952, “cuando se importaron semillas procedentes de las plantaciones de la United Fruit Company en Honduras, con estas semillas los hermanos Roscoe y Leal Scoot desarrollaron la primera plantación de palma aceitera del país entre 1953 y 1954” (ANCUPA , 2010 a).

El Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) inició desde 1964 investigaciones para el mejoramiento genético de semillas desarrollando el híbrido Tenera – INIAP, el cual está adaptado a las condiciones climáticas del país. Esta es la variedad de semilla más utilizada por los productores de las zonas del Oriente y Noroccidente Ecuatoriano (INIAP, 2011). Además de las semillas del INIAP, existen otras de variedad Tenera que se cultivan en el país como la ASD, importada de Costa Rica y la Cyrad (IRHO) importada actualmente desde Brasil (Ayala, 2008).

De acuerdo a datos proporcionados por ANCUPA y confirmados por otros autores (Ayala, 2008 y Buitrón, 2001) en sus inicios, el cultivo de palma en el Ecuador se concentró en el cantón de Santo Domingo de los Colorados y Quinidé (ANCUPA, 2010 a), y en el año 1967 ya se contaba con 1020 ha de cultivos de palma en estas zonas (ANCUPA, 2010 b). Hasta el año 2011, se registró una superficie sembrada en el país de alrededor de 240 000

hectáreas, las cuales pertenecen a pequeños<sup>1</sup> palmicultores en un 40% de acuerdo a la

Tabla 2-3:

Tabla 2-3: Estratificación del Cultivo de Palma Aceitera en el Ecuador, Año 2010

<b>Rango (ha)</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>%</b>	<b>Cantidad de Palmicultores</b>	<b>%</b>
1-10	16 589	7%	2507	42%
11-20	21 610	9%	1266	21%
21-50	56 827	24%	1452	24%
51-100	44 904	19%	504	8%
101-200	36 061	15%	192	3%
201-500	20 580	9%	55	1%
501-1000	13 063	5%	15	0%
+ 1000	30 366	13%	9	0%
<b>TOTAL</b>	<b>240 000</b>	<b>100%</b>	<b>6000</b>	<b>100%</b>

Fuente: MAGAP Censo Palmero y ANCUPA, 2010 a.

En el país, la mayoría de los productores tienen un promedio de 40 ha por unidad productiva (ANCUPA, 2010 b). De acuerdo a estos datos, el 87% de los agricultores tiene menos de 50 ha, el 12% entre 50-200 ha y el 1% tiene 200 ha y más. En términos de superficie cultivada, el 40% de los cultivos tiene una extensión entre 1-50 ha, el 34% entre 50-200 ha y el 27%, 200 ha o más.

Un mapa de las principales zonas palmeras en el Ecuador, de acuerdo al censo nacional palmicultor realizado en el año 2005 por el MAGAP, se observa en la Figura 2-5 :

<sup>1</sup> De acuerdo a ANCUPA, plantaciones pequeñas corresponden a plantaciones entre 1-50 ha, medianas entre 50-200 ha y grandes mayores a 200 ha.

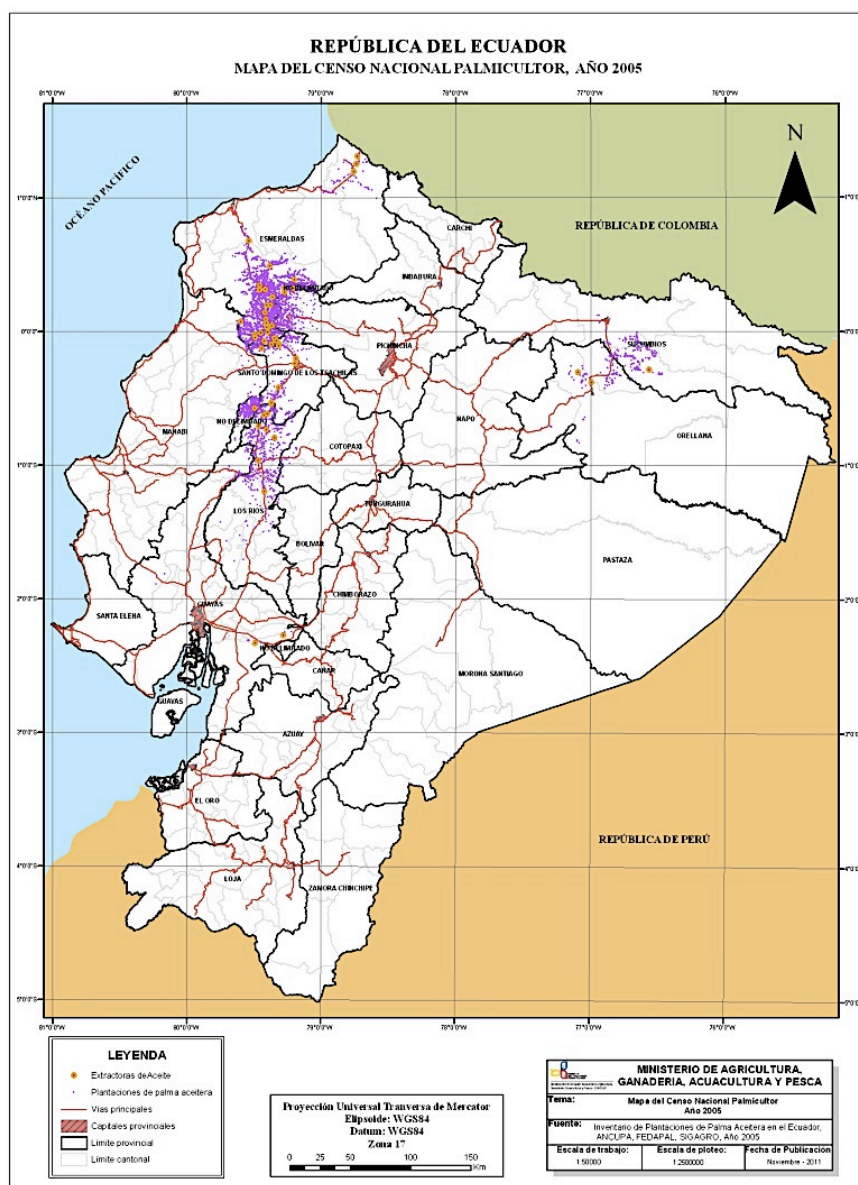


Figura 2-4: Mapa de Zonas con Cultivos de Palma de Acuerdo al Censo Nacional Palmicultor 2005  
Fuente: (MAGAP, 2011)

ANCUPA realizó una proyección de la superficie de cultivos de palma al año 2010 en base al mapa realizado por el MAGAP, en el cual se detallan las superficies estimadas en las principales zonas palmeras como se presenta en la Figura 2-5:

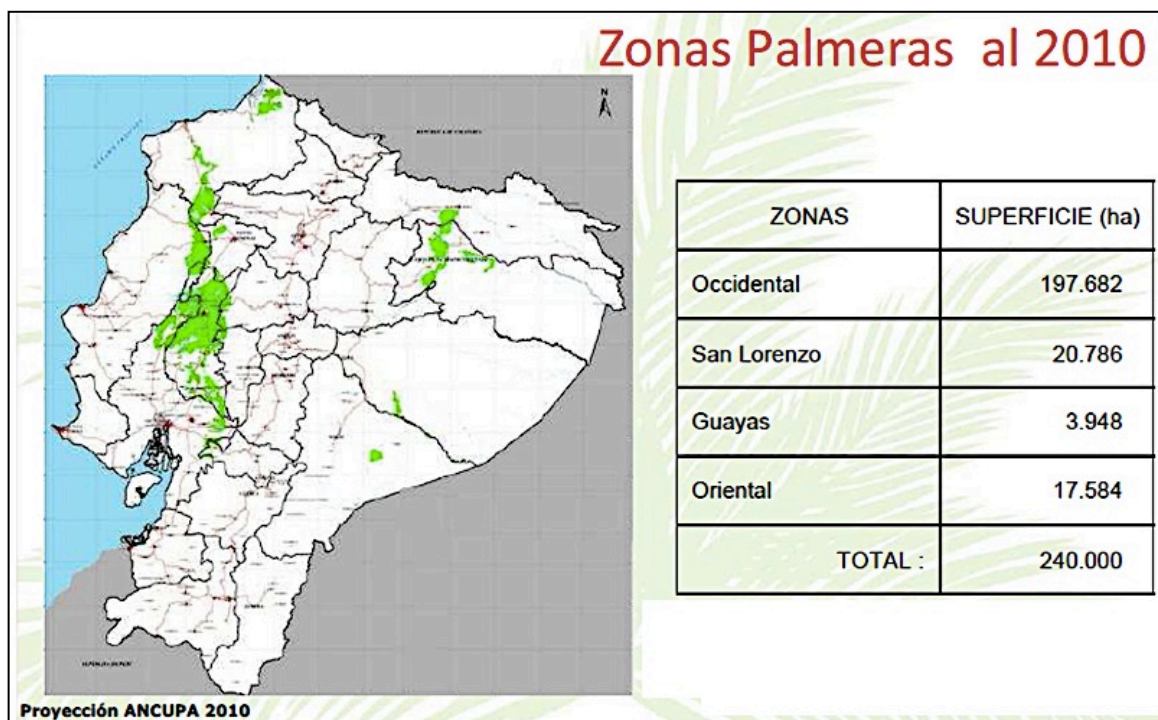


Figura 2-5: Mapa de Zonas Palmeras en el Ecuador Continental  
Fuente: ANCUPA, 2010 a.

#### 2.1.6 Expansión del Cultivo

De acuerdo a cifras registradas por el SINAGAP la superficie de cultivo ha incrementado significativamente en el país de acuerdo a datos registrados desde el año 2000 al año 2010. Como se observa en la Tabla 2-4, en el año 2010 la superficie de cultivo de palma africana en el Ecuador fue de 258 218 ha, versus 162 202 ha en el 2000. Hay un aumento de 59.2% en un periodo de diez años.

Tabla 2-4: Superficie Sembrada de Palma Africana Periodo 2000-2010

Año	Superficie Sembrada (ha)
2000	162 202
2001*	171 729
2002	135 826
2003	134 217
2004	148 091
2005	172 674
2006	174 883
2007	167 134
2008	174 644
2009	232 497
2010**	258 218

Fuente: (MAGAP – SINAGAP 2011)

\* Los datos del año 2001 corresponden al promedio de los años 2000 y 2002.

\*\* Los datos del año 2010 son provisionales, estos han sido calculados considerando el promedio de las variaciones porcentuales observadas durante los 3 últimos años.

Incluso la fruta de palma africana ha desplazado a otros cultivos, de acuerdo al “Estudio de la Situación del Cultivo” realizado por ANCUPA, se establece que la palma africana “pasó de ser el cuarto producto permanente con mayor superficie en el 2002, después de banano, café y cacao; a ser el tercer producto más cultivado luego del banano y cacao.

La Tabla 2-5 indica la variación de hectáreas plantadas de cultivos permanentes en el período 2002-2009. Estas cifras indican que el área de los cultivos de banano, café y plátano ha disminuido.

Tabla 2-5: Variación de Superficie Sembrada de Cultivos Permanentes

Cultivos Permanentes	Variación 2005-2002	Variación 2009-2005	Variación 2009-2002
Total Nacional	-1%	11%	10%
Banano (fruta fresca)	-4%	-2%	-6%
Cacao (almendra seca)	-2%	11%	9%
Café (grano oro)	-9%	-16%	-24%
Caña de azúcar para azúcar (tallo fresco)	23%	14%	40%
Maracuyá (fruta fresca)	16%	-10%	4%
Naranja (fruta fresca)	-5%	14%	8%
Palma Africana (fruta fresca)	38%	39%	92%*
Plátano (fruta fresca)	-10%	-5%	-14%
Tomate de árbol (fruta fresca)	87%	-31%	29%
Otros permanentes	-20%	86%	48%

Fuente: ESPAC, INEC, 2002, 2005, 2009 citado en (ANCUPA, 2010 b)

\* La cifra difiere del porcentaje de incremento en la superficie calculado en 59.2% de acuerdo a datos del MAGAP. Aunque las cifras del crecimiento de la superficie sembrada difieren, ambas indican un aumento significativo en el crecimiento del cultivo. Es importante señalar que el dato calculado a partir de información del MAGAP corresponde al período 2000-2010 mientras que la figura en la Tabla 2-5 corresponde al período 2002-2009.

De acuerdo a Roberto Burgos, Director de investigación y transferencia tecnológica del Centro de Investigación de Palma Aceitera (CIPAL), muchas de las fincas que ahora cultivan palma africana fueron antes de otros cultivos. Al ver que los ingresos y el mercado de sus productos se reducía, decidieron invertir en la palma (Burgos, entrevista). Esto se ratifica por el incremento de más de 140% en las ventas del producto durante la última década de cultivo en el Ecuador (ANCUPA, 2010 b).

La mayor zona cultivada se registra en la provincia de Esmeraldas, dentro de la cual Quinidé tiene un 56% del total, San Lorenzo 17% y La Concordia 26% (ANCUPA, 2010 b). Orellana y Sucumbíos contribuyen con alrededor del 7% de la superficie total cultivada (ANCUPA, 2010 b).

En el censo del 2000, se registran los mayores aumentos en superficie sembrada en la provincia de Esmeraldas, y se indica una reducción de área en Pichincha, específicamente

en Santo Domingo, debido a “desplazamientos hacia otras zonas que presentan mejores condiciones agronómicas para producción. El Oriente va adquiriendo mayor importancia” (ANCUPA, 2010 b).

En el Ecuador, el cultivo de palma “se caracteriza por ser un cultivo extensivo más que intensivo, en ese sentido el incremento de la producción de las últimas décadas responde en su mayoría a una expansión de la superficie sembrada más que a un mejoramiento del rendimiento” (ANCUPA, 2010 b). Aunque la productividad del país ha mejorado, alcanzando las 16 t/ha de fruta fresca, ésta es inferior al rendimiento de países vecinos como Colombia y Perú que registran valores de 19 t/ha, ó Nicaragua y Guatemala con rendimientos de 24 t/ha y 25 t/ha respectivamente. (ANCUPA, 2010 b).

Un factor que limita la expansión del cultivo son los costos de inversión. Para empezar una plantación se requiere de una inversión de alrededor de \$2000 -\$3000 por hectárea, sin contar el costo del terreno (Burgos, entrevista). Adicionalmente, la palmicultura es una actividad que requiere desarrollo tecnológico, en términos de investigación de semillas, mecanización y aplicación eficiente de insumos y post cosecha, aplicación de fertilizantes e incluso riego para asegurar un buen rendimiento (ANCUPA, 2010 b).

Dentro de sus proyecciones, ANCUPA plantea incrementar el área actual sembrada para el año 2020 en un 20% hasta llegar a las 288 mil hectáreas. Se tiene previsto optimizar la productividad de las plantaciones con el objetivo de incrementar la producción mediante un crecimiento moderado del área cultivada (ANCUPA, 2010 b). Se plantea un aumento de al menos 40% del rendimiento de aceite por hectárea, pasando del rendimiento actual de 2.14 t/ha a 3t/ha (ANCUPA, 2010 b).

### **2.1.7 Importancia del Cultivo**

La importancia económica de la palma africana en el país impulsa su continuo y acelerado crecimiento.

De acuerdo a datos del MAGAP, la producción de palma africana genera aproximadamente 60 000 plazas de trabajo y se estima que se emplea a otras 30 000 personas en actividades relacionadas al cultivo, como la comercialización e industrialización de la fruta (Ayala, 2008).

Las cifras por exportaciones de los productos de la cadena de valor de la palma en el año 2000 representaron el 0.61% del total de las exportaciones de productos industrializados no tradicionales, y el 25.6% de las exportaciones industriales de extractos de aceites vegetales. En el 2004, estas cifras se elevaron al 3.38% y 74.88% respectivamente (Ayala, 2008).

El Ecuador se encuentra entre los diez principales países exportadores de aceite de palma en el mundo (Clay, 2004), y a partir del 2010, como el primer exportador mundial del continente Americano y en el séptimo lugar de productores mundiales (ANCUPA, 2010 b).

El aceite de palma crudo y refinado está dentro de las principales exportaciones agropecuarias del país, en octavo puesto, con 186 millones de dólares en el 2008 (MAGAP, 2011). La industria de la palma en el Ecuador representa el 15% del PIB agrícola y el 1.8% del PIB total del país (ANCUPA, 2010 a). La producción derivada de la industria de aceite de palma genera alrededor de 103 millones de dólares contribuyendo con el 2.5% al PIB del sector manufacturero y con el 0.2% al PIB total (ANCUPA, 2010 b).

En términos de precios, a nivel nacional, el precio referencial al que las extractoras compraron la fruta fresca a los palmicultores en el año 2000 fue de \$58.54/t.



Sobre los precios del aceite de palma, desde el 2001 hasta el 2010, los precios del aceite crudo de palma en el Ecuador han incrementado en un 165%, mientras que los precios internacionales han ascendido en un 323% (ANCUPA, 2010 b).

### **2.1.8 Impactos Ambientales**

Los impactos ambientales asociados al cultivo de palma africana han sido documentados extensamente en la literatura, en respuesta a la rápida expansión del cultivo, y su propagación a regiones tropicales notorias por tener zonas de alto valor biológico. El auge de la comercialización de los productos derivados de la palma ha encendido debates sobre la sostenibilidad del cultivo y la contraposición de nociones que, por un lado, valoran su contribución al impulso económico de países en desarrollo y a la utilización de energías alternativas y aquellas que condenan los impactos ambientales y sociales generados por el cultivo.

A continuación se analizan los principales impactos ambientales asociados a la palmicultura, con un enfoque en impactos negativos, y en el caso particular de estos cultivos en el Ecuador, ya que en secciones anteriores se describió la importancia del cultivo por su valor económico.

Los impactos generados por las plantaciones están estrechamente relacionados con las superficie plantada, generalmente impactos de mayor magnitud se asocian con plantaciones de mayor extensión. Es importante recordar, al considerar los impactos descritos, que en el Ecuador, el 40% de los cultivos tienen una extensión entre 1-50 ha, que entra bajo la clasificación de plantación pequeña, el 34% tiene entre 50-200 ha bajo la categoría de mediana y el 27% tiene 200 ha o más bajo la categoría de plantación grande.

### **Conversión de Hábitats y Deforestación**

El impacto más importante en relación a los cultivos de palma africana es su relación con la deforestación de bosques primarios. Se argumenta que, en vista de que las condiciones agroecológicas necesarias para el cultivo de palma coinciden con zonas de bosques tropicales, muchos cultivos en Asia, Sur y Centro América han sido responsables por la deforestación de bosque primario.

Dada la excelente productividad de la palma aceitera, debió ser fácil conservar áreas representativas de biodiversidad dentro de áreas productivas y asegurar la conservación de corredores biológicos de manera que se permita el movimiento de especies entre parques, reservas y plantaciones. Sin embargo, esto no sucedió en los cultivos en países Asiáticos donde existen registros de concesiones de palma africana en áreas de bosques primarios (Corley y Tinker, 2003).

Algunos productores señalan que es más caro establecer plantaciones en suelos degradados o pastizales debido a la gran cantidad de fertilizantes químicos que deben ser aplicados al suelo (Corley y Tinker, 2003). En muchos casos, el costo de talar el bosque para preparar el terreno para plantación es subsidiado por la venta de madera de las áreas concesionadas (Corley y Tinker, 2003).

En ocasiones, la expansión del cultivo no ha sucedido de la mano de esfuerzos para mejorar el rendimiento de las plantas, por lo que se ha requerido de una mayor expansión de áreas cultivadas para incrementar la producción (FAO, 2008). En este caso, la categoría de suelo que es convertido a plantaciones de palma es un factor crítico en la magnitud del impacto. Si una plantación reemplaza a áreas degradadas, baldías o a pastizales, el impacto puede ser incluso positivo, ya que la captura de carbono de la plantación sería un aporte a la reducción de carbono en la atmósfera. Sin embargo, si la conversión proviene de bosques primarios o secundarios, además de los impactos sobre la biodiversidad, se

generan emisiones de carbono en detrimento de la calidad de aire y el calentamiento global (Butler y Laurence, 2000).

La conversión de suelo de bosques a plantaciones de palma tiene un impacto devastador en las tasas de biodiversidad de las zonas afectadas, habiendo registros de que las plantaciones de palma son zonas biológicamente pobres, aún en comparación con bosques bajo altas presiones de tala en los trópicos (Butler y Laurence, 2000). Existen registros de menor número de especies en plantaciones de palma que en bosques degradados (Corley y Tinker 2003). Por lo tanto, grandes extensiones de cultivos de palma pueden contribuir a la fragmentación de remanentes de bosque y la alteración de hábitats acuáticos (Butler y Laurence, 2000).

Las plantaciones de palma, pueden contribuir indirectamente a la expansión de la frontera agrícola y la deforestación, en casos de reemplazo de cultivo de palma por otros cultivos. La expansión de la palma puede empujar a la producción agrícola y ganadera a otras zonas, resultando en presiones adicionales para los bosques (Butler y Laurence, 2000).

En el Ecuador, hay ONG's que han acusado a empresas palmicultoras de deforestar cerca de 4550 ha de bosque en las zonas de San Lorenzo y Eloy Alfaro, en la Provincia de Esmeraldas; de las cuales 2500 pertenecían a bosques primarios dentro del corredor ecológico "Chocó-Manabí" (Albán y Cárdenas, 2007; Hazlewood, 2012). La deforestación de estas zonas está relacionada con la reducción de lluvias, aumento de temperatura, incremento en la incidencia de malaria, leishmania y otras enfermedades tropicales en San Lorenzo (Hazlewood, 2012).

Los impactos de conversión de hábitats y deforestación aumentan su magnitud de conformidad con el área de cultivo. Es importante notar que de acuerdo a ANCUPA, la zonas de San Lorenzo y Guayas registran áreas de cultivos por productor, que son cuatro a cinco veces más extensas que en las demás zonas, "lo cual determina que en dichas áreas

existe un alto nivel de concentración de la superficie en un número menor de productores. Por ejemplo, el 9% de las áreas productivas en San Lorenzo abarca apenas al 1% de los productores (ANCUPA, 2010 b). El impacto de deforestación en la zona de San Lorenzo es mayor considerando que las plantaciones en esta zona son bastante extensas.

Además de Esmeraldas, la deforestación de bosque primario ha ocurrido también en las Provincias de Pichincha, particularmente en Santo Domingo<sup>2</sup>, Orellana y Sucumbíos (Albán y Cárdenas, 2007). Un estudio comparó mapas de deforestación generados por el CLIRSEN para el período 1991-2000 con mapas de cultivos de palma al año 2002, cuyo análisis determinó que muchas de las áreas en las cuales existían cultivos de palma coincidían con zonas en las que ha ocurrido deforestación (Albán y Cárdenas, 2007). Sin embargo, no se proporcionan datos que aseguren que las zonas deforestadas hayan dado paso a cultivos de palma como primer uso de suelo, algo importante, ya que las zonas referidas han sido parte del desarrollo agrícola del país desde los años 50.

### **Aire**

La calidad de aire se ve afectada durante la apertura de caminos y vías para el establecimiento de plantaciones y durante la remoción de la cobertura vegetal para la preparación de la tierra. En algunos casos el uso de herbicidas y los gases de combustión de la utilización de maquinaria y vehículos para la ejecución de estas labores generan emisiones atmosféricas detrimentes de la calidad del aire (Albán y Cárdenas, 2007). Es importante notar que el uso de herbicidas y maquinaria es común en plantaciones grandes versus plantaciones medianas o pequeñas, en las cuales las labores se realizan de forma manual.

Existen datos sobre la práctica de quema de vegetación para el establecimiento de cultivos de palma en lugares como Indonesia y Malasia, lo cual genera contaminación atmosférica.

---

<sup>2</sup> En noviembre de 2007, se creó la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, el estudio citado fue elaborado antes de este cambio.

Esta práctica no es recomendada por ANCUPA en el Ecuador. No se encontraron estudios que indiquen esta práctica en el país.

Otro impacto relevante sobre la calidad del aire es la emisión del isopreno ( $C_5H_8$ ). El isopreno es un compuesto orgánico volátil (COV), emitido por ciertas especies vegetales cuando son expuestas a la Radiación Solar Fotosintéticamente Activa. La generación de isopreno está relacionada con la temperatura y la radiación solar (Parra, 2008).

En el Ecuador, la CORPAIRE, Corporación Municipal para el mejoramiento del aire de Quito, entidad actualmente liquidada, y que estuvo encargada de realizar el control y gestión de la calidad de aire en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), estimo, que alrededor del 43% (21.7 kt/año) del total de emisiones de COVs en el DMQ son producidas por la vegetación. De este porcentaje, el 56% corresponde a isopreno producido por plantaciones de palma africana (*Elaeis guineensis*) (Parra, 2008).

En el estudio citado se estimó la contribución de las emisiones de isopreno de la palma, en los niveles de ozono ( $O_3$ ) en la zona urbana de Quito, mediante la simulación numérica para el período 2-28 de septiembre de 2006, utilizando estimaciones de emisiones del DMQ en el modelo de transporte químico Euleriano WRF-CHEM. Se consideraron como fuentes de emisiones a instalaciones de energía y otras industrias, vegetación, estaciones de servicio y solventes bajo tres escenarios; 1) sin palma africana, 2) con la cobertura de palma al año 2003 y 3) con una plantación futura con mayor cobertura de palma africana. Los resultados indicaron, para el escenario asumido de crecimiento futuro, pueden haber incrementos de hasta  $17.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en las concentraciones de ozono (Parra, 2008).

El impacto generado por las emisiones de isopreno está relacionado con la producción de ozono. El ozono se produce por la reacción de COVs con óxidos nitrosos bajo la acción de la radiación solar (Parra, 2008). La generación de ozono se asocia con las emisiones de isopreno de la palma africana. La temperatura y la radiación solar son importantes para el

rendimiento y crecimiento de la palma africana, ya que las plantaciones deben estar ubicadas en áreas con temperaturas altas, y al estar en el ecuador, están expuestas a niveles de radiación solar significativos, lo que resulta en importantes emisiones de isopreno de la palma africana.

Adicionalmente, en la fase de extracción de aceite, se generan emisiones gaseosas por la combustión de calderas y por el biogás generado en las lagunas de oxidación en las cuales se deposita el efluente del proceso de extracción (Yuen, Halimah et al, 2011). En la fase de refinación del aceite crudo de palma se generan emisiones desde las chimeneas en las plantas de refinación de aceite (Albán y Cárdenas, 2007).

### **Agua**

Los impactos sobre el agua ocurren principalmente en la fase de extracción de aceite de la fruta fresca, cuyos efluentes al no ser tratados, pueden ser descargados a cuerpos de agua. Una planta de extracción genera alrededor de 0.67 t de desperdicio líquido por tonelada de fruta fresca procesada. Este fluido contiene componentes como nitrógeno amoniacal, sólidos suspendidos, aceites y grasas, fósforo, potasio, magnesio, calcio, hierro, boro, manganeso, cobre, zinc y una alta demanda bioquímica de oxígeno (del orden de 50 000 mg/L) (Corley y Tinker , 2003). Se ha establecido que el efluente de las plantas de procesamiento es 100-250 veces más contaminante que el agua residual doméstica (Corley y Tinker , 2003).

Durante la conformación de la plantación puede haber alteración de regímenes naturales de drenaje, contaminación debido a una inadecuada aplicación de pesticidas, fertilizantes y herbicidas, y la posible contaminación de fuentes de agua subterráneas por la lixiviación de los químicos señalados (Albán y Cárdenas, 2007). El uso de herbicidas, sin embargo, se reduce significativamente una vez que las plantaciones están establecidas y las palmas adquieren una altitud suficiente para tener un dosel que genera sombra sobre el suelo

previniendo el crecimiento de vegetación rastrera (Clay, 2004). Debido a la falta de capacitación de los trabajadores, o malas prácticas, los ríos pueden ser contaminados con pesticidas y agroquímicos durante el lavado de los equipos utilizados para la aplicación de los mismos, como se registra en un estudio realizado en la zona de San Lorenzo (Hazlewood, 2012).

### **Suelo**

Los impactos sobre la geomorfología del suelo pueden ocurrir durante la conformación de terrazas y caminos, por la compactación del suelo debido al uso de maquinaria. Puede ocurrir contaminación de suelo durante la construcción de campamentos, oficinas o bodegas, así como micro derrames de combustible (Albán y Cárdenas, 2007). El nivel de impacto está relacionado con la extensión del área cultivada o alcance de los derrames.

Adicionalmente, al no emplear buenas prácticas ambientales, se puede generar erosión de suelo durante la remoción de vegetación, al dejar el suelo expuesto a los factores ambientales o al establecer plantaciones en terrenos con pendientes mayores a 15 grados (Clay, 2004).

### **Impactos Sociales**

Existen algunos impactos sociales asociados al cultivo de la palma, principalmente relacionados con comunidades marginales y la propiedad de la tierra. Se acusa a empresas palmicultoras de concentración en la tenencia de tierras, dejando sin acceso a tierras ancestrales a comunidades indígenas y afro ecuatorianas (Hazlewood, 2012). Las plantaciones generan procesos de migración de agricultores que abandonan las tierras vendidas a las empresas y tienen que migrar a otras zonas agrícolas o a grandes ciudades. También se dan procesos de migración hacia las plantaciones por el ingreso de trabajadores, lo que puede generar conflictos sociales. La alteración de la organización

social repercute en la pérdida de actividades y conocimientos ancestrales (Albán y Cárdenas, 2007).

En relación a las condiciones de trabajo, se ha encontrado que el uso de agroquímicos causa impactos en los trabajadores, agricultores y familias que viven dentro de las plantaciones, quienes son afectados por la contaminación de los químicos ya sea por contacto directo o por ingestión o contacto con agua contaminada (Albán y Cárdenas, 2007). En un estudio de Fundación Natura citado por Albán y Cárdenas se encontró que el 58% de los trabajadores en plantaciones de palma exhibían, en distintos niveles, enfermedades hepáticas y dermatológicas debido a la exposición a pesticidas, carbonatos y materiales fósforo-orgánicos (Albán y Cárdenas, 2007).

Los principales impactos ambientales ocasionados por el cultivo de palma aceitera son la conversión de hábitats al generar un cambio de uso de suelo de bosques a plantaciones, la contaminación de suelo y agua por el uso de agroquímicos y la contaminación por descargas del efluente de las plantas procesadoras sin un tratamiento previo.

### **Mesa Redonda sobre Aceite de Palma Sostenible**

Una gran proporción de los impactos ambientales generados por el cultivo de la palma pueden ser mitigados por medio de la implementación de las medidas propuestas por la Mesa Redonda sobre Aceite de Palma Sostenible (RSPO por sus siglas en inglés) (Butler and Laurence, 2000). La RSPO es una iniciativa de certificación ambiental liderada por la industria para mejorar la sustentabilidad de la palma aceitera a través de todo su ciclo de vida. Para el efecto, la RSPO ha desarrollado principios y criterios de sostenibilidad para lograr implementar procesos de certificación ambiental. Las medidas necesarias para adquirir la certificación incluyen, entre varias, la utilización de métodos de control de plagas naturales, el compostaje para minimizar la aplicación de pesticidas y herbicidas sintéticos, la implementación de políticas de cero quema de desechos en procesadoras, la



creación de lagunas de contención para los efluentes, la realización de consultas previas con las comunidades antes de establecer una plantación y medidas estrictas para controlar las características de nuevas tierras utilizadas para plantaciones, prohibiendo su desarrollo en zonas de alto valor de biodiversidad (Round Table on Sustainable Palm Oil, 2007). En el Ecuador se han iniciado acciones por medio de ANCUPA para implementar el sistema de la RSPO en el país y promover la certificación del cultivo de palma africana. Actualmente en el Ecuador, son afiliados a la RSPO, las empresas Energy & Palma S.A., La Fabril, Danec y ANCUPA. Se espera que los procesos de certificación se extiendan también a pequeños y medianos productores (ANCUPA, 2010 b).

## **2.2 La Huella de Carbono**

La huella de carbono es una herramienta utilizada para calcular las emisiones de GEI ocasionadas por las actividades de una empresa o servicio. Los GEI son aquellos que absorben y emiten radiación a ciertas longitudes de onda, dentro el espectro de la radiación infrarroja emitida por la superficie de la Tierra, la atmósfera, y las nubes (Russell, 2011).

Los principales GEI son: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs), y el hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ).

La acumulación de estos gases, debido a actividades humanas, es la causa del incremento del efecto invernadero; el cual en principio está causando el aumento de la temperatura media global de la atmósfera y de los océanos.

Una medida para mitigar el efecto del calentamiento global es la reducción de las emisiones de GEI. Para ello se debe primero realizar un inventario detallado de las emisiones de GEI, con el objetivo de que esta información permita identificar aquellas actividades y etapas que generan la mayor cantidad de emisiones.

Se han desarrollado metodologías estandarizadas a nivel mundial para realizar inventarios de emisiones de GEI. La huella de carbono es "la totalidad de GEI emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto" (Carbon Trust, 2012). La unidad de medida de la huella de carbono es la tonelada de dióxido de carbono equivalente (tCO<sub>2</sub>e). Esta unidad permite que todos los GEI puedan ser comparables con relación a una unidad de CO<sub>2</sub>. El CO<sub>2</sub>e se obtiene al multiplicar las emisiones de cada uno de los seis GEI por su potencial de calentamiento global (Carbon Trust, 2012). El potencial de calentamiento global se define como "la tasa de calor atrapado por una unidad de masa de un gas de efecto invernadero con respecto a una unidad de masa de CO<sub>2</sub> durante un periodo de tiempo específico" (EPA, 2010). El potencial de calentamiento global se calcula usualmente para periodos de 20, 100 o 500 años. El horizonte de tiempo de 100 años es el utilizado con mayor frecuencia por reguladores y por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (EPA, 2010).

Una vez que se conoce la huella de carbono, se pueden plantear e implementar estrategias de reducción o compensación de emisiones a través de distintos programas que pueden tener diversos objetivos, tales como cumplir con la normativa ambiental referente a límites máximos permisibles de emisiones, promocionar la imagen corporativa de la empresa en base a programas de responsabilidad social, participar en el mercado de bonos de carbono; acceder a mercados de energías alternativas, entre otras.

### **2.2.1 La Huella de Carbono, Eficiencia Energética y Biocombustibles**

La huella de carbono está ligada temas de importancia mundial, como la eficiencia energética y el uso de biocombustibles. Debido a que la mayor parte de las emisiones de GEI provienen del consumo de combustibles fósiles, el cálculo de la huella de carbono permite identificar procesos o áreas en las cuales existe exceso en el consumo de

combustibles y energía. Al atacar estas deficiencias, no solo se reducen las emisiones de GEI, si no que se logra la disminución de consumo energético, lo que a su vez se traduce en importantes ahorros económicos.

Con respecto a los biocombustibles, la huella de carbono puede ser utilizada para evaluar si un biocombustible reduce o no las emisiones de GEI en comparación con el uso de un combustible fósil. La aptitud de un biocombustible para reemplazar totalmente o en parte a un combustible fósil, depende de la cantidad de emisiones de GEI reducidas al realizar la mezcla o el reemplazo. La huella de permite realizar estas comparaciones y generar balances de emisiones de GEI.

La Directiva Europea de Energías Renovables emitió criterios de sustentabilidad, aplicables desde diciembre de 2010, para el uso de biocombustibles con el objetivo de prevenir la destrucción de tierras con alta biodiversidad debido al incremento en la demanda y uso de biocombustibles. Estos criterios prohíben que biocombustibles califiquen para uso en los programas de incentivos de la Unión Europea si se originan en áreas biodiversas o designadas para la protección de especies, o tierras con altas reservas de carbono, cuya conversión a cultivos reduzca el ahorro de emisiones de GEI generado por el reemplazo de combustibles fósiles (European Comission, 2009). Se permite el uso de biocombustibles solo cuando se haya calculado que el ahorro de emisiones de GEI sea de al menos 35%, incrementando el ahorro a 50% desde el 2017 y a 60% desde el 2018 (European Comission). El ahorro de GEI se calcula en el ciclo de vida de un biocombustible. Siendo Europa uno de los principales consumidores actuales y a futuro de biocombustibles, y en vista de que la producción de aceite de palma en el Ecuador tiene como objetivo su exportación para el mercado de biocombustibles, es importante conocer las emisiones de GEI del aceite producido en el país.

### **2.2.2 Huella de Carbono para el Sector Agrícola**

La huella de carbono se puede calcular para dos tipos de sectores 1) organizaciones o empresas y 2) productos. En este estudio, se realizará el cálculo de la huella de carbono utilizando la metodología para organizaciones o empresas, la cual permite que la empresa estudiada contabilice las emisiones que se generan en actividades bajo su control operativo. Con esta metodología, no se cuantifican emisiones generadas por actividades en las cuales la empresa no tenga inherencia para modificar prácticas. En base a estas condiciones, el estudio calcula las emisiones generadas en la fase de cultivo de la industria de la palma. En la plantación estudiada, no se procesa la fruta cosechada; al igual que en la mayoría de las plantaciones en el país, el procesamiento de la fruta fresca y refinación de aceite es realizado por empresas separadas a las de cultivo, razón por la cual no se incluyen estas fases en el cálculo de emisiones. La huella de carbono de organizaciones/empresas considera las emisiones provenientes de todas las actividades a lo largo de la organización incluyendo el consumo energético, procesos industriales, consumo de combustibles entre otros. Sin embargo, hay diferencias entre el sector corporativo y el sector agrícola.

Los inventarios de GEI corporativos proporcionan una base sólida para el manejo de emisiones por parte de empresas, pero, rara vez incluyen emisiones atadas al sector agrícola ya que existe una confusión sobre las mejores prácticas necesarias para abordar los aspectos únicos de las fuentes agrícolas (Russell, 2011). Por ello se han desarrollado metodologías específicas de cálculo de emisiones del sector agrícola.

La contabilidad de emisiones relacionadas al uso de combustibles y energía es simple y similar para el sector corporativo; sin embargo, la estimación de emisiones provenientes de fuentes no-mecánicas, tales como cambios de uso de suelo, fluctuaciones en las reservas de carbono y emisiones por uso de fertilizantes o químicos es más desafiante (Russell, 2011).

Las particularidades del cálculo de la huella de carbono para el sector agrícola incluyen la

variabilidad de las tasas de emisión a través del tiempo y el espacio, la dificultad en discernir los efectos de las actuales prácticas y la reversibilidad de las reservas de carbono y las escalas de tiempo en las que ocurren las fluctuaciones en las reservas (Russell, 2011). El método utilizado para el cálculo de las emisiones en el sector agrícola, aplicado al cultivo de la palma aceitera, se trata en el capítulo tres.

### **3 Metodología**

#### **3.1 Cálculo de la Huella de Carbono**

La huella de carbono contabiliza las emisiones de GEI causadas directamente o indirectamente por un individuo, organización, evento o producto (Carbon Trust, 2012). Para ello, se debe realizar un inventario de emisiones que identifique y cuantifique la contribución directa o indirecta de distintas fuentes. El inventario de emisiones cuantifica la sumatoria de todas las emisiones menos la sumatoria de las remociones (captura de carbono como sumidero) para lograr un balance total de emisiones típicamente en un año. Existen algunas metodologías, protocolos y sistemas de gestión que se han desarrollado para estandarizar los procesos de cálculo, a fin de que los resultados puedan ser reproducibles y comparables.

Para el cálculo de la huella de carbono en el presente estudio, se empleará la metodología desarrollada por el Green House Gas Protocol (GHGP). El GHGP “es una familia de estándares y guías para la contabilidad de GEI” (Green House Gas Protocol, 2011 b). La metodología fue lanzada en el 2001 y ha sido desarrollada mediante la participación de actores globales multi-sectoriales provenientes de empresas, ONG’s, gobiernos y otros sectores; patrocinados por el Instituto de Recursos Mundiales (World Resources Institute) y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable (World Business Council for Sustainable Development). Este protocolo “es la herramienta de contabilidad más utilizada a nivel mundial por gobiernos y líderes en el sector empresarial para comprender, cuantificar, y manejar las emisiones de GEI” (Green House Gas Protocol, 2011 b).

El GHGP es aceptado internacionalmente. Dispone de un protocolo específico para el inventario de emisiones de GEI para el sector agrícola, en base a la metodología utilizada para el Estándar Corporativo. En este estudio, se realizará el cálculo de la huella de

carbono bajo el esquema de una empresa dedicada a la siembra de palma africana, aplicando la metodología propuesta bajo el Estándar Corporativo del GHGP.

El Estándar Corporativo es la herramienta líder a nivel mundial para el desarrollo de inventarios de GEI corporativos, adoptado por la mayoría de los programas de reporte de emisiones voluntarios y mandatorios, tales como el Carbon Disclosure Project, The Climate Registry, varias iniciativas de sustentabilidad industrial así como por la Organización de Estándares Internacionales (ISO) (Green House Gas Protocol, 2011 a).

### **Área de Estudio**

Comprende una plantación experimental de palma africana gestionada por ANCUPA.

La plantación que servirá como unidad de estudio para el cálculo de la huella de carbono es parte del CIPAL, creado en agosto del 2000. La plantación está ubicada en La Concordia, Provincia Santo Domingo de los Tsáchilas, en el km. 37 ½ de la vía Santo Domingo de los Colorados - La Concordia, a una altitud de 264 msnm. El CIPAL dispone de 80 hectáreas sembradas de palma africana, en la Tabla 3-1 se indican las coordenadas de la plantación, en la Figura 3-1 un mapa de ubicación y en la Figura 3-2 un croquis:

Tabla 3-1: Coordenadas de la Plantación CIPAL (WGS84, UTM Zona 17 Sur)

<b>Este (m)</b>	<b>Norte (m)</b>
681846	9995357

Fuente: Visita técnica, abril 2012



Figura 3-1: Mapa de Ubicación  
 Fuente: Google Maps

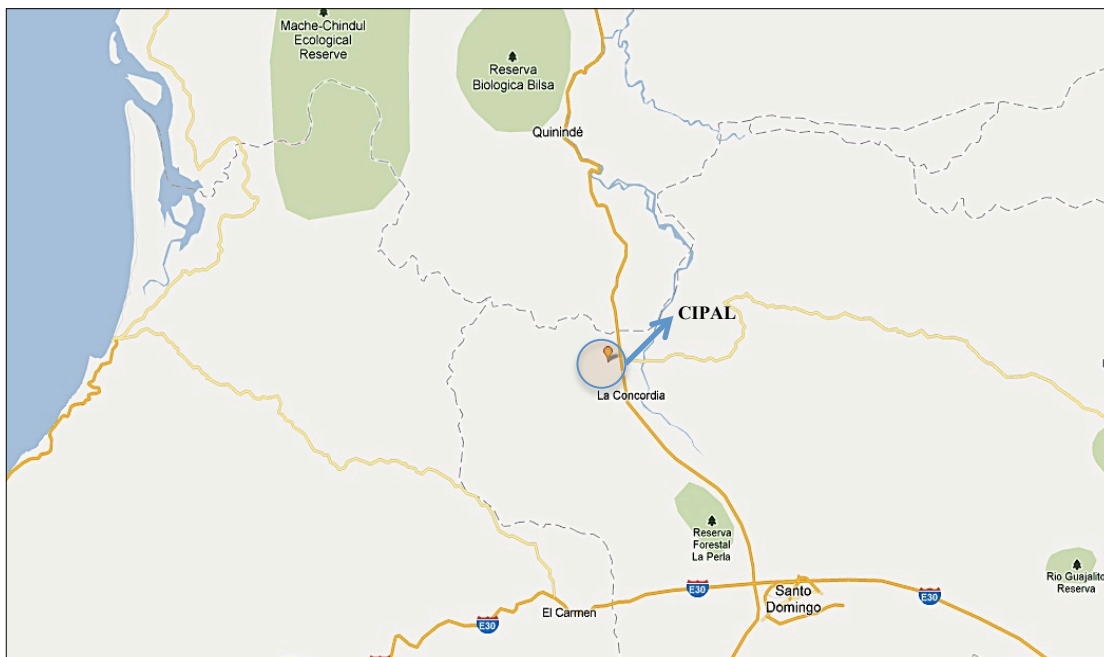


Figura 3-2: Croquis de la Plantación del CIPAL



ANCUPA desarrolla estudios sobre técnicas de cultivo y manejo en el CIPAL. Al ser una plantación con fines investigativos, se mantienen registros detallados y completos sobre distintas variables que son de utilidad para este estudio.

El cálculo de la huella de carbono se realiza mediante los siguientes pasos:

1. Recopilación de información (revisión bibliográfica, identificación de fuentes o sumideros, recopilación de datos en campo y selección de factores de emisión).
2. Cálculos de acuerdo a la metodología, factores e información seleccionados.
3. Análisis y presentación de los resultados.

Siguiendo la metodología del GHG Agricultural Protocol, los pasos a seguir para el desarrollo del inventario de emisiones:

1. Delimitación de límites organizacionales
2. Determinación de límites operacionales (Alcance 1, 2 y 3)
3. Fijación del año base
4. Identificación y cálculo de emisiones de GEI
5. Reporte de Emisiones de GEI

Estos pasos son descritos con mayor detalle a continuación.

### **1. Determinación de Límites Organizacionales**

Los límites organizacionales definen cuáles operaciones deben estar incluidas en el inventario de emisiones. Se utilizan tres enfoques para fijar los límites organizacionales de la empresa u organización estudiada:

*Control Operacional* – Una entidad contabiliza el 100% de las emisiones de una operación sobre la cual tiene la autoridad para introducir e implementar sus propias políticas operacionales.

*Control Financiero* – Una entidad contabiliza el 100% de las emisiones de una operación sobre la cual tiene la habilidad de dirigir las políticas financieras y operacionales con la mira de obtener beneficios económicos.

*Enfoque de Capital Accionario* – Una entidad contabiliza las emisiones de una operación de acuerdo a su proporción de acciones (o porcentaje de interés económico) en esa operación.

Este paso es clave ya que organiza las actividades y sus omisiones. Establece el alcance o los límites del estudio que define las actividades que deben incluirse.

Una compañía que obtiene un beneficio económico de una actividad debería responsabilizarse las emisiones de GEI generadas por esa actividad. Los enfoques de control financiero y operacional no siempre incluyen el portafolio completo de las emisiones de una compañía, pero tienen la ventaja de permitir que la empresa sea responsable de las emisiones sobre las cuales tiene influencia directa y puede reducir a futuro (Green House Gas Protocol, 2011 b).

En el caso del sector agrícola, muchas fincas o granjas son organizadas como propiedades con un único propietario o como negocios familiares, por lo que la definición del límite organizacional es menos complicada. Sin embargo mientras las estructuras de negocios sean más complejas, los límites seleccionados serán más importantes para asegurar prácticas de contabilidad más claras (Russell, 2011).

## **2. Determinación de Límites Operacionales**

Los límites operacionales definen si una fuente de emisión es *directa*, es decir controlada o de propiedad de la entidad evaluada, o *indirecta*, cuando las emisiones son influenciadas por la empresa que reportará los datos pero la fuente en sí esta bajo la propiedad o control de un tercero.

Se han determinado tres “alcances” para lograr delimitar las fuentes directas e indirectas, para estandarizar la contabilidad de GEI y su reporte, y para evitar la doble contabilización de emisiones (Green House Gas Protocol, 2011 a).

El *alcance 1* contabiliza las emisiones de GEI directas provenientes de fuentes propias o controladas por la empresa.

El *alcance 2* contabiliza las emisiones de GEI asociadas a la generación de electricidad, vapor, o sistemas de calentamiento/enfriamiento adquirida para el consumo propio de la empresa.

El *alcance 3* contabiliza las emisiones de GEI indirectas que no son consideradas dentro del alcance 2.

De acuerdo a la metodología del GHGP, es obligatorio remitir las emisiones del alcance 1 y 2. Las emisiones del alcance 3 son opcionales, aunque se promueve la inclusión de estas actividades, especialmente cuando sean una fuente importante.

El GHGP proporciona información sobre las emisiones típicas del sector agrícola y el alcance al cual pertenecen, desde el punto de vista de un productor y de un procesador de cosecha, como un ejemplo de la definición de límites operacionales:

Tabla 3-2: Escenario Base para la Definición de Límites Operacionales

Fuente de Emisión	Contabilizado por:	
	Productor	Procesador
Fuentes no mecánicas (ej. Fermentación entérica, pérdida de N de suelos, manejo de estiércol, cambio de uso de suelo)	Alcance 1	Alcance 3
Fuentes mecánicas (excluyendo compra de energía eléctrica)	Alcance 1	Alcance 3
Electricidad comprada por el productor para uso en operaciones agrícolas	Alcance 2	Alcance 3
Producción de agroquímicos	Alcance 3	Alcance 3
Procesamiento del producto	Alcance 3	Alcance 1 o 2

Fuente: (Green House Gas Protocol, 2011 a)

### 3. Año Base

El año base es “el período en la historia en base al cual se evaluará el desempeño del impacto climático de una organización a lo largo del tiempo” (Russell, 2011). Los períodos

base son particularmente útiles para evaluar el progreso de los objetivos de reducción de emisiones de una entidad. El año base debe ser el más temprano posible, para el cual hayan datos verificables para el desarrollo del inventario de emisiones. El año base debe ser representativo del impacto climático de la organización, y puede ser un año calendario o un año financiero.

En el sector agrícola, el año base tiene algunas limitaciones con respecto a la representatividad de emisiones reportadas. Las emisiones en un año pueden estar influenciadas por condiciones ambientales fuera del control del productor, como por ejemplo una ola de calor, o las prácticas de manejo de las operaciones pueden variar de un año a otro. La definición del año base debe considerar estos factores atípicos y se debe procurar que el año escogido sea lo más representativo de las prácticas comunes de la organización. Cuando un año no es representativo, se pueden promediar datos de GEI de múltiples años consecutivos para obtener un año base más aceptable. El año base no puede ser menor a un período de cosecha o de producción (Russell, 2011).

#### **4. Identificación y Cálculo de Emisiones de GEI**

Para este paso es necesario realizar una investigación bibliográfica para determinar las principales fuentes de emisiones relacionadas con las actividades de la empresa evaluada. El protocolo agrícola proporciona información sobre las principales fuentes de emisión, que sirven como guía para determinar qué tipo de actividades se deben evaluar.

Las principales emisiones relacionadas al sector agrícola se detallan en la Figura 3-3, e incluye componentes propios de la finca y otros relacionados con el ciclo de producción.

Se debe hacer una distinción entre las dos principales fuentes de emisiones en el sector agrícola. Las *fuentes mecánicas* son aquellas que consumen combustibles o electricidad, y emiten GEI debido a procesos de combustión. Ejemplos de fuentes mecánicas incluyen equipos o maquinaria para irrigación o cosecha. La segunda categoría son las *fuentes no*

*mecánicas*, las cuales emiten GEI principalmente por medio de procesos bioquímicos, los cuales dependen de una variedad de condiciones ambientales. La Tabla 3-3 señala las principales emisiones de GEI provenientes de estas dos fuentes.

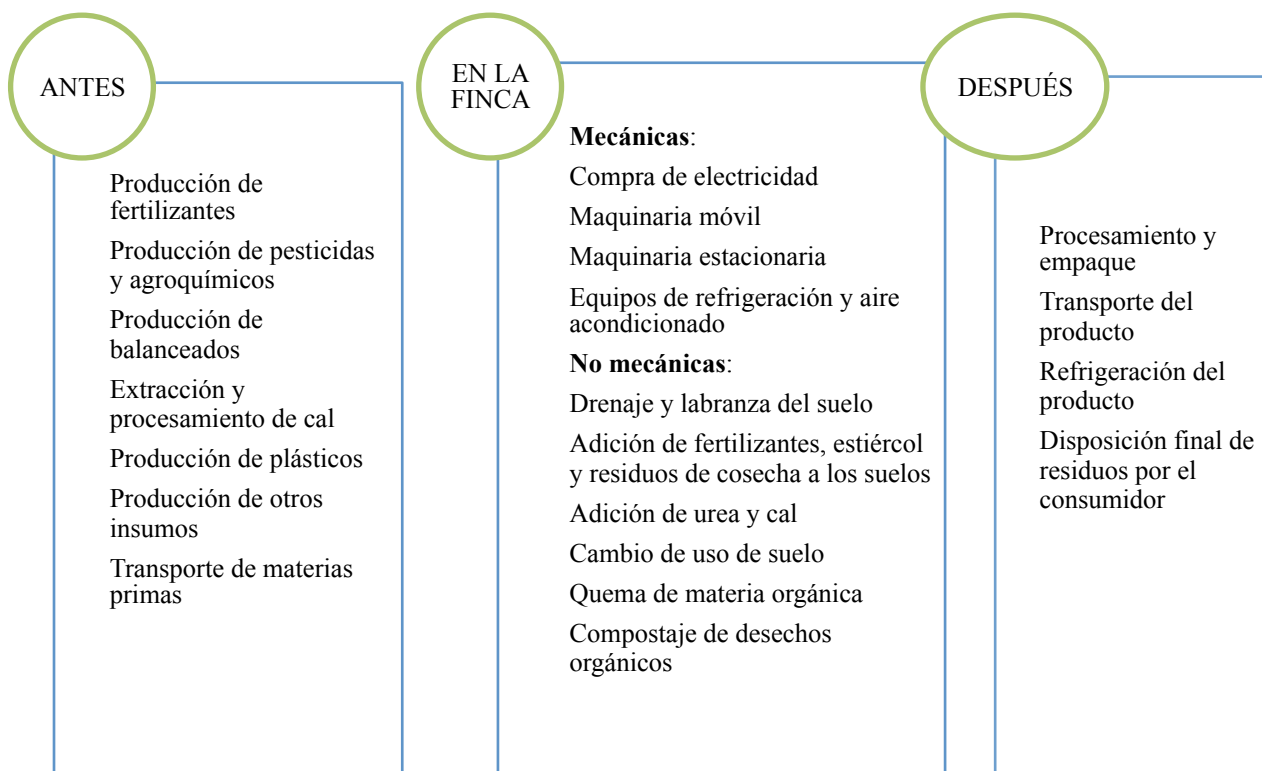


Figura 3-3: Fuentes de Emisiones Asociadas al Sector Agrícola  
Fuente: (Green House Gas Protocol, 2011 a)

Tabla 3-3: Emisiones de GEI de las dos Principales Fuentes en el Sector Agrícola

Tipo de Fuente	GEI y Proceso de Emisión
No mecánica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO<sub>2</sub>: degradación microbiana de materia orgánica y oxidación química del carbono del suelo.</li> <li>• CH<sub>4</sub>: descomposición de materia orgánica en condiciones deficientes de oxígeno.</li> <li>• N<sub>2</sub>O: transformación microbiana del nitrógeno en suelos, estiércol y cuerpos de agua.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O: combustión de biomasa.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO<sub>2</sub>: aplicación de urea y cal a los suelos.</li> </ul>
Mecánica	Combustión: <ul style="list-style-type: none"> <li>• CO<sub>2</sub>: oxidación de carbono en los combustibles.</li> <li>• CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O: emisiones dependen de la combustión y tecnología de control de emisiones, edad del vehículo, etc.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HFCs y PFCs emitidos por sistemas de refrigeración y aire acondicionado.</li> </ul>

Fuente: (Russell, 2011)

Una vez identificados los componentes que serán considerados para el inventario de emisiones, se procede con el cálculo. De manera general, el cálculo de emisiones se efectúa en base a los siguientes métodos:

- Actividad x Factor de Emisión
- Aplicación de modelos
- Correlaciones sectoriales o a nivel de instalación
- Balances de masa
- Mediciones in situ
- Combinación de mediciones y cálculos

Fuente: (Carbono Neutral, 2011)

Las metodologías de cálculo se dividen en tres niveles, cuyo uso y aplicabilidad dependen del grado de capacidad técnica, recursos y tiempo disponibles para el estudio y de los objetivos propuestos en el mismo (Russell, 2011).

- Nivel 1 – son metodologías en base a factores de emisión, donde las emisiones se calculan al multiplicar datos de la actividad por un factor de emisión apropiado. Estos factores de emisión corresponden a valores internacionales o regionales.
- Nivel 2 – Utiliza factores de emisiones más específicos o metodologías más refinadas de estimación empírica.
- Nivel 3 – Modelos de simulación bio-geofísicos utilizando series multi-temporales y parametrización.

Los niveles 2 y 3 son más precisos, pero mucho más intensivos en el requerimiento de datos y recursos, mientras que el nivel 1 proporciona información en base a valores validados internacionalmente, que no reflejan particularidades locales. Para el presente estudio se utilizará el método del nivel 1, y en el caso de encontrar factores de emisión específicos para el país, el nivel 2.

Las emisiones provenientes de fuentes mecánicas son calculadas en base a datos como el tipo y cantidad de combustible utilizado, el factor de emisión del combustible y el factor de emisión de la matriz energética para el caso de consumo eléctrico. En contraste, las emisiones de GEI provenientes de fuentes no mecánicas son más complejas, ya que dependen de una variedad de condiciones ambientales que pueden ser poco claras, por lo tanto la incertidumbre de estas emisiones suele ser alta (Russell, 2011). Este es el caso de las emisiones generadas por cambios en las reservas de carbono, por lo que se trata este caso con más detalle a continuación.

## **Cálculo de Reservas de Carbono**

Un elemento clave en el inventario de emisiones en el sector agrícola es el cambio en los flujos de carbono, y las reservas de carbono, que pueden actuar como fuentes o sumideros de CO<sub>2</sub> (Green House Gas Protocol, 2011 a). Existen cuatro tipos principales de fuentes de carbono:

1. Biomasa por encima y debajo del suelo (ej. árboles, sembríos y raíces).
2. Materia orgánica muerta dentro o en los suelos (ej. madera y escombros degradados).
3. Materia orgánica en el suelo (incluye toda la biomasa no viviente que es muy fina para ser considerada como materia orgánica muerta).
4. Productos cosechados.

Las reservas de carbono representan la cantidad de carbono almacenada en los sumideros (Green House Gas Protocol, 2011 a). Pueden pasar décadas para que las reservas de carbono lleguen a un equilibrio después de un cambio de gestión en una finca o granja. Para que una tierra agrícola sea un sumidero de carbono, la suma de los incrementos de carbono en las reservas debe exceder la suma de todos los decrecimientos; es decir que los aumentos de carbono mediante la fijación de CO<sub>2</sub> deben exceder la suma de todas pérdidas de carbono mediante emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y productos cosechados. La contribución exacta de estas emisiones es difícil de calcular, ya que la biomasa y las reservas de carbono en el suelo asociados a la agricultura no solo emiten grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, si no que también las absorben (Green House Gas Protocol, 2011 a).

En muchos casos, sin embargo, las emisiones relacionadas con los cambios en las reservas de carbono son fuentes significativas dentro de los inventarios de GEI para este sector (Russell, 2011).



Para el cálculo de las emisiones debido a cambios en los flujos de carbono, se debe repartir el total de las emisiones generadas (o el cambio en los flujos de carbono) por el período de tiempo estimado para que las reservas de carbono en el suelo vuelvan a estabilizarse. De acuerdo a las metodologías del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) para los inventarios nacionales de GEI, los cambios en las reservas de carbono deben repartirse por un periodo de 20 años (Green House Gas Protocol, 2011a). Así como las prácticas de manejo de la finca pueden afectar los flujos de carbono a futuro, las prácticas pasadas también pueden tener influencia en los flujos actuales. Por ello, se deben considerar acciones que pudieron alterar las reservas de carbono en un periodo igual al número de años tomados para el periodo de amortización, que en este caso sería de 20 años. Si la actividad generadora de cambios sucedió antes de este periodo, no debe ser considerada para el cálculo de emisiones (Green House Gas Protocol, 2011 a).

## **5. Reporte de Emisiones GEI**

El reporte de emisiones debe contener la siguiente información:

### **Información General sobre los límites y alcance del informe**

- El enfoque utilizado para fijar los límites organizacionales y las actividades que serán consideradas dentro de estos límites.
- El año base y el periodo actual.
- Descripción de las actuales prácticas y manejo en la finca o granja.
- Información sobre patrones históricos de uso de suelo que son utilizados para determinar las afectaciones a las reservas de carbono en el periodo de reporte actual.
- Cualquier exclusión de fuentes u operaciones del inventario.

**Información sobre las Emisiones GEI**

- Datos de emisiones de los seis GEI (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SF<sub>6</sub>, PFCs y HFCs), desagregado por GEI y reportado en unidades toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (tCO<sub>2</sub>e) o unidades funcionales como (tCO<sub>2</sub>e/ha año) o (tCO<sub>2</sub>e/t aceite) entre otras.
- Emisiones desagregadas por alcance.
- Todas las emisiones del alcance 1 y 2.
- Emisiones totales independientes de cualquier fijación de carbono o compra o venta de bonos de carbono.
- Emisiones desagregadas por fuentes mecánicas y no mecánicas.

**Información Adicional sobre Fuentes No Mecánicas:**

- Metodologías utilizadas para calcular o medir emisiones, incluyendo referencias o enlace a cualquier herramienta de cálculo utilizada y una descripción si la metodología es nivel 1, 2 o 3.
- Metodología utilizada para la amortización de emisiones por cambios en las reservas de carbono y el período de amortización.

Como resumen, el proceso a seguir para el cálculo de emisiones de GEI es el siguiente:

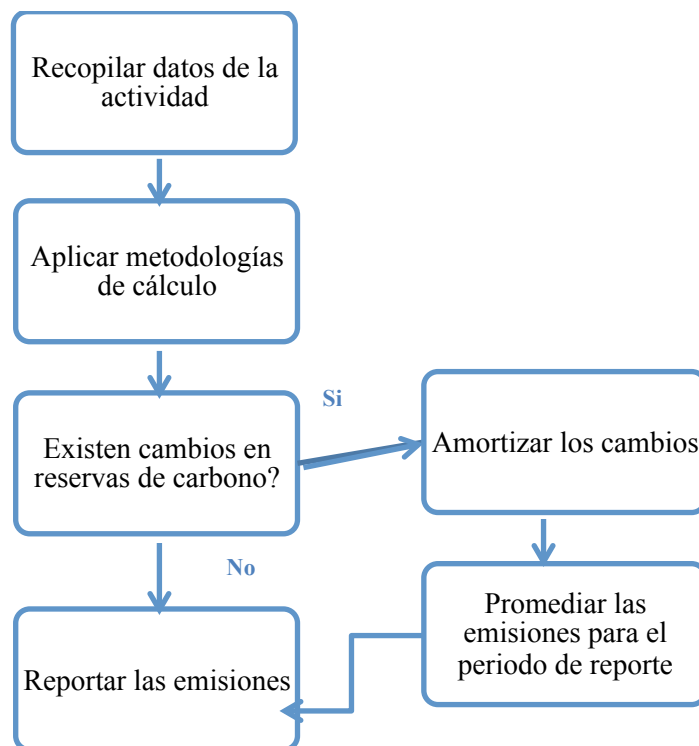


Figura 3-4: Proceso para el Cálculo de Emisiones GEI  
Fuente: (Russell, 2011)

### 3.2 Análisis del Crecimiento del Cultivo

Para realizar el análisis del crecimiento del cultivo de la palma africana en el Ecuador se realizó una proyección de las zonas disponibles para la expansión del cultivo basándose en los requerimientos agroecológicos del cultivo y criterios de carácter ambiental. En base a los factores señalados, se identificaron las zonas en el Ecuador continental que cumplen con estas condiciones, con la ayuda de mapas y programas de SIG, para determinar las áreas con aptitud para futuras plantaciones. Para la elaboración de las bases de datos y generación de mapas se contó con el apoyo de la Ing. Carolina Cerón, Ing. Agrónoma con experiencia en geografía y manejo de SIG.

Para la reproducción de los datos requeridos, se generó una base GIS maps en el programa Arcview 3.2 en la cual se incorporó la siguiente información:

- Requerimientos agroecológicos del cultivo de acuerdo a la información presentada en la sección 1.1.2 (variables: temperatura, pendiente, precipitación, radiación solar, pH)
- Patrimonio de Áreas Naturales del Estado
- Información morfopedológica (pedregosidad, profundidad del suelo, pendiente, permeabilidad, pH, textura)

El modelo de zonificación realizado en el GIS determina las zonas aptas para el cultivo en base a la siguiente lógica:

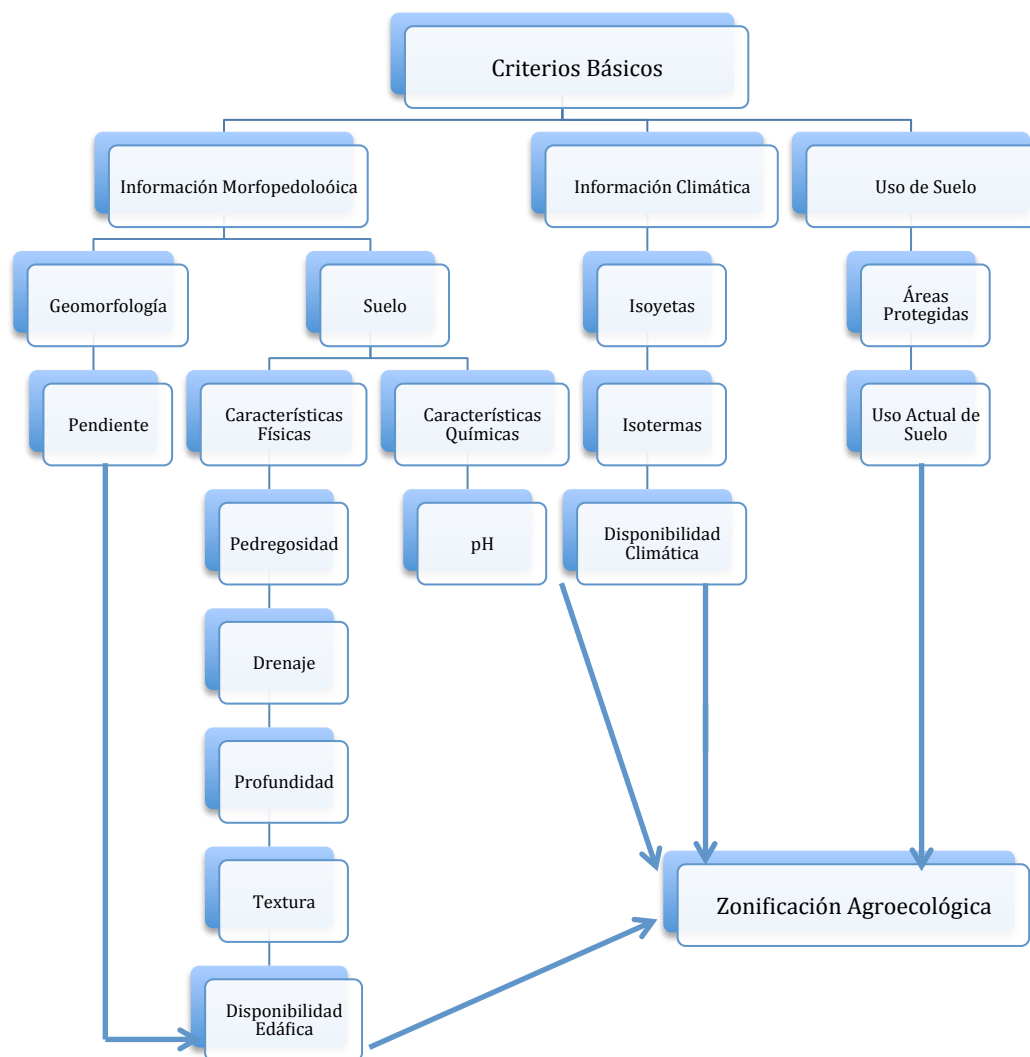


Figura 3-5: Modelo de Zonificación Agroecológica  
Adaptado de: (Benítez, Espinoza y Prado, 2011)

Adicionalmente, se dispone de una propuesta de zonificación agroecológica para el cultivo de palma en el Ecuador generado por el Ministerio del Ambiente. Aunque esta zonificación aún no es oficial, se utilizará la información disponible para comparar los resultados obtenidos entre el modelo de zonificación y la zonificación del MAE.

### **3.3 Recopilación de Información y Aplicación de la Metodología**

#### **3.3.1 Cálculo de Emisiones GEI**

##### ***3.3.1.1 Establecimiento de Límites Organizacionales***

De acuerdo a la metodología citada, se realizó un análisis de la estructura de la plantación para determinar el enfoque apropiado de definición de los límites organizacionales. De acuerdo al esquema de la plantación del CIPAL se optó por el enfoque de control operacional. La plantación del CIPAL es un centro de investigaciones, en el que se desarrollan estudios sobre técnicas de manejo para mejorar el rendimiento del cultivo de la palma africana. El centro dispone de 5 lotes comerciales que, además del aporte de ANCUPA, sirven para el sustento económico de la plantación y las actividades que allí se desarrollan. ANCUPA es el único propietario de la plantación, por lo tanto todas las acciones de manejo dentro de la finca están bajo su control, y tienen la potestad de fijar las políticas operacionales de la finca. Por esto las emisiones generadas por las distintas actividades pueden ser atribuidas en su totalidad a la asociación.

ANCUPA se dedica exclusivamente a la plantación y producción de palma africana, la fruta fresca cosechada es vendida a una extractora en el área, por lo que no se realizan actividades de extracción de aceite en la plantación. De conformidad con la metodología del GHGP, ya que ANCUPA no tiene inherencia sobre las actividades desarrolladas en las siguientes fases de la producción de aceite de palma, y por las consideraciones expuestas

en la sección 2.2.2, el estudio comprende únicamente la fase de cultivo. Las actividades consideradas para el análisis de emisiones terminan en el momento en que la fruta cosechada es entregada a la planta extractora.

### ***3.3.1.2 Establecimiento de Límites Operacionales***

Para determinar las actividades que serán consideradas dentro de los alcances 1, 2 y 3 se realizó primero una investigación bibliográfica sobre las principales emisiones de GEI asociadas a la plantación de palma africana ( Russell, 2011; Green House Gas Protocol, 2011; Reijnders and Huijbregts, 2006; Yuen and Halimah et al, 2011; Brinkmann Consultancy, 2009; Frieden, Pena et al, 2011; ISCC, 2011; Renewable Energy Directive, 2009; Renewable Energy Directive, 2010; Dewi, Khasanah et al, 2009). Como resultado de esta revisión se definieron las siguientes actividades a ser investigadas durante la recopilación de datos en campo:

- Consumo de combustibles fósiles por uso de maquinaria en la plantación, transporte de la cosecha y producción de fertilizantes
- Uso y aplicación de fertilizantes
- Uso y aplicación de pesticidas
- Cambio de uso de suelo
- Quema de vegetación
- Consumo de energía eléctrica

Una vez identificadas las actividades base que, de acuerdo a la literatura revisada constituyen las principales fuentes de emisiones asociadas al cultivo de palma africana, se realizó una visita técnica a la plantación del CIPAL los días 11 y 12 de abril de 2012, con la finalidad de levantar datos para el inventario de emisiones y para recabar información sobre las prácticas de manejo implementadas en la finca. En el Anexo II – Registro

Fotográfico se pueden observar fotografías de la plantación de CIPAL registradas durante la visita de campo. La descripción de las prácticas de manejo aplicadas en la plantación de palma africana se encuentra en la sección 2.1.3, las mismas que son aplicadas en el CIPAL en vista de que la fuente de información para esa sección proviene de documentos generados por ANCUPA. Para el cálculo de emisiones del presente estudio se toman las actividades descritas en las fases de mantenimiento y de cosecha y transporte.

En base a registros obtenidos, y a una entrevista con el Sr. Fabián Averos Jefe Técnico del CIPAL, se determinaron las actividades a incluir en los distintos alcances de acuerdo a la metodología utilizada, la actividades consideradas y las omitidas se detallan en la Tabla 3-4.

Tabla 3-4: Actividades consideradas para los Alcances 1, 2 y 3

<b>Alcance 1</b>	<b>Observaciones</b>
Consumo de combustible en la plantación	No se considera esta actividad debido a que no hay utilización de maquinaria para el cultivo o cosecha, estas actividades se realizan de manera manual. Se utiliza diesel ocasionalmente para la limpieza de coronas y senderos de cosecha, sin embargo, no se mantienen registros específicos de este consumo, el cual es considerado como marginal y no significativo.
Quema de residuos	No se realiza quema de residuos o de vegetación para la preparación del suelo.
Aplicación y uso de fertilizantes	Se toma en cuenta las cantidades de fertilizantes aplicados de acuerdo al plan de fertilización del CIPAL.
Aplicación y uso de pesticidas	No se considera esta actividad ya que no se encontraron registros específicos de cantidades aplicadas. Sin embargo, se estima que esta actividad no es significativa en términos de generación de emisiones.
Cambio de uso de suelo	De acuerdo a entrevistas mantenidas y registros de campo, la plantación del CIPAL es una plantación de palma africana de segunda generación, por lo que no se cargan emisiones por cambio de uso de suelo (el uso de tierra hace 20 años era plantación de palma africana).
<b>Alcance 2</b>	<b>Observaciones</b>
Consumo de energía eléctrica	La plantación tiene una oficina, laboratorio y guardianía. Se considera el consumo eléctrico de dos medidores existentes en la plantación y las planillas de consumo respectivas.
<b>Alcance 3</b>	<b>Observaciones</b>
Consumo de combustible durante el transporte de la cosecha.	Se considera el consumo de diésel durante el transporte de la fruta fresca desde la plantación hasta la planta de extracción. CIPAL alquila un camión de 40t, 7 días al mes, con un promedio de 6 viajes diarios para el servicio de transporte. La distancia entre la plantación y la planta extractora es de 3km.
Consumo de combustible durante la producción de fertilizantes	Se considera el uso de combustibles fósiles para la producción de fertilizantes. Las emisiones varían por el tipo de fertilizantes, país de elaboración y destino y tipo de producción.

### Escenarios Analizados

Se analizarán dos escenarios en el cálculo de emisiones:

- 1) Condiciones actuales



- 2) Asumiendo cambio de uso de suelo – con la finalidad de valorar el impacto de generación de emisiones de GEI por cambio de uso de suelo se asume un cambio de uso de suelo de bosque nativo a cultivo de palma.

### **3.3.1.3 Año Base**

Se considera el año 2011 como el año base para el presente inventario de emisiones. Se seleccionó este año en vista de que se dispone de los registros completos necesarios en este período, no se registran incidentes atípicos en el 2011 que puedan afectar el valor de emisiones y porque se han mantenido las mismas prácticas de manejo en la plantación en ese año en comparación con años anteriores. Además, el año calendario es representativo de la totalidad de actividades realizadas durante el proceso de mantenimiento y cosecha del cultivo. Al ser el primer año para el cual se calcularán las emisiones GEI, no hay datos previos para realizar un seguimiento de la variación de emisiones en el tiempo, los resultados obtenidos en el presente estudio representan el período de partida para comparaciones futuras.

### **3.3.1.4 Identificación y Cálculo de Emisiones GEI**

Las emisiones de GEI que serán cuantificadas en el inventario están descritas en la sección 3.3.1.2 y la Tabla 3-4, donde se determinaron las actividades generadoras de emisiones y su clasificación de acuerdo a los alcances 1, 2 y 3.

Para el cálculo de emisiones GEI se utilizó una combinación de metodologías, dependiendo del tipo de emisión a ser calculada. En la Tabla 3-5 se detallan las metodologías utilizadas.

Tabla 3-5: Metodologías Utilizadas para el Cálculo de Emisiones

Emisión	Metodología	Nivel	Comentarios
Emisión de N <sub>2</sub> O por uso y aplicación de fertilizantes	Biograce 2011	Nivel 1	Herramienta de cálculo basada en la metodologías de cálculo de Nivel 1 para la estimación de emisiones de N <sub>2</sub> O en suelos gestionados del IPCC.
Cambio de uso de suelo	Biograce 2011	Nivel 1	Herramienta de cálculo basada en la Decisión de la Comisión Europea de Energía Renovable 2009/28/EC sobre las directrices para el cálculo de reservas de carbono para uso de suelo. Esta metodología se basa en las directrices del IPCC para el cálculo de las reservas de carbono en los suelos. El período de amortización utilizado es de 20 años.
Consumo de energía eléctrica	Actividad × Factor de Emisión	Nivel 2	Factor de emisión del Sistema Nacional Interconectado 0.264 kg CO <sub>2</sub> /kWh (Moore y Stechbart, 2010)
Consumo de combustible fósiles durante transporte de la cosecha	Actividad × Factor de Emisión	Nivel 1	Factor emisión de diesel: 3.14 kg CO <sub>2</sub> e/L (Biograce, 2011) Consumo camión cargado: 0.49 l/L (ISCC, 2011) Consumo camión vacío: 0.25 L/km (ISCC, 2011)
Consumo de combustibles fósiles durante la producción de fertilizantes	Actividad × Factor de Emisión	Nivel 1	Factor de emisión: <ul style="list-style-type: none"> <li>N-Fertilizantes: 8.55 kgCO<sub>2</sub>e/kg (ISCC, 2011)</li> <li>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 1.0107 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg (Biograce Additional Standard Values, 2011)</li> <li>K<sub>2</sub>O: 0.308 kg K<sub>2</sub>O/kg (Biograce Additional Standard Values, 2011)</li> </ul>

La suma total de emisiones fue calculada por medio de la aplicación de la siguiente ecuación:

$$EM_{Total} = EM_{Fertilizante} + EM_{Electricidad} + EM_{CUS} + EM_{Transporte}$$

Donde,

$EM_{Total}$  – Emisiones de GEI totales [tCO<sub>2</sub>e]

$EM_{Fertilizante}$  – Emisiones de N<sub>2</sub>O por uso y aplicación de fertilizantes (incluye emisiones directas e indirectas, ver Figura 3-6)

$EM_{Electricidad}$  – Emisiones de CO<sub>2</sub>e por el consumo de energía eléctrica

$EM_{CUS}$  – Emisiones de CO<sub>2</sub>e por cambio de uso de suelo

$EM_{Transporte}$  – Emisiones de GEI por la combustión de combustibles fósiles durante el transporte de la cosecha

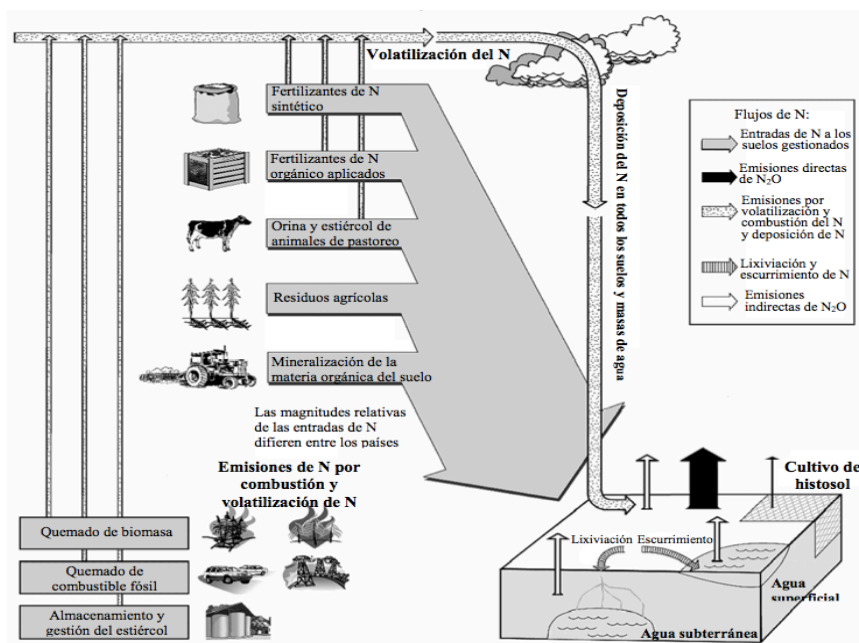


Figura 3-6: Emisiones Directas e Indirectas de  $N_2O$  Consideradas en la Metodología del IPCC y Biograce

Fuente: (IPCC, 2006)

## Recopilación de Información

Para el ingreso de datos actuales en las metodologías de cálculo del estudio, se recopiló información en base a registros obtenidos durante la visita técnica al CIPAL. Algunos datos fueron utilizados como base para su transformación a unidades requeridas en los distintos cálculos, los datos finales empleados en las operaciones respectivas se muestran en la Tabla 3-6, los cálculos realizados para la obtención de estos valores finales se indican en el Anexo I – Documentos de Respaldo en Formato Digital, en la hoja de Excel *Cálculo de Emisiones*.

Tabla 3-6: Datos Actuales del la Plantación CIPAL Utilizados en los Cálculos de Emisiones

<b>Dato obtenido en base a registros actuales</b>	<b>Valor</b>
Aplicación de fertilizantes nitrogenados <sup>1</sup>	107.1 kg N/ha año
Aplicación de fertilizantes P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	57.2 kgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha año
Aplicación de fertilizantes K <sub>2</sub> O	281.9 kg K <sub>2</sub> O/ha año
Aplicación de racimos desfrutados (raquis)	71 507.7 kg/ha año
Consumo eléctrico	22 246 kWh/año
Consumo de combustible en el transporte de la cosecha	1 118.88 L/año
Producción de fruta fresca	75.89 t/ha año
Hectáreas en lotes comerciales	29.78 ha
Número de plantas en lotes comerciales	4259
Edad promedio del cultivo	10 años <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Los registros de aplicación de fertilizantes corresponden al plan de fertilización para el año 2012, en vista de que no se pudo obtener el plan para el año 2011. Sin embargo, el jefe de la plantación del CIPAL supo manifestar que no existen cambios significativos entre la fertilización de ambos años.

<sup>2</sup> Edad del segundo ciclo de cultivo

### **Herramienta de Cálculo Biograce**

Para el cálculo de las emisiones generadas por la aplicación y uso de fertilizantes y por el cambio de uso de suelo se utilizó la herramienta de cálculo de GEI Biograce. El Proyecto Biograce se desarrolla desde el 2010 hasta el 2012, con la finalidad de lograr la armonización de cálculos de emisiones GEI en la Unión Europea y apoyar la implementación de la Directiva de Energías Renovables de la EU (2009/28/EC) y la Directiva de Calidad de Combustibles (2009/30/EC) en leyes nacionales (Biograce, 2010). A fin de desarrollar una herramienta que permita el cálculo de las emisiones GEI y el potencial ahorro de emisiones con el uso de biocombustibles de forma estandarizada, el Programa Intelligent Energy Europe financió el Proyecto Biograce, proyecto que utiliza las metodologías de cálculo de emisiones GEI establecidas en el Anexo V de la Directiva de Energías Renovables (2009/28/EC).

La herramienta de cálculo Biograce es gratuita, disponible para descarga en la web<sup>3</sup>. Utiliza hojas de cálculo Excel y una lista de valores estándar para 22 vías de producción de

<sup>3</sup> La herramienta de cálculo se puede descargar del sitio <http://www.biograce.net/content/ghgcalculationtools/overview> donde se puede descargar también el manual de usuario y reglas para los cálculos.

biocombustibles (incluyendo la producción de biodiesel proveniente de aceite de palma africana). La lista incluye factores de emisión para entradas en los procesos como fertilizantes, pesticidas, combustibles, matrices energéticas, fuentes de energía entre otras (Biograce, 2010). La herramienta permite el ingreso de datos de campo para realizar cálculos específicos en combinación con valores predeterminados en base a la Directiva de Energías Renovables. La herramienta está diseñada para calcular emisiones con un enfoque de análisis de ciclo de vida, por lo que, para el biodiesel de aceite de palma, se incluyen las fases de cultivo, transporte, extracción de aceite, refinación y esterificación. Se incluyen hojas de cálculo específicas para el cálculo de emisiones de  $N_2O$  y cambios de uso de suelo. La unidad que se maneja en los cálculos de la herramienta es  $gCO_2e/MJ_{FAME}$ , siendo FAME el producto final, es decir metil ester de ácidos grasos o biodiesel (fatty acid methyl ester por sus siglas en inglés). Sin embargo, también se presentan los resultados en unidades más funcionales como  $gCO_2e/kg$  fruta fresca o  $kgCO_2e/ha$  año, las cuales fueron utilizadas en este estudio.

Para el cálculo de emisiones de  $N_2O$  se ingresaron los siguientes datos en la hoja de cálculo *N20 emissions IPCC*:

Tabla 3-7: Datos Ingresados a la Hoja de Cálculo Biograce para Emisiones de N<sub>2</sub>O

<b>Nombre del casillero</b>	<b>Dato ingresado</b>	<b>Observaciones</b>
Nombre de la cosecha	Palma	
Rendimiento del cultivo	75 894 kg/ha año	Valo obtenido por datos proporcionados por el CIPAL cuyo cálculo se encuentra en el Anexo I – Documentos de Respaldo en Formato Digital, hoja de Excel <i>Cálculo de Emisiones</i> .
Saturación de agua en el suelo	Desconocida	Opción seleccionada en base a información proporcionada en la hoja de cálculo.
Cambio de uso de suelo	Bosque a labranza	Dato seleccionado en la hoja de cálculo.
Fertilizantes Nitrogenados (F <sub>SN</sub> )	107.10 kg N/ha año	Valor obtenido por datos proporcionados por el CIPAL cuyo cálculo se encuentra en el Anexo I – Documentos de Respaldo en Formato Digital, hoja de <i>Excel Cálculo de Emisiones</i> .
Fertilizantes Orgánicos (F <sub>ON</sub> )	238.36 kg N/ha año	Valor obtenido por datos proporcionados por el CIPAL cuyo cálculo se encuentra en el Anexo I – Documentos de Respaldo en Formato Digital, hoja de Excel <i>Cálculo de Emisiones</i> .

Para el cálculo de emisiones generadas por cambio de uso de suelo se ingresaron los siguientes datos en la hoja de cálculo *LUC* (Land Use Change) (para el escenario 2 únicamente):

Tabla 3-8: Datos Ingresados a la Hoja de Cálculo Biograce para Emisiones debido a Cambio de Uso de Suelo

Nombre del casillero	Dato ingresado	Observaciones
Cuándo ocurre el cambio de uso de suelo	Hace 20 años	
<b>Uso de suelo actual</b>	<b>Uso de suelo pasado</b>	<b>Observaciones</b>
Región climática: Tropical mojada	Región Climática: Tropical mojada	Dato seleccionado de la Directiva 2009/28/EC
Vegetación/Cultivo (uso de suelo): Palma de Aceite/perenne	Vegetación/Cultivo (uso de suelo): Bosque nativo (cobertura de dosel >30%)	Dato determinado en la hoja de cálculo
Zona ecológica: Bosque Tropical	Zona ecológica: Bosque Tropical	Dato seleccionado de la Directiva 2009/28/EC
Continente: América del Sur	Continente: América del Sur	
Carbono vegetal ( $C_{VEG}$ ): 60 tC/ha	Carbono vegetal ( $C_{VEG}$ ): 198 tC/ha	Dato seleccionado de la Directiva 2009/28/EC
Tipo de Suelo: Suelo Volcánico	Tipo de Suelo: Suelo Volcánico	Dato seleccionado de la Directiva 2009/28/EC*
Manejo de suelo: Sin labranza	Manejo de suelo: Sin labranza	Dato determinado de la Directiva 2009/28/EC
Entrada: Alta sin estiércol	Sin entrada	Dato determinado de la Directiva 2009/28/EC
Carbono orgánico del suelo ( $SOC_{ST}$ ): 130 t C/ha	Carbono orgánico del suelo ( $SOC_{ST}$ ): 130 t C/ha	Dato seleccionado de la Directiva 2009/28/EC
Factor de uso de suelo refleja la diferencia entre carbono orgánico del suelo asociado al uso de suelo comparado con el carbono orgánico estándar ( $F_{LU}$ ): 1	Factor de uso de suelo refleja la diferencia entre carbono orgánico del suelo asociado al uso de suelo comparado con el carbono orgánico estándar ( $F_{LU}$ ): 1	Dato seleccionado de la Directiva 2009/28/EC
Factor de manejo refleja la diferencia del carbono orgánico del suelo asociado con las prácticas de manejo actuales comparado con el carbono orgánico estándar ( $F_{MG}$ ): 1.22	N/A	Dato seleccionado de la Directiva 2009/28/EC
Factor de entrada reflejando la diferencia de carbono orgánico del suelo asociado a diferentes niveles de entradas de carbono al suelo comparado con el carbono orgánico estándar ( $F_I$ ): 1.11	N/A	Dato seleccionado de la Directiva 2009/28/EC

\* El tipo de suelo fue determinado a partir de un diagrama proporcionado en la Directiva 2009/28/EC, en el cual se escogió la clasificación de suelo Andosol, que determina un suelo volcánico. Adicionalmente, Corley y Tinker 2003 identifican suelos de origen volcánico en las zonas de plantaciones de palma en el Ecuador.

Los archivos generados por la herramienta Biograce, que incluye las hojas de cálculo y la lista de valores estándar se encuentran en el Anexo I, Documentos de Respaldo en Formato Digital, archivos *Palma Africana Escenario 1* y *Palma Africana Escenario 2*.

Los procedimientos de cálculo de las emisiones  $EM_{\text{Electricidad}}$ ,  $EM_{\text{Transporte}}$  y  $EM_{\text{Total}}$  están incluidos en el Anexo I – Documentos de Respaldo en Formato Digital, hoja de Excel *Cálculo de Emisiones*.

En vista de que Biograce permite el cálculo de emisiones para distintas fases del proceso de producción de biodiesel, se utilizó la herramienta para calcular las emisiones en la fase de cultivo para lo cual se ingresaron los siguientes datos en la hoja de cálculo *F\_Po*:

Tabla 3-9: Datos Ingresados a la Hoja de Cálculo Biograce para Emisiones en la Fase de Cultivo

Nombre del casillero	Dato ingresado	Observaciones
Producción de Fruta Fresca (FBB)	7.5 t/ha año	Valor obtenido por datos proporcionados por el CIPAL cuyo cálculo se encuentra en el Anexo I – Documentos de Respaldo en Formato Digital, hoja de Excel <i>Cálculo de Emisiones</i> .
Contenido de humedad de la fruta	34%	Valor estándar en la hoja de cálculo.
N-fertilizante	107.1 kg N/ha año	Valor obtenido por datos proporcionados por el CIPAL cuyo cálculo se encuentra en el Anexo I – Documentos de Respaldo en Formato Digital, hoja de Excel <i>Cálculo de Emisiones</i> .
K <sub>2</sub> O-fertilizante	281.9 kgK <sub>2</sub> O/ha año	Valor obtenido por datos proporcionados por el CIPAL cuyo cálculo se encuentra en el Anexo I – Documentos de Respaldo en Formato Digital, hoja de Excel <i>Cálculo de Emisiones</i> .
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -fertilizante	57.2 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha año	Valor obtenido por datos proporcionados por el CIPAL cuyo cálculo se encuentra en el Anexo I – Documentos de Respaldo en Formato Digital, hoja de Excel <i>Cálculo de Emisiones</i> .
Compost de racimos desfrutados	71 507.7 kg/ha año	Valor obtenido por datos proporcionados por el CIPAL cuyo cálculo se encuentra en el Anexo I – Documentos de Respaldo en Formato Digital, hoja de Excel <i>Cálculo de Emisiones</i> .
Emisiones de N <sub>2</sub> O del campo	11.10 kg/ha año (Escenario 1)	Valor obtenido de la hoja de cálculo <i>N20 emissions IPCC</i> .
	32.73 kg/ha año (Escenario 2)	



### 3.3.2 Análisis del Crecimiento del Cultivo

Para la elaboración de los mapas y bases de dato requeridos para introducir al SIG se consiguió la siguiente información :

- Mapa de Isoyetas del Ecuador (MAGAP-SIGAGRO 2010)
- Mapa de Isotermas del Ecuador (MAGAP-SIGAGRO 2010)
- Mapas morfopedológicos del Ecuador (MAGAP-SIGAGRO 2010)

#### 3.3.2.1 Generación de Mapas

Para identificar las áreas apropiadas para el cultivo de la palma africana se generó una serie de mapas para delimitar las zonas en el país que cumplen con los requerimientos agroecológicos identificados como óptimos, los cuales se indican en la Tabla 3-10.

Tabla 3-10: Variables Óptimas Seleccionadas

Variable	Rango Óptimo
Temperatura óptima °C	24 a 28
Altitud m.s.n.m.	1 a 1 500
Precipitación mm	1800 a 2300
Radiación Solar	1 500 horas/año
Textura del suelo	Franco, franco-arcilloso, franco-limoso
pH óptimo	4 - 6,5
Salinidad	Sin
Profundidad efectiva del suelo	Moderadamente profundos
Drenaje del suelo	Bueno, soporta levemente mal drenaje
Pendiente	0 a 3 %
Materia orgánica	Media a alta
Pedregosidad del suelo	Sin
Topografía	Planos y casi planos
Nivel freático del suelo	Medianamente profundos
Sistema Nacional de Áreas Protegidas	Evitar cruzar

Fuente: Corley y Tinker, 2003

El proceso de generación de mapas se muestra en las Figuras 3-7 a 3-10, a manera de ilustrar la metodología aplicada, los mapas señalados se pueden observar en el Anexo II – Mapas.

Primero se identificaron las zonas que cumplen con los parámetros deseados de temperatura y precipitación a partir de mapas de isothermas e isoyetas:

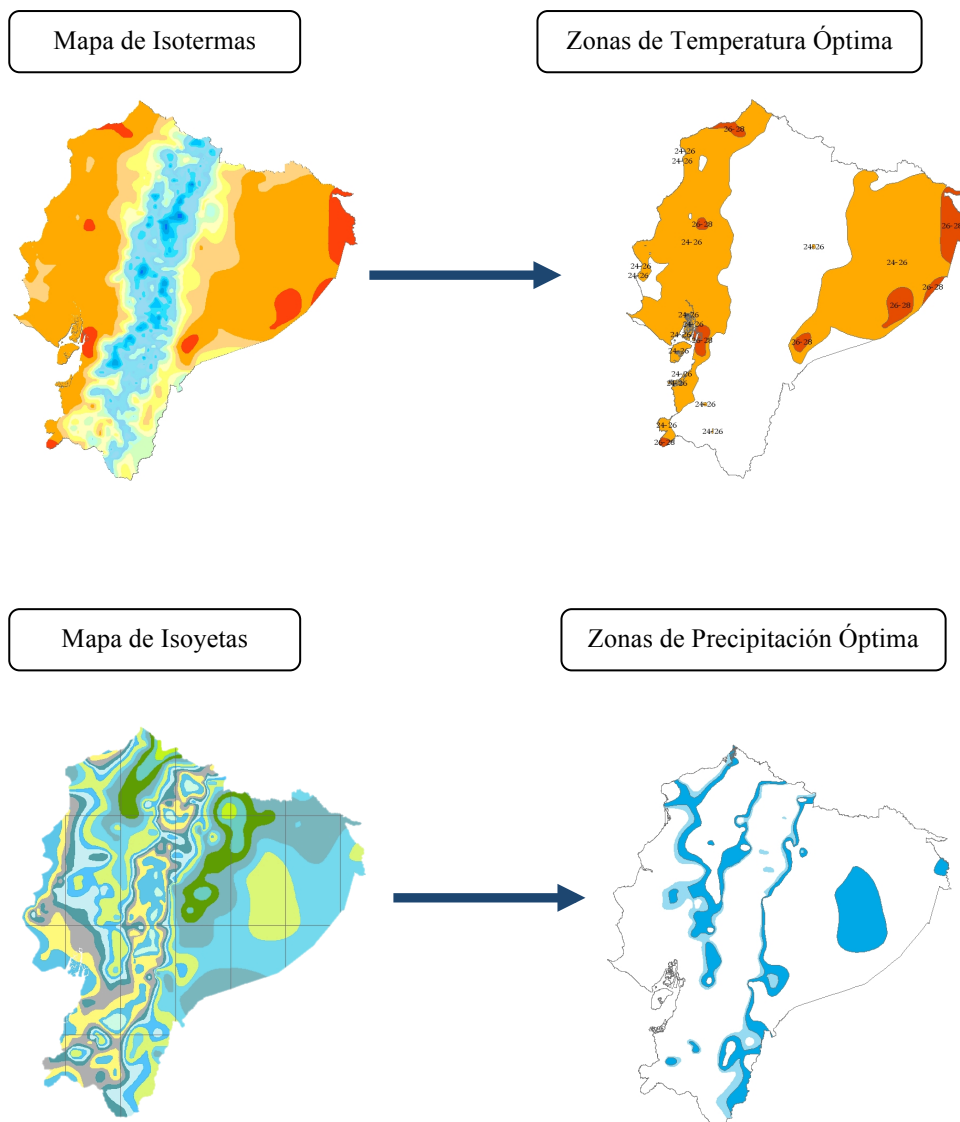


Figura 3-7: Proceso de Identificación de Zonas de Temperatura y Precipitación Óptimas

Contando con la delimitación de las zonas óptimas en términos de temperatura y precipitación, se combinaron los dos mapas para generar el mapa de la Figura 3-8.

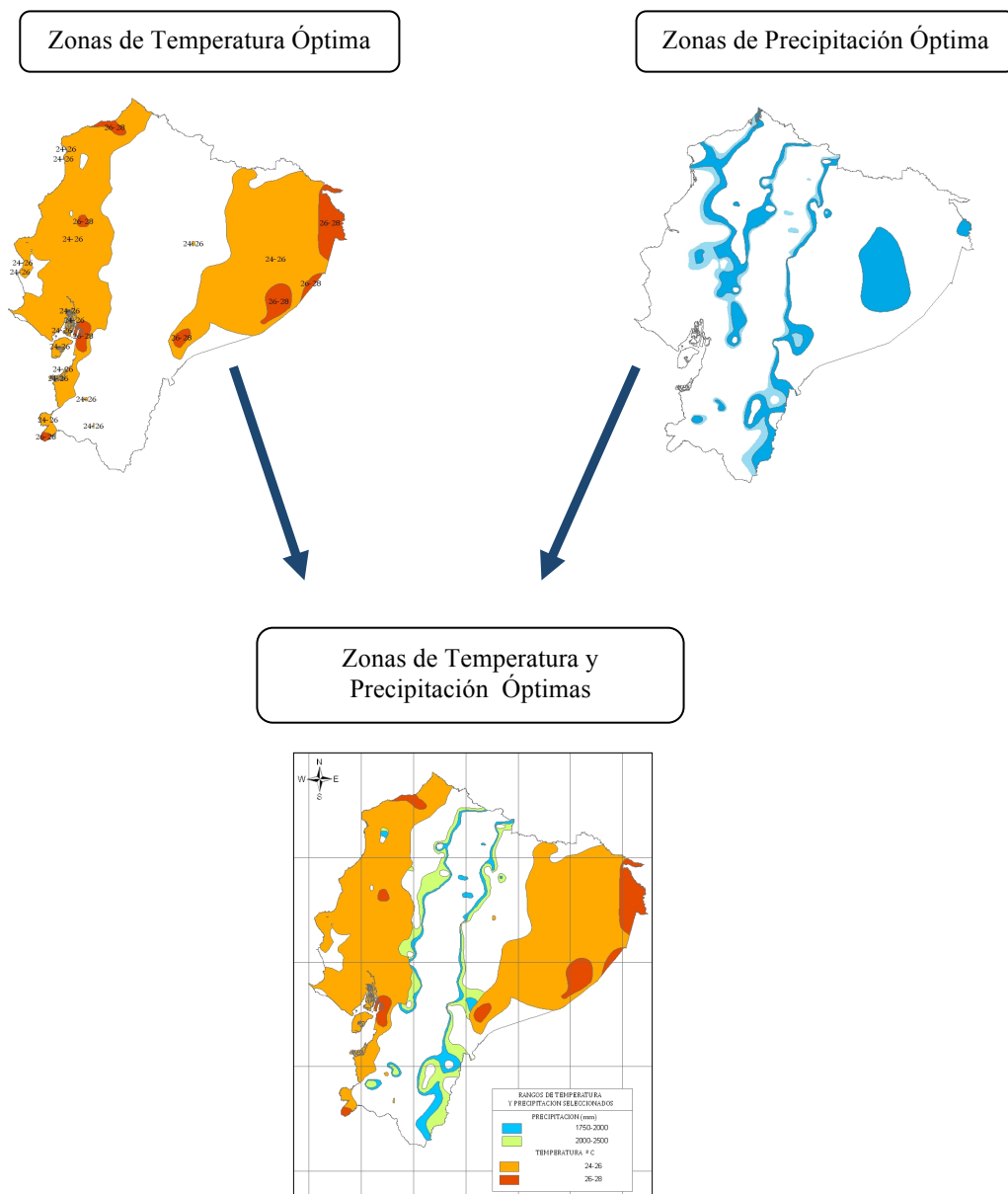


Figura 3-8: Identificación de Zonas con Temperatura o Precipitación Óptimas

Luego se unieron mapas morfopedológicos para determinar las zonas que cumplen con los requerimientos del cultivo de acuerdo a los siguientes parámetros como pedregosidad, profundidad, pendiente, permeabilidad, pH y textura.

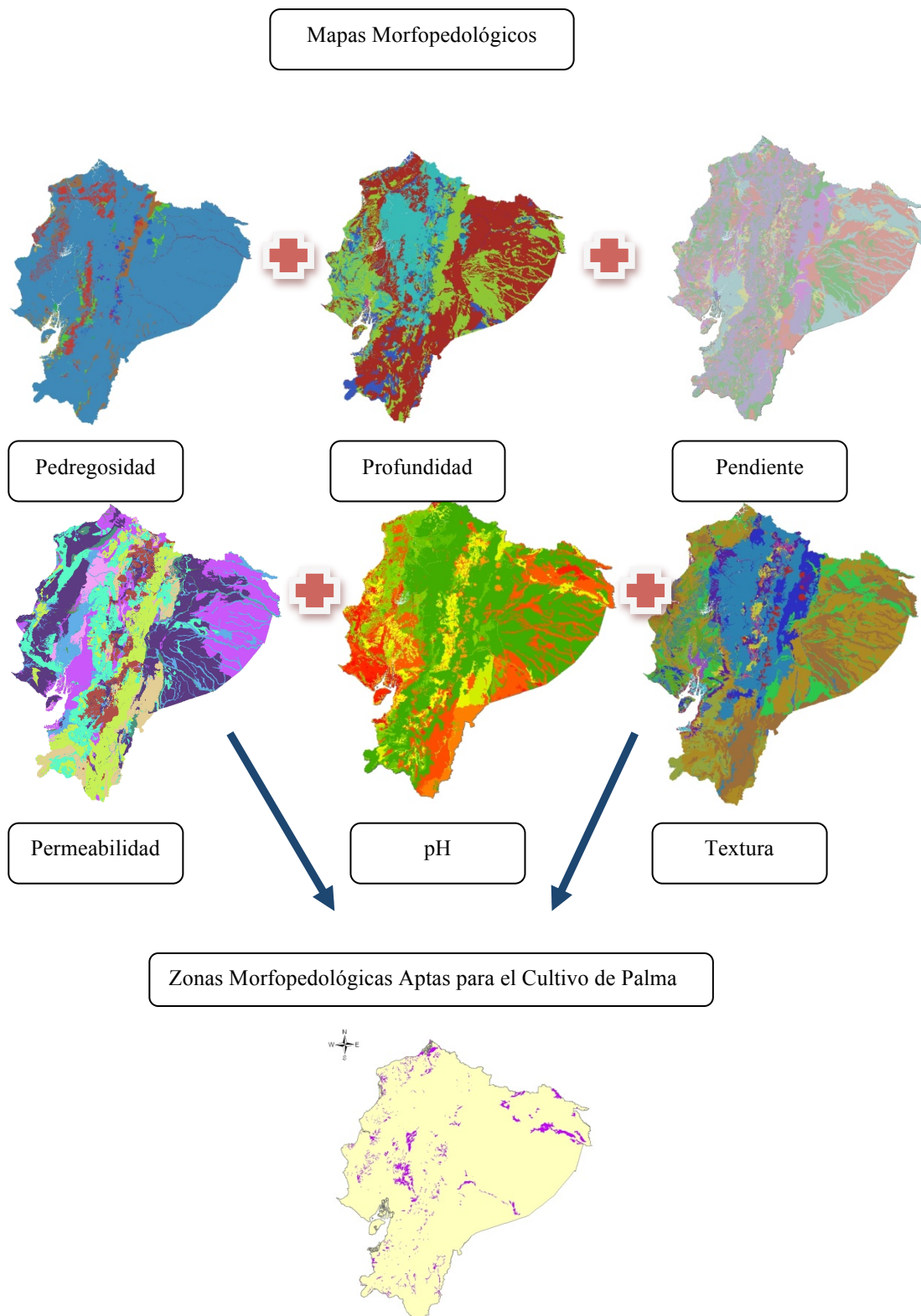


Figura 3-9: Generación de Zonas Morfopedológicas Aptas para el Cultivo de Palma

Finalmente, se cruzaron los mapas de zonas morfopedológicas óptimas, zonas de temperatura y precipitación óptimas y el mapa del Sistema Nacional de Áreas Protegidas

(SNAP) del MAE para obtener el mapa final con las zonas aptas para el crecimiento del cultivo de palma de acuerdo a los criterios seleccionados. Éste mapa se presenta en la sección de resultados 3.1.2.

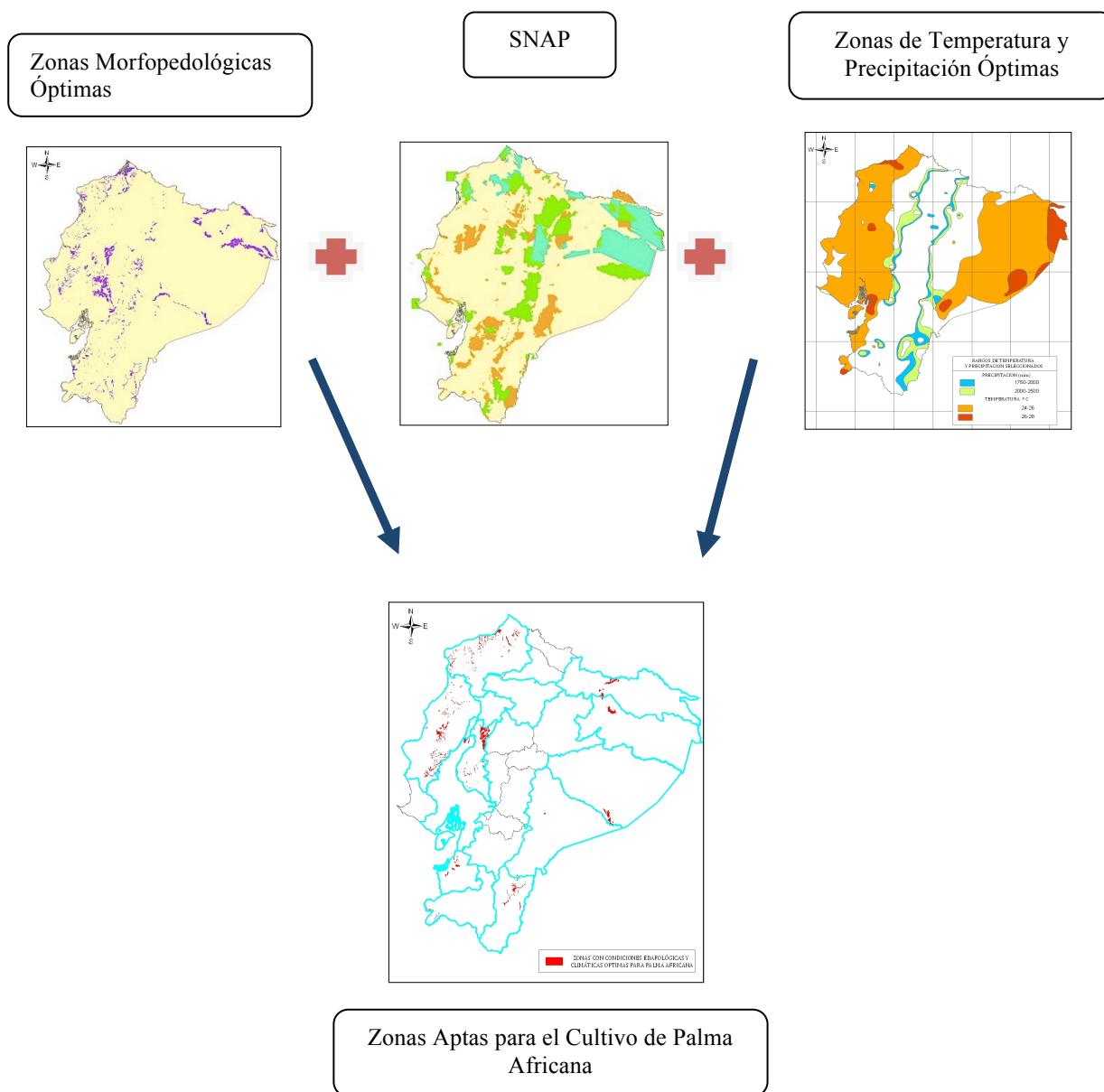


Figura 3-10: Generación del Mapa con la Delimitación de Zonas Aptas para el Cultivo de Palma Africana

## 4 Resultados y Discusión

### 4.1 Resultados

#### 4.1.1 Huella de Carbono de la Plantación CIPAL

##### Emisiones Totales

Tabla 4-1: Resultados de Emisiones GEI para el Escenario 1 (actual, sin cambio de uso de suelo)

<b>Emisión</b>	<b>(tCO<sub>2</sub>e/ha año)</b>	<b>(tCO<sub>2</sub>e/t aceite)</b>
EM <sub>Fertilizante</sub>	4.35	0.29
EM <sub>Electricidad</sub>	0.22	0.01
EM <sub>CUS</sub>	0	0
EM <sub>Transporte</sub>	$1.74 \times 10^{-7}$	$1.15 \times 10^{-8}$
<b>Emisiones Totales</b>	<b>4.6</b>	<b>0.30</b>

Tabla 4-2: Resultados de Emisiones GEI para el Escenario 2 (referencial, con cambio de uso de suelo de bosque nativo a plantación de palma)

<b>Emisión</b>	<b>(tCO<sub>2</sub>e/ha año)</b>	<b>(tCO<sub>2</sub>e/t aceite)</b>
EM <sub>Fertilizante</sub>	10.75	0.71
EM <sub>Electricidad</sub>	0.22	0.01
EM <sub>CUS</sub>	16.85	1.11
EM <sub>Transporte</sub>	$1.74 \times 10^{-7}$	$1.15 \times 10^{-8}$
<b>Emisiones Totales</b>	<b>27.8</b>	<b>1.83</b>

##### Emisiones Desagregadas por Alcance

Tabla 4-3: Emisiones Desagregadas por Alcance

<b>Alcance</b>	<b>Escenario 1</b>	<b>Escenario 2</b>
	<b>(tCO<sub>2</sub>e/ha año)</b>	<b>(tCO<sub>2</sub>e/ha año)</b>
Alcance 1	3.29	26.54
Alcance 2	0.42	0.42
Alcance 3	1.06	1.06
	<b>(tCO<sub>2</sub>e/t aceite)</b>	<b>(tCO<sub>2</sub>e/t aceite)</b>
Alcance 1	0.22	1.75
Alcance 2	0.03	0.03
Alcance 3	0.07	0.07

### Emisiones Desagregadas por Fuentes Mecánicas y No Mecánicas

Tabla 4-4: Emisiones Desagregadas por Fuentes Mecánicas y No Mecánicas

<b>EM Fuentes Mecánicas</b>	<b>Escenario 1</b>	<b>Escenario 2</b>
tCO <sub>2</sub> e/t aceite	0.03	0.03
tCO <sub>2</sub> e/ha año	0.42	0.42
<b>EM Fuentes No Mecánicas</b>	<b>Escenario 1</b>	<b>Escenario 2</b>
tCO <sub>2</sub> e/t aceite	0.29	1.82
tCO <sub>2</sub> e/ha año	4.35	27.60

### Resultados Obtenidos con la Herramienta Biograce

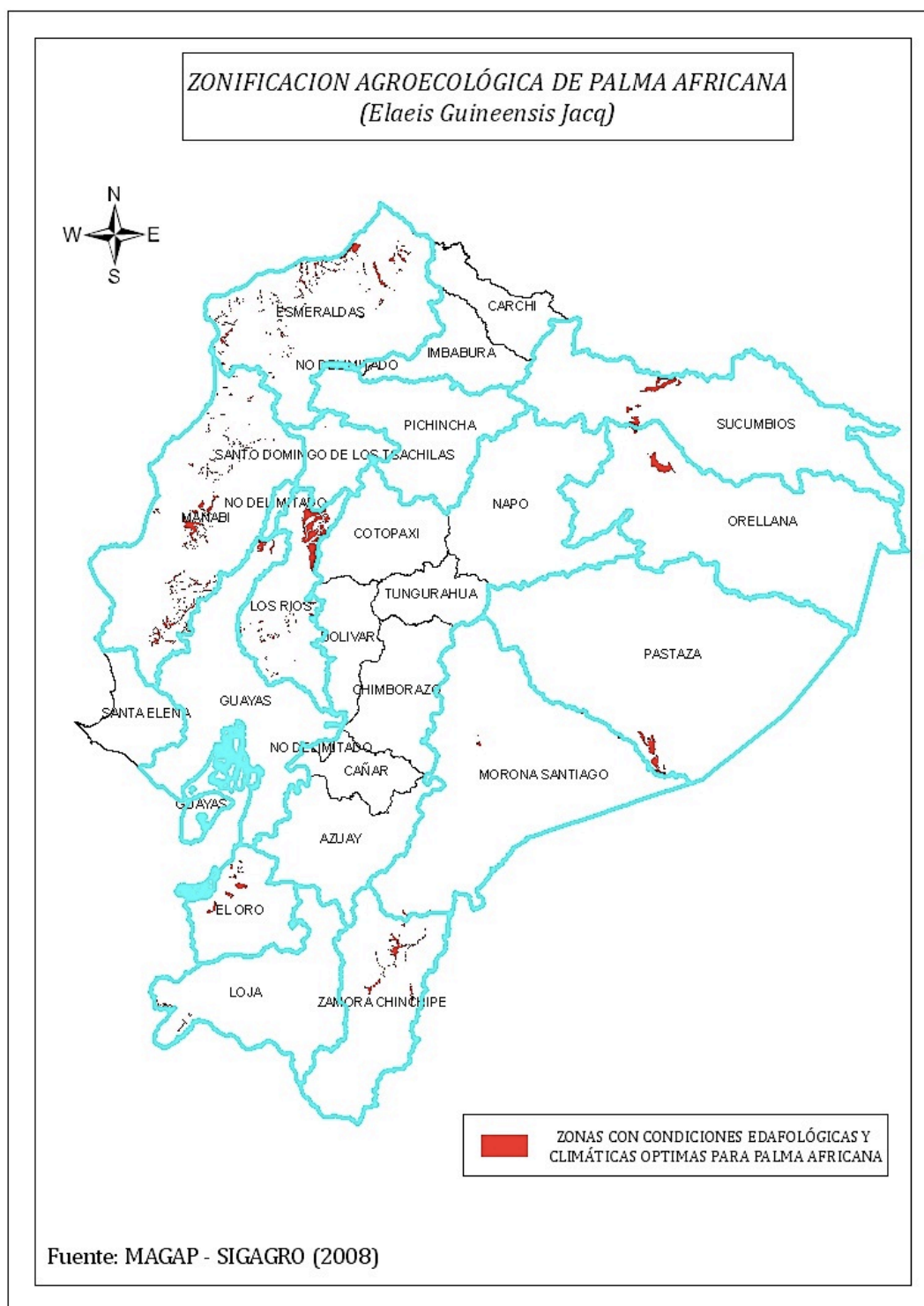
Tabla 4-5: Resultado de Emisiones Biograce

<b>Emisiones</b>	<b>Escenario 1</b>	<b>Escenario 2</b>
Emisiones en la fase de cultivo (gCO <sub>2</sub> e/kg fruta fresca)	54.86	139.77
Emisiones en la fase de cultivo (kgCO <sub>2</sub> e/ha año)	4 163.7	10 607.7
Cambio de Uso de Suelo (tCO <sub>2</sub> e/ha año)	0	16.85
Emisiones N <sub>2</sub> O (kgN <sub>2</sub> O /ha año)	11.1	32.73
Conversión emisiones en la fase de cultivo a tCO <sub>2</sub> e/t aceite	0.27	0.70
Conversión de emisiones cambio de uso de suelo (tCO <sub>2</sub> e/t aceite)	0	1.11
Conversión de emisiones N <sub>2</sub> O a(tCO <sub>2</sub> e/t aceite)	0.22	0.64

Las emisiones no están desagregadas por tipo de GEI (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SF<sub>6</sub>, PFCs y HFCs), debido a que los factores de emisión utilizados tienen unidades de tCO<sub>2</sub>e.

#### 4.1.2 Análisis de Crecimiento del Cultivo de Palma en el Ecuador

A continuación se presenta el mapa generado que delimita las zonas apropiadas para el cultivo de palma africana, en base a los criterios agroecológicos y ambientales seleccionados.



**Figura 4-1: Zonas Aptas para el Cultivo de Palma en el Ecuador**

Nota: Las provincias delimitadas con azul son aquellas en las cuales se identificaron áreas aptas para el cultivo.



En total se identificaron 16 provincias con zonas aptas para el cultivo de palma, representando una superficie total de 403 408.5 ha desagregadas de acuerdo a los datos presentados en la Tabla 4-6.

Tabla 4-6: Superficie Apta para el Cultivo de Palma por Provincia

<b>Provincia</b>	<b>Superficie Apta para el Cultivo de Palma (ha)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Azuay	75.4	0
Bolívar	40.2	0
Cotopaxi	18.4	0
El Oro	9 935.2	2.5
Esmeraldas	70 643.4	17.5
Guayas	21 293.7	5.3
Loja	3 404.7	0.8
Los Ríos	146 254.7	36.3
Manabí	71 443.1	17.7
Morona Santiago	10 001.3	2.5
Orellana	15 311.8	3.8
Pastaza	16 167.7	4.0
Pichincha	104.1	0
Santo Domingo de los Tsáchilas*	171.39	0
Sucumbíos	21 029.7	5.2
Zamora Chinchipe	17 513.9	4.3
<b>TOTAL</b>	<b>403 408.5</b>	<b>100</b>

\* La superficie dentro de la "zona no delimitada" en el mapa fue sumada al valor correspondiente en la Provincia Santo Domingo de los Tsáchilas.

La zonificación obtenida no considera datos de uso de suelo actual, por lo que la superficie disponible puede ser menor a la identificada en el estudio.

### **Zonificación Agroecológica MAE**

El MAE, en conjunto con el MAGAP y SIGAGRO han desarrollado una Zonificación Agroecológica para los cultivos de Palma Africana en función de su crecimiento para uso como biocombustible. Aunque esta zonificación aún no ha sido implementada u oficializada, proporciona información valiosa sobre las potenciales áreas dentro del país donde será posible continuar con la expansión del cultivo (MAGAP; SIGAGRO; MAE; SPN; DNF).

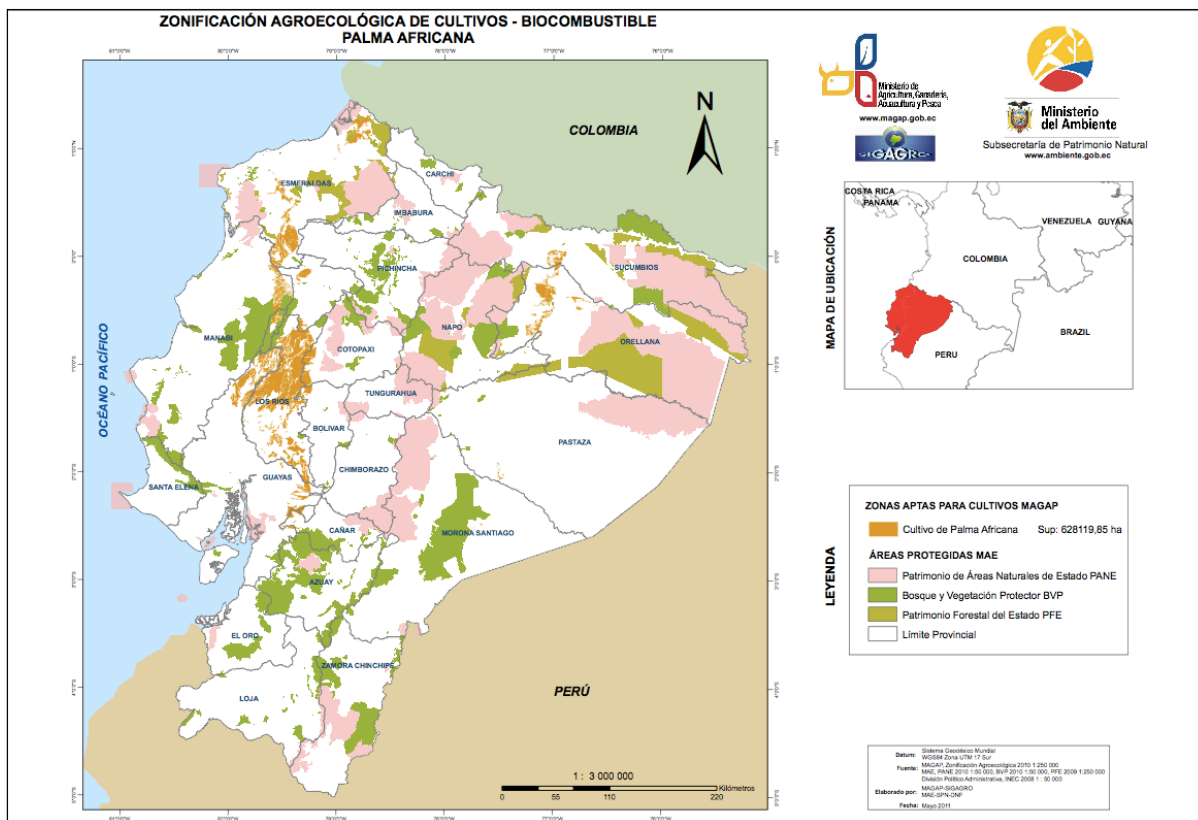


Figura 4-2: Zonificación Agroecológica para el Cultivo de Palma Generada por el MAE  
Fuente: MAGAP-SIGAGRO-MAE-SPN-DNF, mayo 2011.

El mapa se puede observar con mayor detalle en el Anexo III – Mapas.

De acuerdo a la zonificación propuesta por el MAE, las áreas marcadas de color naranja señalan las zonas aptas para el cultivo de palma, esto representa una superficie de 628 119.85 ha.

Adicionalmente, se procesó información de uso de suelo del Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (SINAGAP), correspondiente al 2008, con la cual se generó un mapa de cobertura de palma en el país:

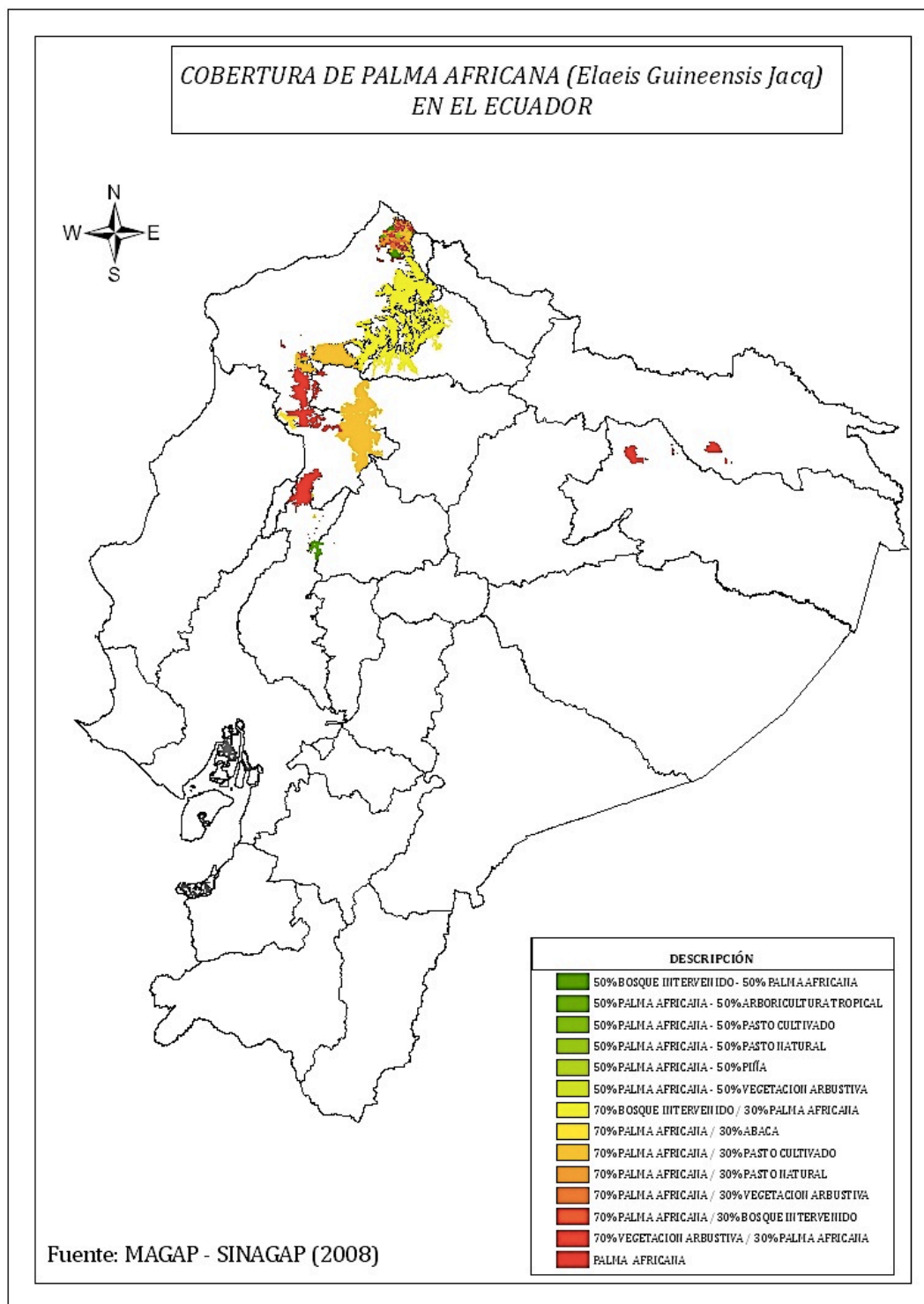


Figura 4-3: Cobertura de Palma Africana en el Ecuador de Acuerdo al SINAGAP, 2008

## 4.2 Análisis de los Resultados

### 4.2.1 Huella de Carbono

En base a los resultados del cálculo de emisiones GEI de la plantación en el CIPAL, se encontró que las actividades que generan la mayor proporción de emisiones son el uso y aplicación de fertilizantes y el cambio de uso de suelo. Las emisiones por transporte son insignificantes. Este resultado es coherente con lo mencionado en la literatura citada en este estudio, en la cual se menciona que el cambio de uso de suelo es uno de los factores que mayor impacto ocasiona en términos de emisiones GEI en el sector agrícola y en el cultivo de palma.

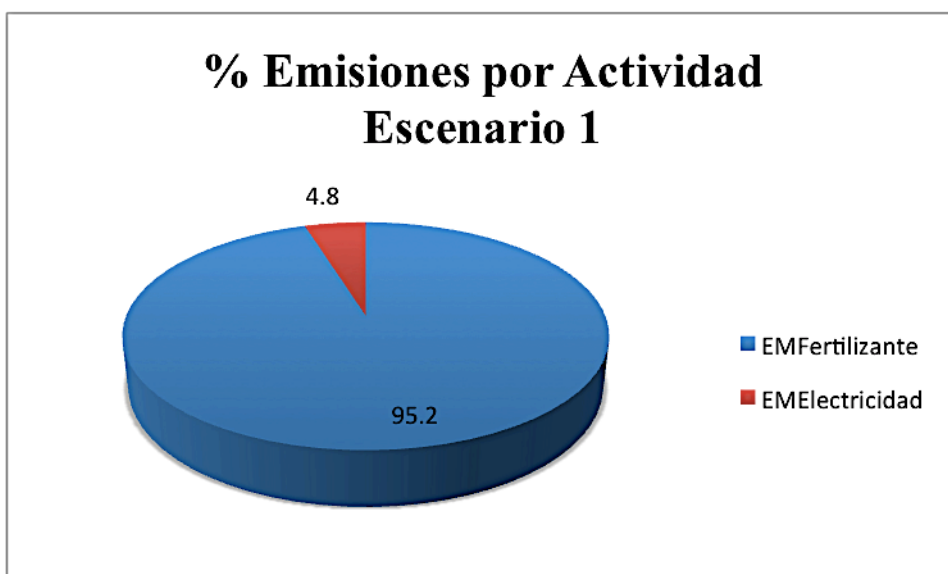


Figura 4-4: Porcentaje de Emisiones por Actividad – Escenario 1

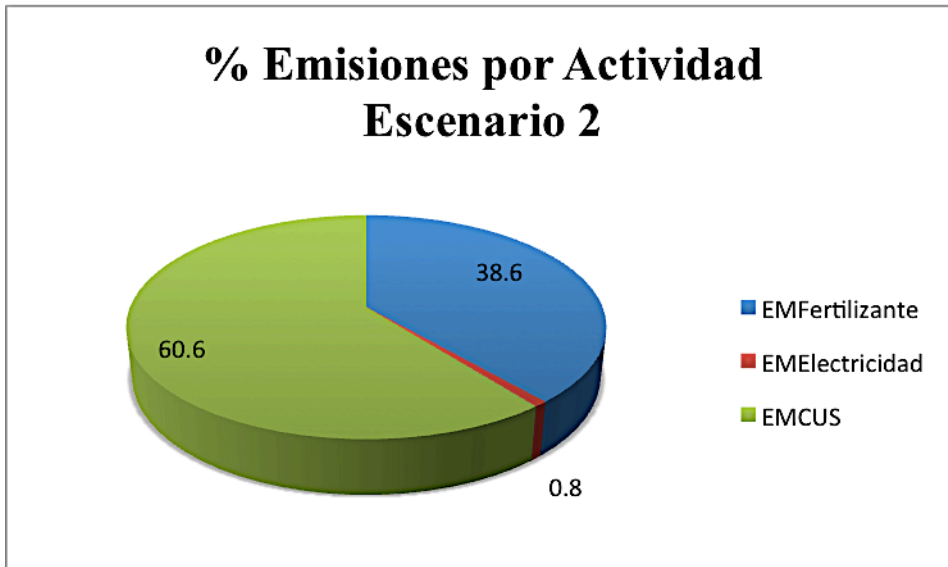


Figura 4-5: Porcentaje de Emisiones por Actividad – Escenario 2

Con respecto a las emisiones por alcance, en ambos escenarios, las emisiones de alcance 1 y alcance 3 son las más significativas. El alcance 1 se refiere a emisiones directas provenientes de fuentes controladas por la empresa, el alcance dos corresponde a emisiones asociadas al uso de electricidad, y el alcance 3 corresponde a emisiones indirectas.

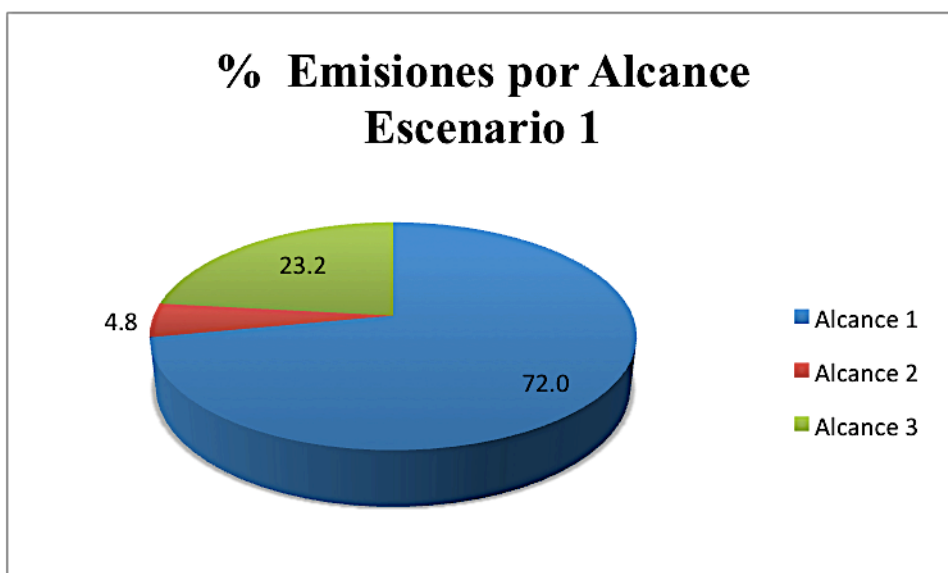


Figura 4-6: Porcentaje de Emisiones por Alcance – Escenario 1

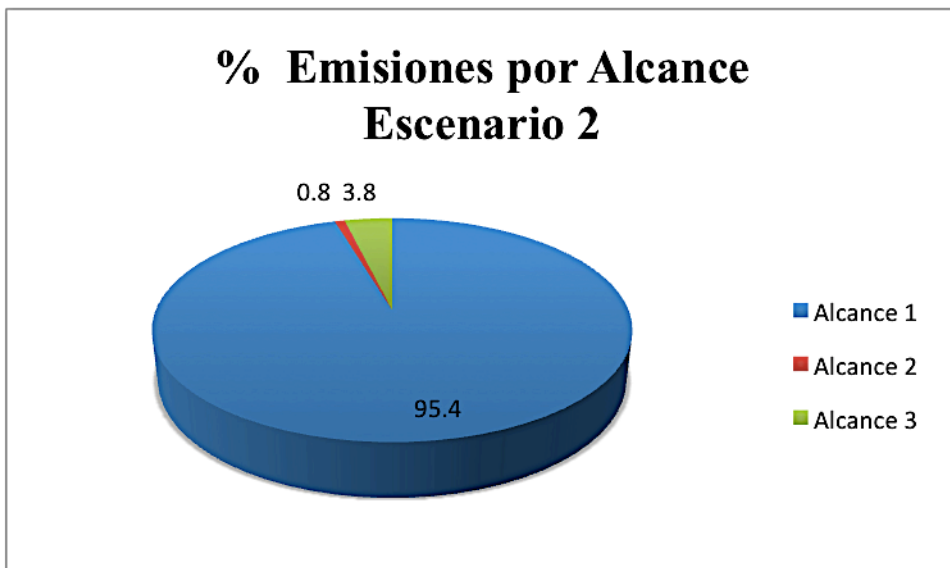


Figura 4-7: Porcentaje de Emisiones por Alcance – Escenario 2

Con respecto a las fuentes de emisión, en ambos alcances se obtuvo mayores emisiones debido a fuentes no mecánicas. De acuerdo a la literatura citada en el estudio, las emisiones generadas por fuentes no mecánicas son las más representativas para el sector agroindustrial, lo que es confirmado por los datos obtenidos en este estudio.

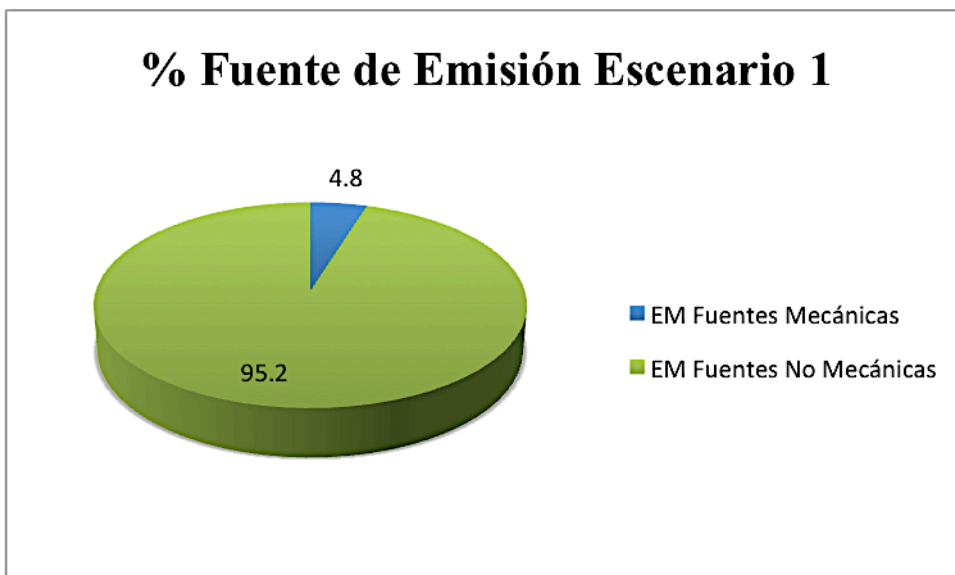


Figura 4-8: Porcentaje de Emisiones por Fuente de Emisión – Escenario 1

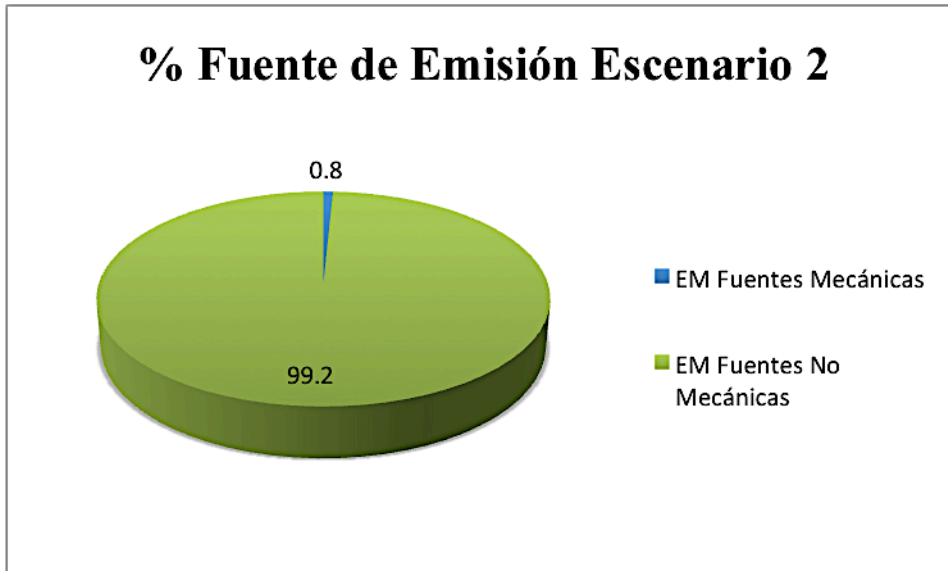


Figura 4-9: Porcentaje de Emisiones por Fuente de Emisión – Escenario 2

Para analizar la magnitud de los resultados obtenidos, se realizó una comparación con valores de emisiones de estudios en plantaciones de palma africana y los resultados obtenidos para la fase de cultivo con el uso de la herramienta Biograce. La Tabla 4-7 presenta los datos de la literatura consultada, los valores calculados en el presente estudio y los resultados obtenidos con el uso de la herramienta Biograce.

Tabla 4-7: Comparación de Resultados del Estudio y Resultados de la Literatura Consultada

Emisión	Este Estudio	L, Reijners; M.A.J Huijbregts, 2006	Yuen; Halimah; et.al, 2011	Brinkmann Consultancy, 2009	Biograce 2011
	(tCO <sub>2</sub> e/t aceite)	(tCO <sub>2</sub> e/t aceite)	(tCO <sub>2</sub> e/t aceite)	(tCO <sub>2</sub> e/t aceite)	(tCO <sub>2</sub> e/t aceite)
EM- fertilizante escenario 1	0.29	0.01-0.05	-	0.25-0.47	0.22 <sup>c</sup>
EM- fertilizante escenario 2	0.71				0.64 <sup>c</sup>
EM-electricidad	0.01	-	-		-
EM-cambio uso suelo escenario 1 (tCO <sub>2</sub> e/ha año)	0	1.5-5.8 <sup>a</sup>	-	7.9+/-4.1 <sup>d</sup>	0
EM-cambio uso suelo escenario 2 (tCO <sub>2</sub> e/ha año)	1.11				1.11
EM-transporte FFB	1.15E-08	-	-		-
EM-total Escenario 1 (Sin cambio Uso Suelo)	0.30	nd	≈0.6 <sup>c</sup>		0.49 <sup>f</sup>
EM-total Escenario 2 ( Con cambio de Uso de Suelo)	1.83	2.6-18.2 <sup>b</sup>	-		2.45 <sup>f</sup>

a. Valor obtenido en base a un período de amortización de emisiones por CUS de 25 años.

b. Rango incluye emisiones debido a la conversión anaeróbica del efluente de la planta de extracción, emisiones por uso de combustibles fósiles en la plantación, quema de vegetación, fertilizantes y cambio de uso de suelo.

c. Valor calculado en base a un rendimiento de 20.7 t fruta fresca/ha año y un factor de extracción de aceite de 20%. Incluye emisiones por transporte de insumos a la plantación.

d. Valor calculado con un período de amortización de emisiones por CUS de 20 años y una producción de aceite de 4t/ha año.

e. Valor no incluye emisiones por la producción de fertilizantes, solo por emisiones directas e indirectas de N<sub>2</sub>O debido a su aplicación en el suelo.

f. Valor excluye el valor de transporte de cosecha, emisiones por la producción de fertilizantes y consumo eléctrico, ya que solo considera consumo de energía por uso de diesel, el cual no es utilizado en la plantación del CIPAL.

Los resultados de las emisiones de GEI generadas en la plantación del CIPAL son buenos, ya que los valores obtenidos están dentro de los rangos reportados en la literatura y cercanos al límite inferior de los estudios consultados. El CIPAL utiliza las mejores prácticas de manejo disponibles, por lo que los valores obtenidos en este estudio representan el mejor de los escenarios con respecto a emisiones de GEI en el país. El hecho de que la plantación no ha generado cambio de uso de suelo y que se utilizan fertilizantes orgánicos, como el raquis, para complementar la fertilización química, resulta en valores



bajos de emisiones de GEI. Éstos resultados no pueden ser generalizados para todas las plantaciones de palma en vista de que las emisiones varían de acuerdo a las prácticas de manejo de cada empresa.

Bajo las condiciones actuales de la plantación, las emisiones debido al uso de fertilizantes son las más representativas. Esto indica que se pueden aplicar mejoras en la aplicación de fertilizantes para reducir las emisiones; para esto sería necesario realizar estudios sobre la eficiencia de los fertilizantes aplicados y la posibilidad de utilizar el efluente de plantas de extracción como aditivo de nutrientes para el suelo.

Aunque los valores obtenidos en el estudio son comparables a las emisiones reportadas en la literatura consultada, es difícil establecer una comparación equitativa entre todas las cifras, ya que cada estudio considera distintas actividades dentro de sus propios límites operacionales y alcance. Los resultados no han sido calculados bajo las mismas asunciones y definiciones, por lo que la comparación se debe tomar como una referencia general. Un inconveniente para la comparación del rendimiento en la gestión de GEI entre una plantación y otra es la variabilidad de enfoques para el cálculo de emisiones.

Las cifras obtenidas mediante la fórmula para  $EM_{Total}$  y los valores obtenidos de la herramienta Biograce son similares. Una razón para esto es que los ingresos de emisiones por cambio de uso de suelo y aplicación y uso de fertilizantes fueron obtenidos de la hoja de cálculo de Biograce e introducidos en la fórmula. Este resultado permite concluir que Biograce es un modelo en el cual se pueden ingresar datos de campo y obtener valores de emisiones de GEI que reflejan las condiciones locales de cultivos establecidos fuera de la Unión Europea.

Es importante señalar que no se realizó un análisis de ciclo de vida del aceite de palma para el cálculo de emisiones, por lo que los resultados obtenidos exponen las emisiones de GEI generadas en la fase de cultivo. No obstante, se debe resaltar que las emisiones del

efluente generado durante la fase de extracción constituyen una actividad significativa en la emisión de GEI, ya que además de las emisiones generadas por procesos de combustión, las lagunas de oxidación en las cuales se trata al efluente (práctica común en la industria) generan emisiones de metano, que tiene un potencial de calentamiento global de 23. En un inventario de emisiones del proceso de producción de biodiesel con un enfoque de análisis de ciclo de vida, se ha encontrado que las emisiones generadas por el efluente de plantas de extracción que no aplican métodos de captura de metano son una de las fuentes de mayor contribución a la emisión de GEI (Yuen, Halimah et. al, 2011).

#### **4.2.2 Crecimiento del Cultivo de Palma**

Al comparar las zonas de cobertura de palma en el mapa del censo nacional palmicultor (Figura 2-4) y el mapa de cobertura de palma de acuerdo al SINAGAP (Figura 4-3), se puede observar el patrón de expansión del cultivo en el período 2005-2008. En este período, la expansión del cultivo se ha dado en el límite de las Provincias de Esmeraldas e Imbabura, en el sector de San Lorenzo en el norte de la Provincia de Esmeraldas y en Santo Domingo de los Tsáchilas, como se muestra en la Figura 4-10.

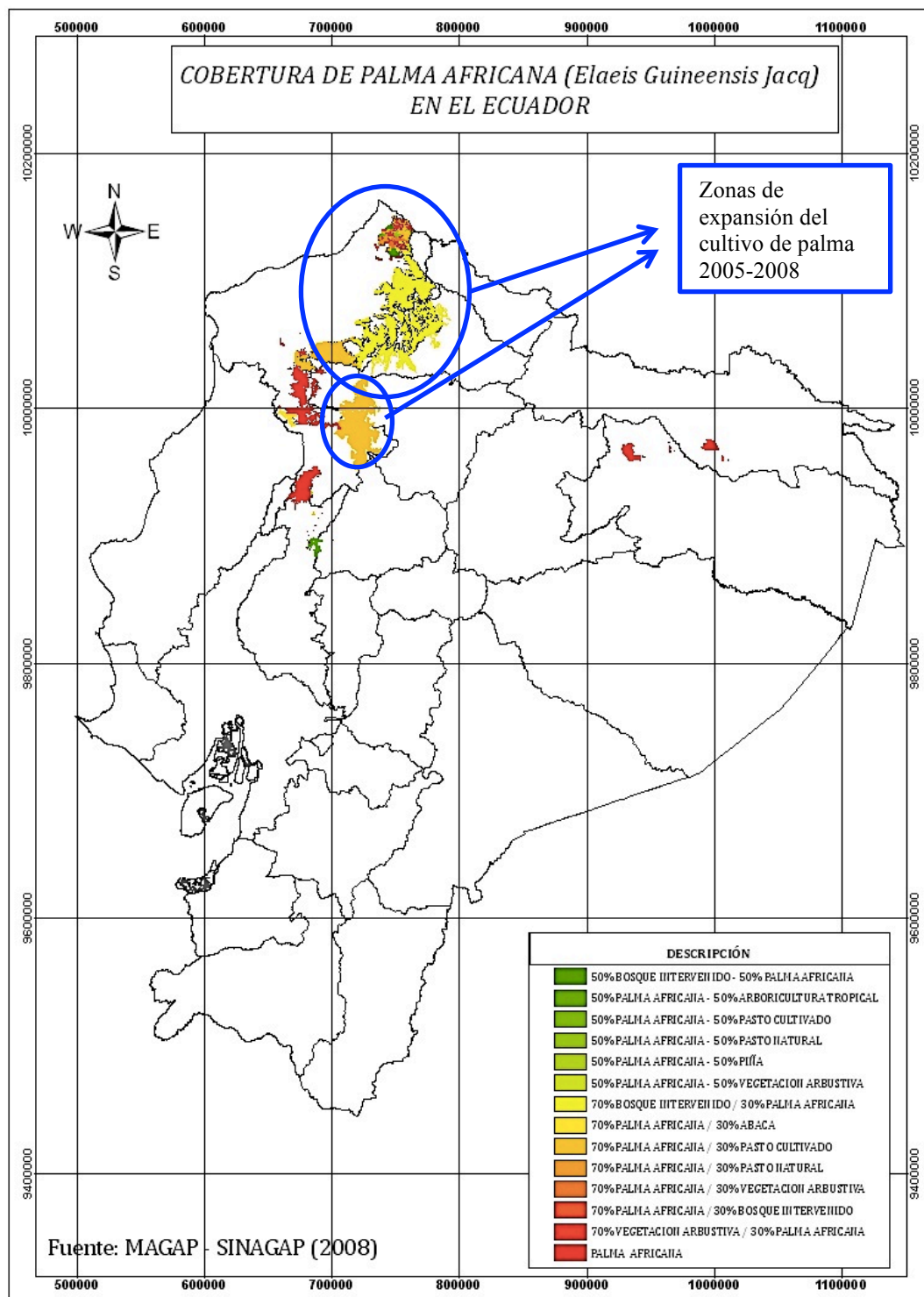


Figura 4-10: Identificación de Zonas de Expansión del Cultivo de Palma 2005-2008

De acuerdo a la clasificación del SINAGAP, estas nuevas áreas de cultivo son principalmente de una cobertura de 70% palma y 30% pasto cultivado, a excepción de la

zona alrededor de San Lorenzo, donde la cobertura es una mezcla entre palma africana, bosque intervenido y vegetación arbustiva.

Con respecto al mapa de zonas apta para el cultivo (Figura 4-1), y el mapa de zonificación del MAE (Figura 4-2), se puede observar que las principales zonas aptas para el cultivo en los dos mapas se encuentran dentro de las mismas provincias y regiones donde actualmente se concentran las plantaciones. Las provincias con mejor aptitud para el cultivo de acuerdo a ambos mapas son Esmeraldas, Guayas, Los Ríos y Manabí.

Con respecto al mapa del MAE, al no estar disponible al público todavía, no se ha podido consultar los criterios para su elaboración.

La diferencia de superficie entre el mapa de zonificación del MAE y el mapa de zonas aptas para el cultivo es de 224 711.35 ha. Al no conocer los criterios de zonificación del mapa del MAE no es posible determinar con precisión las razones de esta variación. Posiblemente las bases de datos utilizadas para la generación de los mapas no sean las mismas. El mapa del MAE cita como fuente al MAGAP-Zonificación Agroecológica 2010, mientras que la base de datos utilizada en el estudio fue el Programa Nacional de Regionalización Agraria (PRONAREG) llevado a cabo por el Departamento de Sistemas de Información Geográfica (SIGAGRO) del MAGAP. Adicionalmente, algunas de las bases de datos utilizadas en el estudio corresponden al año 2008.

Al comparar el mapa de zonas aptas para el cultivo y el mapa de cobertura de palma en el país, se puede observar que existen cultivos en áreas que no fueron identificadas como óptimas de acuerdo a los parámetros de este estudio. Estas plantaciones están ubicadas en las Provincias de Esmeraldas, Imbabura, Pichincha y Santo Domingo de los Tsáchilas, todas zonas en las cuales se registra el mayor crecimiento durante el período 2005-2008. Adicionalmente, existen zonas identificadas como aptas, bajo los criterios de zonificación

de este estudio, en las cuales todavía no existen cultivos. Estas zonas se señalan en la Figura 4-11.

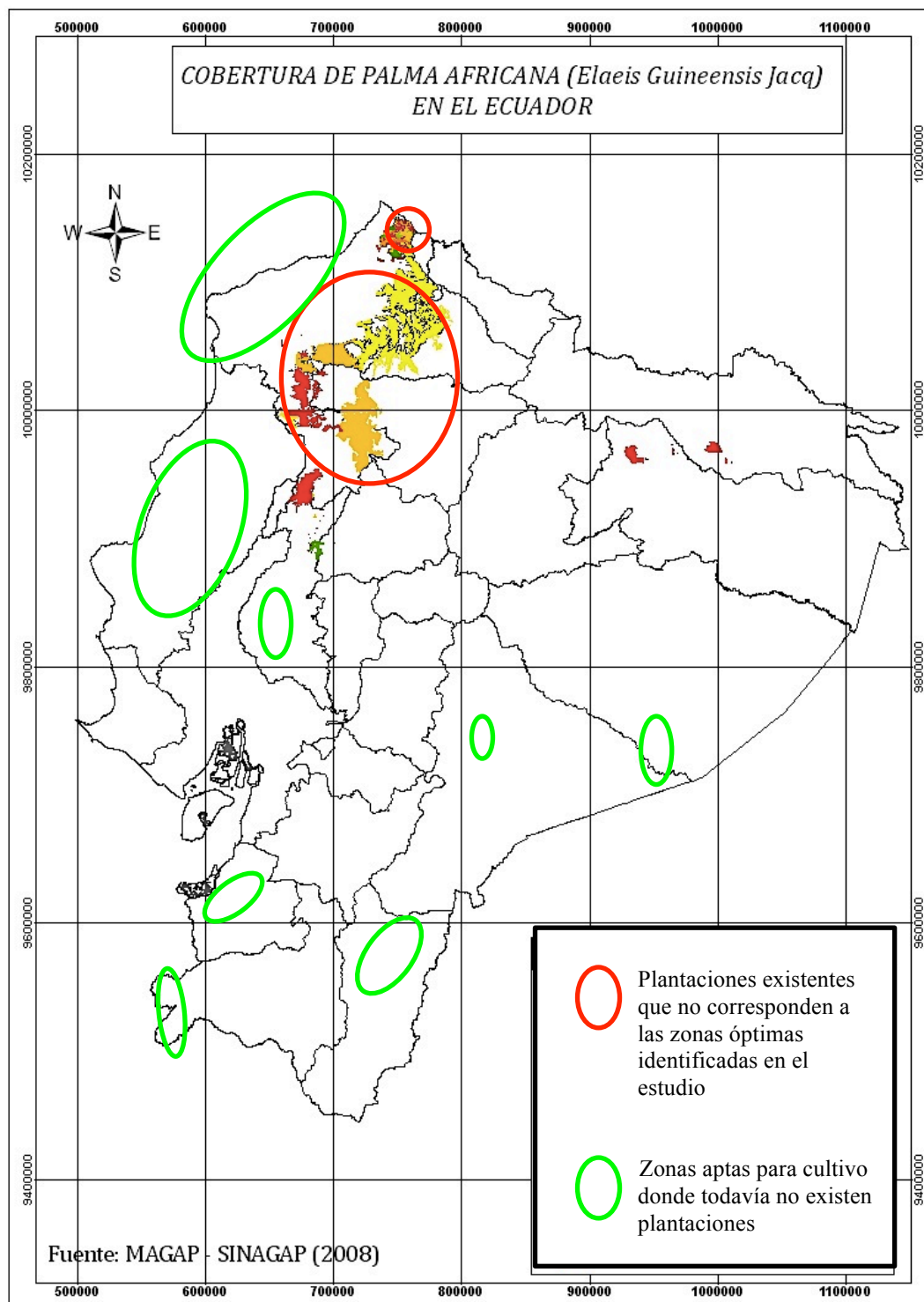


Figura 4-11: Plantaciones Existentes y Zonas Óptimas Disponibles para Cultivos

## **Conclusiones**

La huella de carbono es una herramienta útil para la evaluación del desempeño en términos de emisiones de GEI de una empresa, y en el caso particular de este estudio, del sector agroindustrial.

En el Ecuador, el cultivo de palma africana se encuentra en un período de expansión y las perspectivas a futuro señalan la continuación de esta tendencia. El aceite de palma africana es un producto cuya demanda ha crecido significativamente en el mercado global, impulsada principalmente por el uso de aceite para la producción de biodiesel.

Los resultados obtenidos en este estudio no permiten determinar la sustentabilidad del cultivo de palma. La huella de carbono es un indicador del desempeño ambiental del cultivo en relación con emisiones de GEI y no proporciona información sobre otros impactos ambientales asociados al cultivo que también deben ser valorados.

Debido a la importancia económica de la industria del aceite de palma en el país y su protagonismo en el mercado de energías alternativas, es importante determinar los impactos ambientales generados por la producción de este producto a lo largo de su ciclo de vida, con el objetivo de identificar prácticas y acciones que puedan ser modificadas para lograr que la industria palmicultora sea realmente sustentable; y que los beneficios del uso de biodiesel como una estrategia para mitigar los efectos del cambio climático no generen impactos ambientales indirectos o colaterales.

Las emisiones de GEI se pueden calcular de forma desagregada por cada fase del proceso de producción del biodiesel. Los resultados presentados en este estudio pueden ser

complementados por otros trabajos que calculen las emisiones generadas en las fases subsiguientes para calcular la reducción de emisiones debido al reemplazo de combustibles fósiles por biodiesel proveniente del aceite de palma.

La huella de carbono es un indicador cuantitativo del impacto ambiental del cultivo de palma en referencia a emisiones de GEI. Esta herramienta puede ser aplicada por distintas empresas y sus resultados proporcionan un adecuado punto de partida para identificar las prácticas agrícolas que generan la mayor cantidad de emisiones, y diseñar un plan de mitigación y reducción.

Para obtener resultados más precisos, es importante generar información a escala local sobre factores de emisión, contenidos de carbono en los diferentes ecosistemas del país y estudios de absorción de fertilizantes en el suelo, ya que gran parte de la información actualmente se toma de estudios realizados en Malasia e Indonesia, cuyas realidades difieren del Ecuador.

Hay inconvenientes al comparar resultados de huella de carbono de distintas fuentes de consulta por la variabilidad en las metodologías de cálculo y la determinación de los límites operacionales. Sin embargo, la flexibilidad en la estructuración de un inventario de emisiones permite la adaptación de distintas metodologías a las necesidades de diferentes usuarios.

Se confirma con los resultados obtenidos en el estudio que el factor determinante de la magnitud de emisiones GEI es el uso de suelo existente previo a la implantación del cultivo. La deforestación de bosques nativos genera importantes emisiones de GEI.

Si bien la huella de carbono es una herramienta utilizada a nivel mundial, es primordial reconocer que es un indicador limitado del desempeño ambiental de una empresa, ya que no aborda la gama de impactos ambientales que están relacionados con el cultivo de palma en todo su ciclo de vida. Para determinar la viabilidad y sustentabilidad de un cultivo, y de un biocombustible, se deben considerar factores adicionales que no son reflejados en los resultados de la huella de carbono. Impactos sobre la calidad de agua, biodiversidad, calidad de aire, servicios ambientales, poblaciones vulnerables, salud y seguridad ocupacional, entre otros deben formar parte de un análisis cuidadoso y holístico para determinar la viabilidad del cultivo y del sector palmicultor.

En relación con la expansión a futuro del cultivo de palma en el Ecuador, es importante identificar que las actuales zonas donde se concentran los cultivos no coinciden, en su mayoría, con las zonas identificadas como apropiadas de acuerdo a los criterios agroecológicos y ambientales determinados en este estudio.

La expansión de los cultivos en el período 2005-2008 se ha desarrollado principalmente en zonas no aptas. De acuerdo al mapa de zonificación del MAE, las plantaciones en el límite de las Provincias de Esmeraldas e Imbabura y ciertas áreas en el norte de Esmeraldas, están dentro del Patrimonio de Áreas Naturales del Estado (PANE). Esto demuestra la importancia de implementar una zonificación para el cultivo de la palma cuyo cumplimiento sea controlado de manera estricta. Además, el aumentar el rendimiento de los cultivos será de vital importancia para cumplir con los objetivos del sector palmicultor para incrementar la producción de aceite de palma en el país para mitigar los impactos generados por cambios de uso de suelo.



Existen áreas aptas para la expansión del cultivo que todavía no han sido utilizadas, en las Provincias de Esmeraldas, Manabí, Los Ríos, El Oro, Loja, Zamora Chinchipe, Morona Santiago y Pastaza. Sin embargo, la disponibilidad y viabilidad de estas zonas debe ser estudiada con más detalle.

### **Recomendaciones**

Es necesaria la realización de estudios sobre flujos de carbono, absorción de fertilizantes y factores de emisión en el país para disponer de datos locales, de manera que los resultados obtenidos en este tipo de estudios sean más precisos.

Se recomienda realizar un estudio de las emisiones de GEI en la industria de la palma utilizando el enfoque de análisis de ciclo de vida, con lo cual se podrá obtener un resultado representativo de las emisiones generadas a lo largo de la cadena de producción.

Para evaluar la viabilidad de nuevas plantaciones y la sustentabilidad de plantaciones existentes, se recomienda realizar una evaluación ambiental que valore todos los potenciales impactos ambientales asociados al cultivo, incluyendo un seguimiento del crecimiento de los cultivos, controlando que se ubiquen en las zonas identificadas como aptas para su expansión.

Para mitigar los impactos por cambio de uso de suelo y asegurar un mejor rendimiento del cultivo en el país, se debe implementar una zonificación para el cultivo de palma y estudiar la viabilidad de las zonas identificadas como aptas para su crecimiento en este estudio.

Se recomienda la elaboración de un estudio que analice los efectos sobre la calidad del aire, en relación a las emisiones de isopreno, en base a las potenciales zonas de crecimiento del cultivo.

## 5 Bibliografía

Ayala, María Elena. Palma Africana Estudio Agroindustrial en el Ecuador: Competitividad de la Cadena de Valor y Perspectivas de Mercado. Ministerio de Industrias y Competitividad y Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. Quito, 2008.

Albán, María and Helena Cárdenas. «Biofuels Trade and Sustainable Development: The Case of Ecuador's Palm Oil Biodiesel.» International Institute for Environment and Development - iied, 2007.

ANCUPA. Caracterización del Cultivo de la Palma Aceitera en el Ecuador. Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Africana. Quito: ANCUPA, 2010 a.

ANCUPA. Estudio de Situación de la Cadena de Palma Aceitera en el Ecuador. Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Africana. Quito, 2010 b.

ANCUPA. Manual del Cultivo de Palma Aceitera en el Ecuador - Borrador. Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Africana. Quito, 2012.

Buitron, Ricardo, et.al. El Amargo Fruto de la Palma Aceitera: Despojo y Deforestación. Montevideo: Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales, 2001.

Burgos, Roberto. Entrevista María José Ayala. La Concordia, 12 de abril de 2012.

Butler, Rhett and William Laurence. «Is Oil Palm the Next Emerging Threat to the Amazon?» Tropical Conservation Science 2.1 (200): 1-10.

Benítez, Lorena, Gina Espinoza and Renato Prado. Zonificación Agroecológica de Tres Cultivos Estratégicos (Maíz, Arroz, Caña de Azúcar) en 14 Cantones de la Cuenca Baja del Río Guayas. CLIRSEN. Quito: CLIRSEN, 2011.

Biograce. Biograce. 2010. 1 de Junio de 2012 <<http://www.biograce.net/>>.

Bravo, Elizabeth. Biocombustibles, cultivos energéticos y soberanía alimentaria en América Latina. Encendiendo el debate sobre los Biocombustibles. Quito: Capital Intellectual, 2007.

Brinkmann Consultancy. Greenhouse Gas Emissions from Palm Oil Production Literature Review and Proposals from the RSPO Working Group on Greenhouse Gases. Literature Review. Hoevelaken: RSPO, 2009.

Carbon Trust. Carbon Trust. 2012. 5 de febrero de 2012 <<http://www.carbontrust.co.uk/cut-carbon-reduce-costs/calculate/carbon-footprinting/pages/carbon-footprinting.aspx>>.

Carbono Neutral. «Curso: Introducción a la Huella de Carbono como Herramienta de Gestión Ambiental y Cambio Climático.» Quito, 29 de Julio de 2011.

Clay, Jason. World Agriculture and the Environment: a commodity by commodity guide to impacts and practices. Washington D.C.: Island Press, 2004.

Corley, R.H.V and P.B. Tinker. World Agriculture Series: La Palma de Aceite. Trans. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Cuarta edición. Oxford: Blackwell Science Ltd., 2003.

European Commission. Renewable Energy Directive. 2009 de abril de 2009. 02 de junio de 2012 <[http://ec.europa.eu/energy/renewables/biofuels/sustainability\\_criteria\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/renewables/biofuels/sustainability_criteria_en.htm)>.

EPA. Climate Change Science. 22 de junio de 2010. 22 de febrero de 2012 <<http://www.epa.gov/outreach/scientific.html>>.

Dewi, S, N Khasanah and et. al. Estimating Carbon Footprint from Biofuel Production from Oil Palm: Methodology and Results from 2 Pilot Areas in Indonesia. Report. Bogor: World Agroforestry Center-ICAF, SEA, 2009.

FAO. The State of Food and Agriculture. Biofuels: prospects, risks and opportunities. Roma: Agricultural and Development Economics Division (ESA), 2008.

Frieden, D, N Pena and et. al. Emission Balances of First- and Second- Generation Biofuels: Case Studies from Africa, Mexico and Indonesia. Working Paper 70. Working Paper. Bogor: CIFOR, 2011.

Green House Gas Protocol. Agricultural Protocol First Draft. Protocol. World Resources Institute. Washington D.C.: World Resources Institute, 2011 a.

Green House Gas Protocol. Green House Gas Protocol. 2011 b. 5 de febrero de 2012 <<http://ghgprotocol.org>>.

INIAP. Programa Nacional de Palma Africana. 2011. 27 de mayo de 2012 <[http://www.iniap.gob.ec/sitio/index.php?option=com\\_content&view=article&id=24:palm-a-africana&catid=6:programas&Itemid=12](http://www.iniap.gob.ec/sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=24:palm-a-africana&catid=6:programas&Itemid=12)>.

IPCC. «Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero.» Guía. 2006.

ISCC. «ISCC GHG Calculations and GHG Audit.» Document Report. 2011.

Hazlewood, Julianne. «Co2lonialism and the "Unintended Consequences" of Commoditizing Climate Change: Geographies of Hope Amid a Sea of Oil Palms in the Northwest Ecuadorian Pacific Region.» Journal of Sustainable Forestry 1-2.31 (2012): 120-153.

MAGAP . Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca - SINAGAP. 2011. 5 de febrero de 2012

<[http://www.magap.gob.ec/sinagap/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=128](http://www.magap.gob.ec/sinagap/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=128)>.

MAGAP; SIGAGRO; MAE; SPN; DNF. «Zonificación Agroecológica para el Cultivo de Palma.» mayo de 2011.

Moore, David and Stechbart Meredith. City of Quito - Ecological Footprint Analysis. Oakland: Global Footprint Network, 2010.

Parra, René. «Contribution of Oil Palm Isoprene Emissions to Tropospheric Ozone Levels in the Distrito Metropolitano de Quito (Ecuador).» (2008).

Russell, Stephen. Corporate Green House Gas Inventories for the Agricultural Sector: Proposed Accounting and Reporting Steps. WRI Working Paper. Washington D.C.: World Resources Institute, 2011.

Reijnders, L. and M.A.J Huijbregts. «Palm Oil and the Emission of Carbon-Based Green House Gases.» Journal of Cleaner Production (2006): 477-482.

Renewable Energy Directive. «Commission Decision on guidelines for the calculation of land carbon stocks for the purpose of Annex V to Directive 2009/28/EC.» 10 de Junio de 2010.

Renewable Energy Directive. «Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC.» 23 de Abril de 2009.

Round Table on Sustainable Palm Oil. RSPO. 10 de octubre de 2007. 5 de febrero de 2012 <<http://www.rspo.org/file/RSPO%20Principles%20&%20Criteria%20Document.pdf>>

Yuen, May Choo; Halimah, Muhamad and et. al. «Determination of GHG contributions by Subsystems in the Oil Palm Supply Chain using the LCA Approach.» International Journal of Life Cycle Assessment 16 (2011): 669-681.

## **Anexo I – Documentos de Respaldo en Formato Digital**

## **Anexo II – Registro Fotográfico**

### **Anexo III – Mapas**