

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

Dinámica del uso del suelo asociado al cultivo de palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.)
durante el periodo 1995-2017 en el Valle del Polochic



Heidy Amely García de la Vega

Bióloga

Guatemala, octubre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

Dinámica del uso del suelo asociado al cultivo de palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.)
durante el periodo 1995-2017 en el Valle del Polochic

Informe de Tesis

Presentado por

Heidy Amely García de la Vega

Para optar al título de

Bióloga

Guatemala, octubre de 2019

JUNTA DIRECTIVA

M.A. Pablo Ernesto Oliva Soto	Decano
Licda. Miriam Roxana Marroquín Leiva	Secretaria
Dr. Juan Francisco Pérez Sabino	Vocal I
Dr. Roberto Enrique Flores Arzú	Vocal II
Lic. Carlos Manuel Maldonado Aguilera	Vocal III
Br. Giovani Rafael Funes Tovar	Vocal IV
Br. Carol Merari Caceros Castañeda	Vocal V

En Dedicatoria:

A Dios por su infinita misericordia, porque todo tiene su tiempo, y todo lo que se quiere debajo del cielo tiene su hora.

A mis padres, Mario y Viole seres maravillosos que me han brindado el apoyo incondicional para lograr mi realización académica y espiritual. A mi tía Negrita por estar a mi lado en todo momento, ¡a quien debo la dicha de tener dos madres!!

A mis hermanos por toda una vida juntos, de risas, juegos, peleas y apoyo.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala, por ser la casa de estudios que ha permitido mi formación profesional, así como la de muchos guatemaltecos.

Agradezco:

A mis padres, mi tía Negrita y hermanos; quien han estado para mí siempre, por el cariño, apoyo y ser la inspiración para amar la vida y al prójimo.

A mi asesora y amiga MSc. Michelle Catalán por guiarme y apoyarme en todo momento en el desarrollo de este estudio y en mi formación profesional.

A la Fundación Defensores de la Naturaleza por el apoyo institucional y financiero y en especial al equipo de trabajo del Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic por su apoyo incondicional y por la mística de trabajo en complicada tarea de la conservación.

A mis compañeros y amigos por ser parte de mi vida “a quienes adeudo la ternura y las palabras de aliento y el abrazo; el compartir con todos ellos la factura que nos presenta la vida, paso a paso (A. Cortéz)”.

INDICE

1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCION	2
3. ANTECEDENTES	3
3.1. Mega plantaciones en Guatemala	3
3.1.1. Palma africana o palma de aceite	4
3.1.2. Palma africana en Guatemala	5
3.2. Uso del suelo en Guatemala	7
3.3. Sistemas de Información Geográfica	8
3.4. Sensores remotos	10
3.5. Imágenes Satelitales	10
3.6. Clasificación No supervisada de imágenes satelitales	12
3.7. Clasificación supervisada de imágenes satelitales	13
3.8. Área de estudio	14
3.9. Estudios previos en la zona	18
4. JUSTIFICACION	21
5. OBJETIVOS	23
5.1. General	23
5.2. Específicos	23
6. HIPOTESIS	24
7. MATERIALES Y METODOS	25
7.1. Materiales	25
7.1.1. Material	25
7.2. Métodos	26
7.2.1. Universo	26
7.2.2 Muestra	26
7.2.3. Cambio del uso del suelo en el Valle del Polochic asociado al cultivo de Palma africana (<i>Elaeis guineensis Jacq.</i>) durante el periodo 1995 a 2017	26

7.2.4. Línea de tiempo de factores socioambientales que han incidido en la expansión de cultivo de palma africana.....	29
7.2.5. Relación existente entre el comportamiento de la cobertura de Palma Africana con factores socioambientales, fluctuación de precios a nivel mundial de la palma africana y tasas de cambio en las clases de cobertura.....	29
7.2.6. Análisis estadístico.....	29
8. RESULTADOS	32
8.1. Cambio del uso del suelo en el Valle del Polochic asociado al cultivo de Palma africana (<i>Elaeis guineensis Jacq.</i>) durante el periodo 1995 a 2017.....	32
8.2. Línea de tiempo de factores socioambientales que han incidido en la expansión de cultivo de palma africana	40
8.3. Relación existente entre el comportamiento de la cobertura de Palma Africana con factores socioambientales y análisis estadístico	45
9. DISCUSIÓN.....	51
10. CONCLUSIONES	59
11. RECOMENDACIONES	61
12. REFERENCIAS.....	62
13. ANEXOS.....	69
13.1. Anexo 1 Mapas Cultivo de palma africana en el Valle del Polochic.....	69
13.1.1. Cultivo de palma año 2003.....	69
13.1.2. Cultivo de palma año 2005	70
13.1.3. Cultivo de palma año 2010.....	71
13.1.4. Cultivo de palma año 2015	72
13.1.5. Cultivo de palma año 2017.....	73
13.1.6. Dinámica del cultivo de palma 2003-2017	74
13.2. Anexo 2 Entrevista Semiestructurada.....	75

1. RESUMEN

El cultivo de palma africana a nivel mundial ha sido considerada como una industria que genera un impacto positivo a través de la generación de empleo, aumento en los ingresos de las familias; pero también ha sido muy criticada por ser una de las actividades que más contribuye a la deforestación, emisión de gases de efecto invernadero y la distribución desigual de los beneficios en comunidades locales y pueblos indígenas; así como a la pérdida de sus ecosistemas y consecuentemente de la biodiversidad local (Banco Mundial, 2011).

Tal es el caso de la Región del Polochic en Guatemala, una zona que durante los últimos 15 años tuvo una expansión en el cultivo de palma africana, generando una serie de ataques por los posibles daños ambientales, acaparamiento de tierras de pueblos indígenas las cuales eran dedicadas a la producción alimentaria y el impacto a nivel de la estructura familiar (Hurtado, 2008; Alonso, Caal y Chinchilla, 2011).

En este estudio se determinó a través del uso de sensores remotos utilizando la metodología de clasificación supervisada que el área cubierta con plantaciones de palma africana en el Valle del Polochic es de 8,696 hectáreas; siendo el periodo de mayor crecimiento del año 2010 al 2015 con una tasa de crecimiento de cobertura anual dentro del periodo de (664.2 ha/año). Un total de 1,477.2 ha (17%) se encuentran dentro de áreas protegidas (1,477 ha en la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas y 0.2 ha en el Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic).

Se identificó que de las variables evaluadas la tasa de crecimiento de cobertura de la palma africana no se correlaciona con ninguna variable, y que el Modelo 2 definido como Modelo sin IDH donde Y: Cobertura de palma y X: Densidad Poblacional, Conflictividad agraria y Precios de Palma \$ Ton métrica es el que mejor se ajusta y muestra una correlación significativa, por lo tanto, a medida que las variables (densidad poblacional, conflictividad agraria y precios de palma \$ Ton métrica) crecen o decrecen hay un cambio en la variable cobertura de palma africana y por consecuencia en la dinámica del uso del suelo en el Polochic.

Por lo tanto, se concluye que el cambio del uso del suelo asociado al cultivo de Palma Africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el Valle del Polochic durante el periodo 1995-2017 tiene una correlación significativa con los factores: densidad poblacional, índice de desarrollo humano, conflictividad agraria y la fluctuación de precios a nivel mundial de la palma africana.

2. INTRODUCCION

La cuenca del Polochic tiene un área aproximada de 2,811 km², presenta un cauce bien definido formado por el río del mismo nombre; el cual nace en la cumbre de Roc'k ja ubicada en Alta Verapaz (López, 1985). Las tierras que irriga son consideradas muy fértiles, que junto con su bajo precio en comparación con otras áreas del país y relativa facilidad de acceso; han atraído desde la caída del café en el año 2002 la atención de empresas para el desarrollo de agricultura a gran escala (Mingorría y Gamboa, 2010). Tal es el caso, de la producción de palma aceitera o africana (*Elaeis guineensis* Jacq.), generando un acaparamiento de tierras para el cultivo tanto en el Valle del Polochic como a nivel nacional (Alonso, Alonzo y Dürr, 2008).

El fenómeno mundial de expansión del cultivo de palma africana se debe principalmente a su alta productividad, que para Guatemala el Instituto Nacional de Estadística -INE- reporta un rendimiento de 606.71 qq/ha al año y el desarrollo de actividades que superan el uso tradicional comestible y producción de biodiesel (INE, 2015; IUF, 2015).

La expansión del cultivo ha tenido diversos impactos (sociales, económicos y ambientales) a nivel del país. El IARNA-URL (2012), reporta una tasa de crecimiento de 18.93% anual y Hurtado (2008), plantea que dicho crecimiento puede tener un impacto dramático en la soberanía alimentaria del área rural del país.

Para el caso del Valle del Polochic, la dinámica social y paisajística que ha generado el crecimiento del cultivo de palma africana tiene a la zona en un constante conflicto que según Gamboa y Mingorría (2010), experimenta una pérdida de conocimiento ecológico local y una mayor dependencia alimentaria y productiva.

Ante tal expansión y la importancia que el cultivo representa para el Valle del Polochic, se desarrolló este estudio para contribuir a la generación de información relacionada a la dinámica de uso del suelo en el Valle del Polochic asociado al cultivo de palma africana. Para lo cual se realizó un análisis multitemporal utilizando imágenes Landsat para los años 1995, 2005, 2010, 2015, 2016 y 2017, y Sistemas de Información Geográfica –SIG-. También se construyó una línea de tiempo con información de factores socioambientales, y las fluctuaciones de precios a nivel mundial, identificando si existe relación entre dichos factores y el incremento en la cobertura de palma africana a través del tiempo.

3. ANTECEDENTES

3.1. Mega plantaciones en Guatemala

Para Hurtado (2008), el acelerado crecimiento de los monocultivos se debe a los cultivos destinados a la producción de agrocombustibles (caña y palma de aceite), los cuales han acaparado tierra que anteriormente era utilizada para la producción campesina, producción de alimentos y remanentes de áreas de bosque; lo cual representa para el país una reestructura en la configuración agraria. Sin embargo, un estudio realizado por Zambrano, Rossi y Hernández (2014); indica que el país tiene capacidad para llegar a un área de 2,077,701 hectáreas, con cultivos productores de biocombustibles (caña de azúcar, palma de aceite, hule y sorgo dulce), sin interferir entre áreas destinadas a cultivos productores de alimentos y ocupadas por bosques.

Algunos reportes más específicos, como el detallado por el Perfil del agro y la ruralidad de Guatemala realizado en el 2014, establecen que el país ha tenido un crecimiento significativo en la producción de alimentos y fibra; incorporándose en los últimos 20 años el incremento de los biocombustibles, el cual se estima es debido al aumento del rendimiento por hectárea (IARNA, IICA, 2015).

Datos en hectáreas para el país, otorgados por la Encuesta Nacional Agropecuaria para el año 2014, reportan que los cultivos permanentes en monocultivos de mayor relevancia son la caña de azúcar con 278,880 hectáreas, la palma de aceite con 152,742 hectáreas y el hule con 100,801 hectáreas. Tal como indica la figura 1, durante el periodo de 2006 al 2014 el cultivo de caña de azúcar aumentó 90,178 hectáreas, lo cual representa un 32% de incremento; el cultivo de hule, 39,780 hectáreas, incrementando un 39%, mientras que la palma africana aumentó 100,942 hectáreas, incrementando un 66%; (INE, 2015).

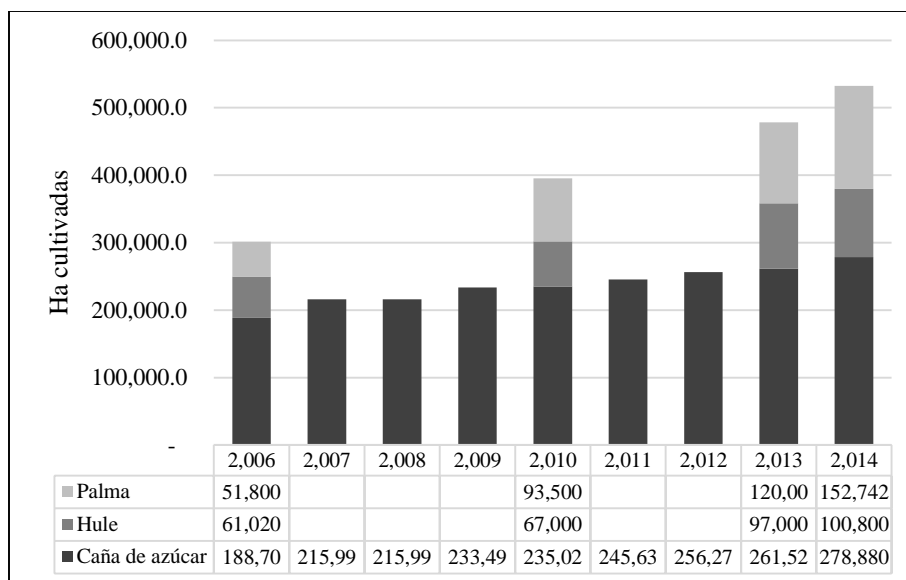


Figura 1. Superficie en hectáreas cultivadas para el periodo 2003-2014. Fuente: Elaboración propia con base a datos de IARNA, IICA. (2015). *Perfil del Agro y la Ruralidad de Guatemala: Situación Actual y Tendencias*. Guatemala: Cara Parens; y del INE. (2015). *República de Guatemala: Estadísticas demográficas y vitales 2014*. Guatemala.

3.1.1. Palma africana o palma de aceite

La palma de aceite o palma africana es conocida como *Elaeis guineensis*, nombre dado por Jacquin en 1763, derivado de la palabra griega “*elaion*” que significa aceite y “*guineensis*” en referencia a la región de Guinea, considerada el área de origen (Ronquillo, 2012). El mismo autor indica que es cultivada en diferentes áreas del mundo ya que ha logrado adaptarse a un régimen climático de lluvia, de verano y sequía de invierno. Es considerado el cultivo que mayor cantidad de aceite produce por unidad de área; pues cada palma sana puede producir de 80 a 230 kilogramos de racimos por cosecha y en una hectárea asistida puede haber un promedio de 140 palmas (11,200 a 32,200 kilogramos por hectárea) (Mingorance, Minelli y Le Du, 2004).

La palma aceitera, tiene diferentes usos y produce dos tipos de aceite: el que se extrae de la pulpa carnosa, conocido como aceite de palma y el que se deriva de la almendra o aceite de palmiste. Ambos tienen características fisicoquímicas, efectos fisiológicos y usos diferentes; y son requeridos tanto en la industria alimenticia, oleoquímica y química para elaboración de aceite comestible, margarina para repostería y uso industrial, mantecas, galletas, frituras, jabones, detergentes, champú, cosméticos, velas de cera, entre otros (GREPALMA, 2016).

3.1.2. Palma africana en Guatemala

La palma de aceite fue introducida al país a principios de 1940, a través de pequeñas plantaciones establecidas en la costa del pacífico, región del Lago de Izabal y del Valle del Polochic por la compañía frutera (United Fruit Company) (Sub-proyecto de palma africana, 1970 citado por Villeda, 1983). Sin embargo, como alternativa comercial, tiene sus primeros registros en el sur del país en los años 70; como una opción ante la crisis que afrontaba el cultivo del café. Se inició con áreas piloto y una planta de beneficio, las cuales sirvieron, para desarrollar las primeras investigaciones del cultivo (GREPALMA, 2016). Para finales de los 80 llega la caída de los precios del cultivo del algodón y nuevamente se ve al cultivo de palma de aceite, como una alternativa que puede sustituir al algodón generando una opción para los productores (REPSA, 2017).

Para la región del Valle del Polochic, existen registros que para 1983 se cultivaba un área de 987 hectáreas, la cual era utilizada para la producción de aceites y grasas; vendida a la Asociación Nacional del Café quien procesaba en una planta experimental instalada en la región (Villeda, 1983).

Actualmente el cultivo se ha expandido y según la GREPALMA (2016), existen tres principales zonas de producción: el área sur que incluye San Marcos, Quetzaltenango, Retalhuleu, Suchitepéquez y Escuintla; el nororiente la cual aglutina Izabal y Alta Verapaz ocupando los valles del río Motagua y Polochic, y la zona norte que abarca el sur de Petén, norte de Alta Verapaz y nororiente de Quiché.

Para Guatemala, el cultivo representa el 4% del área agrícola cultivable en el país, lo que representa para el año 2014 un total de 152,742 hectáreas de cultivo (Figura 2) (GREPALMA, 2016; INE, 2015). Para el año 2010 una superficie de 22,967 hectáreas se encuentra dentro de áreas protegidas lo que representa un 0.65% de la superficie total de las áreas protegidas inscritas en el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP) (IARNA-URL, 2012).

Según Solano (2015), el agronegocio de la palma africana ha tenido un rápido crecimiento territorial, debido a que el país está en miras a convertirse en uno de los principales agroexportadores de aceite de palma; además, del incremento en la demanda de aceites y grasas comestibles en el mercado interno y externo. Indica también el que las áreas con mayores cambios son en Alta Verapaz, Petén e Izabal.

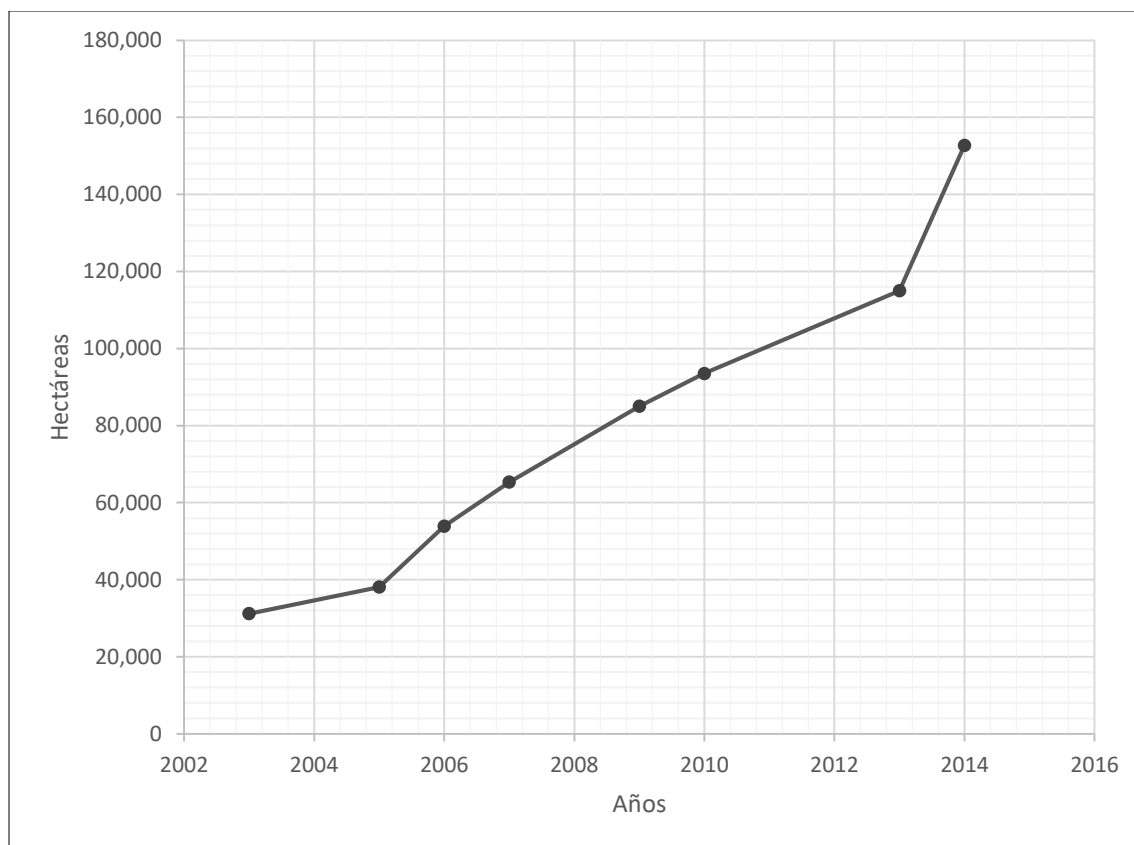


Figura 2. Crecimiento de la cobertura de palma africana para Guatemala 2003-2014. Fuente: Elaboración propia con datos de GREPALMA. (2016). <http://www.grepalma.org/>. Recuperado de <http://www.grepalma.org/palmicultura-en-guatemala?o=4>; INE. (2014). *República de Guatemala: Encuesta Nacional Agropecuaria 2014*. Guatemala; IARNA-URL. (2012). Análisis de la dinámica de expansión del cultivo de la palma africana en Guatemala: un enfoque cartográfico. En IARNA-URL, *Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012 Vulnerabilidad Local y creciente construcción del riesgo* (pág. 440). Guatemala.

Otros datos proporcionados por CABI (2017), indican que el sector palmicultor tuvo un crecimiento del 600% (Figura 3), los ingresos representan el 1% del PIB del país, genera 1 puesto de trabajo por cada 6 hectáreas cultivadas (25 mil empleos directos y 125 mil indirectos), genera inversiones por más de USD \$1,800 millones y exportaciones que superan los USD \$400 millones al año. Además de ser el país que lidera el mayor crecimiento mundial en exportaciones en los últimos 20 años GREPALMA (2016) y CABI (2017), con un crecimiento de 586%.

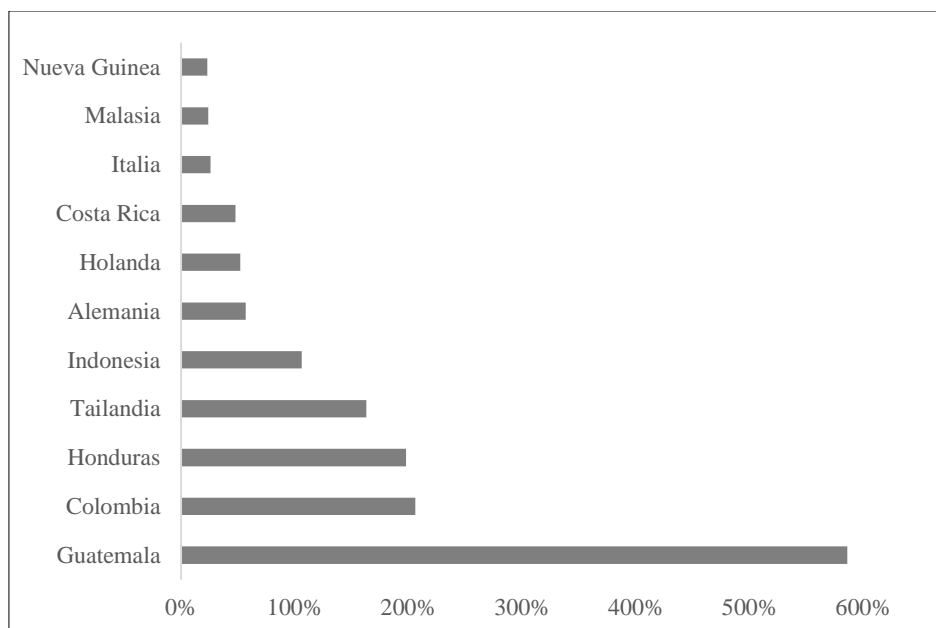


Figura 3. Crecimiento de exportaciones por país en los últimos 20 años. Recuperado de CABI. (s.f.). *Impactos Socioeconómicos del cultivo de palma de aceite en Guatemala*. Recuperado el dos de noviembre de 2017, de <http://grupohame.com/wp-content/uploads/2017/02/Estudio-PALMA-CABI-Guatemala.pdf>

3.2. Uso del suelo en Guatemala

El país tiene 108,889 km², en donde se puede encontrar una diversidad, distribución y propósitos de usos del territorio; tales como: áreas protegidas, bosques, ganadería, industria, zonas urbanas, áreas comunales, cultivos, ente otros (Zambrano, Rossi y Hernández, 2014). El esfuerzo más detallado para realizar un análisis a nivel del territorio nacional, fue el realizado por el Instituto Nacional de Bosques –INAB-, Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CONAP-, Universidad del Valle de Guatemala –UVG- y la Universidad Rafael Landívar –URL- (2014), quienes elaboraron el Mapa de Bosques y Uso de la Tierra 2012 identificando que el país cuenta con: 33.74% de bosque, 23.48% de medios con vegetación arbustiva y/o herbácea, 0.33% de espacios abiertos, sin o con poca vegetación; 0.98% de humedales, 1.64% de cuerpos de agua, 1.28% ocupada por uso urbano, 38.10% de territorios agrícolas (11.09% agricultura anual, 11.34% agricultura permanente y 15.17% de pastizales), 0.5% de zonas agrícolas heterogéneas y un 0.45% sin información (Figura 4) (INAB, CONAP, UVG y URL; 2014).

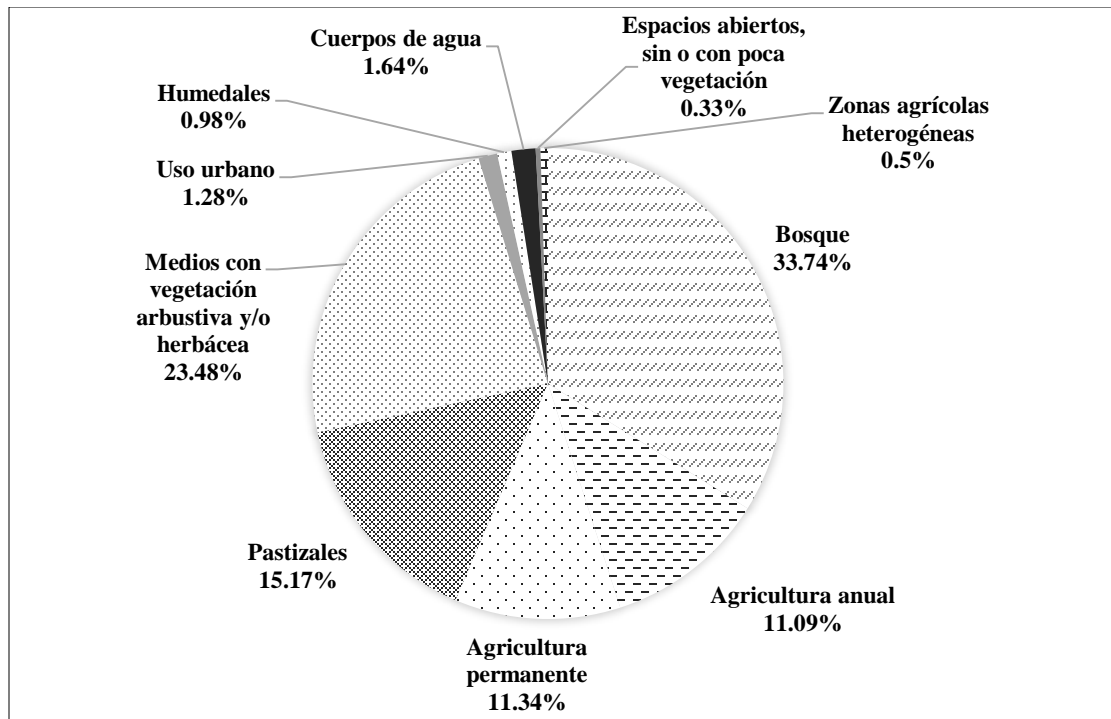


Figura 4. Distribución porcentual por categorías. Información tomada de INAB, CONAP, UVG y URL. (2014). *Mapa de Cobertura Forestal de Guatemala 2010 y Dinámica de la Cobertura Forestal 2006-2010*. Guatemala.

Según el mismo estudio basados en los mapas de cobertura forestal para el país, de los años 2001, 2006 y 2010 Guatemala ha mantenido 3,122,830 hectáreas de tierras forestales (29% del territorio nacional) y perdido aproximadamente 1,034,622 hectáreas de bosque que se han transformado principalmente en tierras agrícolas y praderas, representando un 9.5% del territorio nacional. Sin embargo, se registra una ganancia de 549,99 hectáreas de tierras forestales. En cuanto a tierras agrícolas y praderas, 5,791,335 hectáreas no han variado, representando un 53.18% del territorio nacional, registrándose una pérdida de 550,599 hectáreas que han sido modificadas a tierras forestales, asentamientos y otras tierras.

3.3. Sistemas de Información Geográfica

Un Sistema de Información Geográfica, conocido como SIG y por sus siglas en inglés GIS (Geographic Information System), es un conjunto de elementos ordenados de hardware, software y datos geográficos, el cual está en la capacidad de capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar de distintas maneras información geográficamente referenciada (CIESAS, 2018). El sistema reconoce y separa información en diferentes capas temáticas y las almacena

independientemente, haciendo que el trabajo sea sencillo. Permite resolver cuestiones que van desde lo simple a lo complejo, por ejemplo: localización, condición, tendencia, rutas, pautas, modelos entre otros; siendo una herramienta muy versátil (CIESAS, 2018).

La información geográfica se administra en tres estructuras de datos: clases de entidad, tablas de atributos y datasets ráster. Se organiza en bases de datos, la cual contiene una serie de temas de datos y cada uno tiene una representación geográfica conocida (puntos, líneas, polígonos o superficies). Puede administrar diferentes datasets que no son más, que una colección de entidades homogéneas para cada tema (parcelas, edificios, modelos de elevación digital). Estos datasets geográficos son esenciales para que los sistemas de información geográfica sean útiles (ESRI, 2014).

En SIG las capas temáticas se convierten en datasets y es el principio que utiliza SIG para organizar la información; cada tema se puede administrar de forma independiente ya que cada capa tiene una referencia espacial, estas pueden superponerse unas a otras y combinar su visualización en un mapa común. De igual forma pueden realizarse superposición poligonal que combina información entre capas de datos para trabajar relaciones espaciales derivadas (ESRI, 2014).

En general los sistemas de información geográfica son un recurso excelente que apoyan la evaluación y toma de decisiones, en especial para estudios que tienen como objetivo principal manejar información espacial (Morales, Carillo, Farfán, 2016). Por lo que, este tipo de herramientas permite realizar análisis multitemporales para territorios específicos, obteniendo información variada, por ejemplo: “predicción, prevención, diagnóstico, monitoreo de elemento del medio natural, valoración cualitativa y cuantitativa del cambio producido en las diferentes clases de uso y ocupación del territorio” (Morales-Hernández, J., Carrillo-González, F., y Farfán-Molina, Morales-Hernández., 2016).

Tiene diferentes campos de aplicación que van desde el ordenamiento territorial, manejo de los recursos naturales, bosque, manejo de vida silvestre, estudios de impacto ambiental y amenazas naturales (Torres, 2015).

3.4. Sensores remotos

Los sensores remotos son un conjunto de instrumentos o dispositivos que utilizan el reflejo de la luz de un objeto de la superficie terrestre para obtener sus propiedades espectrales. Las mediciones comprenden diversas técnicas, procesos y se realizan por sensores situados en satélites o aviones. Las mediciones quedan plasmadas en fotografías aéreas o imágenes satelitales, las cuales son utilizadas para obtener información de la superficie terrestre y de sus cambios (Schowengerdt, 1997). Son herramientas que proveen una gran cantidad de información en diferentes resoluciones: espacial, temporal, espectral y radiométrica; generalmente a bajo costo (Cogliati, 2017).

Actualmente se utilizan como herramientas precisas para el estudio del ambiente terrestre y de los recursos naturales, ya que permite evaluar con mayor objetividad los recursos de un área determinada (Quezada, Méndez, López, Dávila y Garnica, 2008).

3.5. Imágenes Satelitales

Las imágenes satelitales multitemporales son una forma gráfica de obtener información a través de un sensor remoto o satélite artificial; es una alternativa para entender la dinámica espacial de un ecosistema a escalas que van desde lo local hasta global. Son una excelente herramienta para evaluar cambios sobre la superficie terrestre, en periodos de tiempo específicos (De la Cruz y Muños, 2016; Baeza, Paruelo y Altesor, 2006).

- **Imágenes Landsat**

LANDSAT es el primer satélite enviado por Estados Unidos para realizar monitoreos de los recursos de la tierra; el nombre está compuesto por dos palabras en inglés que significan LAND=tierra y SAT=satélite. Inicialmente LANDSAT derivaba de los satélites Nimbus con fines meteorológicos. Está formado por 7 satélites, siempre con la finalidad de obtener más información de la superficie terrestre. En la tabla 1 se detalla la fecha del satélite, la fecha de lanzamiento y el fin de la operación (INEGI, 2017).

Tabla 1:*La constelación LANDSAT y satélites en operación*

Satélite	Fecha de lanzamiento	Fin de operación
ERTS1	23/julio/1972	05/enero/1978
LANSAT 2	22/enero/1975	27/julio/1983
LANSAT 3	05/marzo/1978	07/septiembre/1993
LANSAT 4	16/junio/1982	1983
LANSAT 5	01/marzo/1984	EN OPERACIÓN
LANSAT 6	03/octubre/1993	03/octubre/1993
LANSAT 7	1998	EN OPERACIÓN

Nota: A la fecha de 7 satélites lanzados únicamente dos permanecen en operación. Fuente: INEGI. *Aspectos Técnicos de las Imágenes Landsat*. Obtenido de inegi.org.mx

Las imágenes LANDSAT están conformadas por bandas espectrales captadas por dos sensores: Landsat-TM, que utiliza 7 bandas (azul, verde, rojo, 3 en el infrarrojo cercano y 1 en el infrarrojo térmico), y Landsat-MSS, que utiliza 4 bandas (verde, rojo y 2 en el infrarrojo cercano). las cuales están en función de obtener información más fiel de la vegetación. La combinación de las bandas da como resultado una serie de imágenes de color aumentando y permite tener múltiples aplicaciones, (desde aplicaciones geológicas hasta recursos naturales) (INEGI, 2017; Alonso, 2006; Soluciones Integrales en Geomática, 2017).

La salida de la radiación de la superficie terrestre se da en 4 dimensiones (espacio, tiempo, longitud de onda y radiancia). Por lo tanto, el sensor landsat se muestrea en cuatro tipos de resolución: (1) resolución espacial (tamaño de pixel), (2) resolución temporal (tiempo que tarda el satélite en tomar dos imágenes del mismo sitio), (3) resolución espectral (capacidad de discriminar entre longitudes de onda vecinas en el espectro, así como el número de bandas disponible) y (4) resolución radiométrica (número de intervalos de intensidad que puede captar el sensor). La tabla 2 muestra las características de LANDSAT-TM (Alonso, 2006):

Tabla 2:

Características generales de imagen LANDSAT

Sensor	Res. Espacial	Tamaño de imagen	Res. temporal	Res. radiométrica	Res. espectral
Landsat TM	30 m	185 x 185 km	16 días	256 ND	3Vis 3Ir 1It

Nota: Las imágenes tienen una resolución espacial de 30 m. Fuente: Alonso. (2006). *www.um.es*. Recuperado de <http://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node71.html>

Las imágenes Landsat son de libre acceso y pueden ser obtenidas en la página <https://earthexplorer.usgs.gov/> (Figura 5).

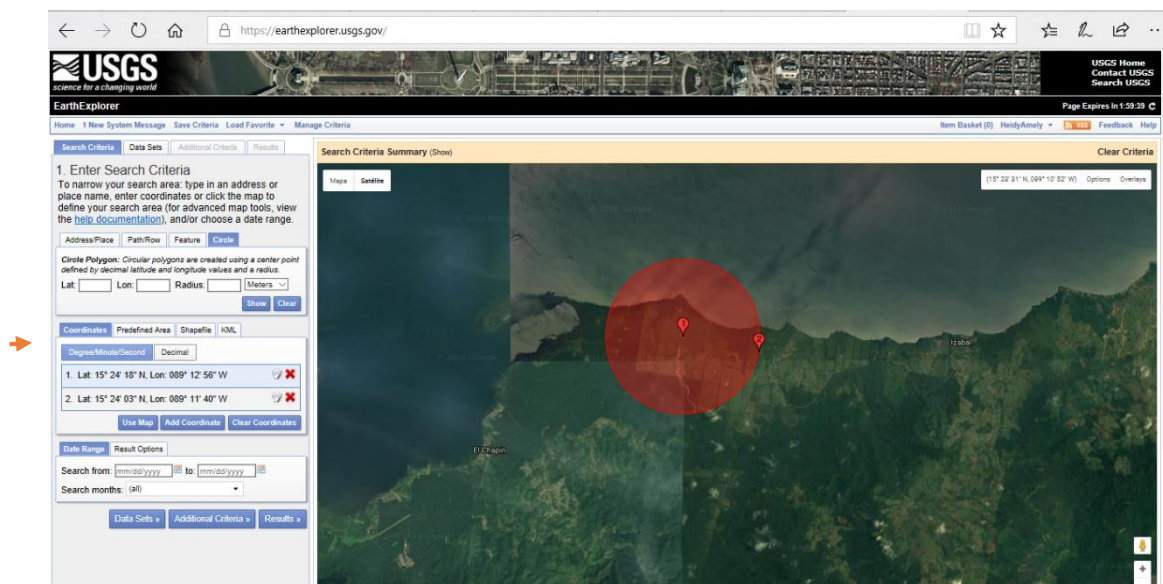


Figura 5. Página de descarga de imágenes. Fuente: USGS Earth Explorer. (2018). <https://earthexplorer.usgs.gov>. Recuperado de <https://earthexplorer.usgs.gov/>

3.6. Clasificación No supervisada de imágenes satelitales

La clasificación no supervisada puede definirse como “*el proceso en el cual se da una agrupación de píxeles que tienen valores digitales similares para todas las bandas, a cada una de estas agrupaciones se les denomina clases espectrales*”, las cuales corresponden a un tipo de cobertura (Arango, Brach y Botero; 2005). Se fundamenta en la búsqueda de clases con suficiente separabilidad espectral, lo cual permite establecer una diferencia entre elementos (Universidad de Jaén, 2006).

Los métodos que se utilizan para esta técnica son del tipo agrupamiento (clustering en inglés), opera buscando automáticamente grupos de valores homogéneos dentro de las imágenes; se emplean diversos métodos, por ejemplo: K-medias, C-medias e ISODATA (Interactive Self-Organizing Data Analysis Technique (Algorithm)) (Arango, Brach y Botero; 2005). El analista debe de realizar ciertas especificaciones dependiendo el método a utilizar; tales como: determinar el número máximo de cluster que el algoritmo debe identificar, determinar el máximo porcentaje de píxeles, máximo número de iteraciones, número mínimo de miembros en un cluster, máxima desviación estándar y en algunos casos fijar valores mínimos para las distancias entre los centros de los clústeres (TELEDET, 2018).

3.7. Clasificación supervisada de imágenes satelitales

El proceso de clasificación de imágenes satelitales es el resultado de una serie de pasos, que se utilizan para extraer información de una imagen ráster; técnica excelente para crear mapas temáticos (ArcGIS, 2017). En la clasificación supervisada existe información y conocimiento previo del usuario de la zona de estudio, es decir, que existen modelos ya clasificados los cuales fueron asociados debido a características que comparten, los cuales servirán para generar una signatura espectral característica de cada una de las clases (clases informacionales) (ATCG, 2008; Ordoñez y Serna, 2015)

Este tipo de clasificación es controlada por el usuario, quien realiza una selección de píxeles los cuales constituyen patrones que ya identifica o que puede reconocer con el apoyo de otras fuentes (Fernández, González, Gómez y Gómez, 2011). El mismo autor refiere que los datos, las clases y el algoritmo a utilizar es información que debe ser conocida antes de iniciar con la selección de muestras de entrenamiento. Entonces, se puede definir a la clasificación supervisada como “un proceso en el que píxeles de identidad conocida, localizados dentro de áreas de entrenamiento, se utilizan para clasificar píxeles de identidad desconocida” (Capote, 2016, p.3).

La clasificación supervisada involucra una serie de pasos, los cuales se muestran en la Figura 6:

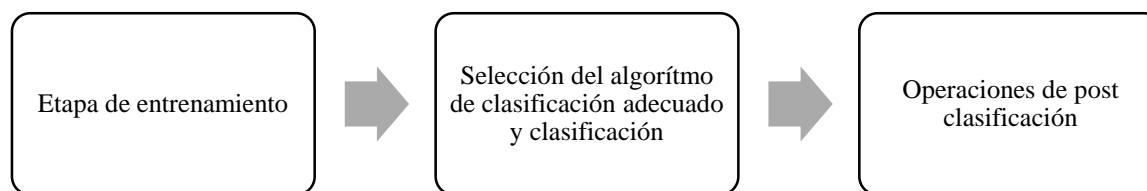


Figura 6. Etapas de la clasificación supervisada. Fuente: Ordonez, A., y Serna, J. (2015). *Análisis superficial y multitemporal de imágenes LANDSAT 7 ETM+ y LANDSAT 8 OLI TIRS en el Proyecto Carbonífero La Luna entre los años 2001 y 2015*. Tesis de Especialista en Información Geográfica, Universidad de Manizales, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Manizales.

Según Alonso (2006), se pueden utilizar varios métodos para poder realizar la clasificación supervisada:

- No estadístico, se basa en la mínima distancia entre elementos.
- Estadísticos clásicos, basado en la máxima probabilidad.
- Algoritmos basados en inteligencia artificial (clasificación contextual, lógica borrosa, redes neuronales, árboles de decisión).

3.8. Área de estudio

El valle del Polochic dista aproximadamente a 329 km de la Ciudad de Guatemala (CAMINOS, s/f); delimitado por la Sierra de San Cruz y la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas. Comprende las tierras fértiles irrigadas por el río Polochic, el cual tiene una longitud aproximada de 177 kilómetros. Es un valle rico en recursos naturales y con una historia de alta conflictividad por demanda de tierras (SEGEPLAN, 2014; AMASULRI, FDN y TNC, 2006).

La Sub Región del Valle del Polochic comprende 9 municipios ubicados en el noreste del país: Tactic, Tamhú, Tukurú, Panzós, La Tinta y Senahú, del Departamento de Alta Verapaz, Purulhá, del Departamento de Baja Verapaz; El Estor y Livingston, del Departamento de Izabal (SEGEPLAN, 2014).

Con una población aproximada de medio millón de habitantes (3.5% de la población nacional), predominantemente rural, el 89% se identifica como indígena Maya-Q'eqchi' y el resto se divide en la población Maya-Poq'omchi' y ladina (SEGEPLAN, 2014; INE, 2015; ENCOVI, 2006 citado por Mingorría y Gamboa, 2010). En el mismo documento la SEGEPLAN (2014), concluye que

el alto índice de ruralidad confirma que la Sub Región del Valle del Polochic tiene una trascendencia histórica, en las actividades agropecuarias como motor de la economía de subsistencia.

Tiene un área de 2,759 km², formando parte de la Cuenca del Lago de Izabal y Río Dulce; pertenece a la vertiente del mar Caribe y a la Región Fisiográfica Depresión de Izabal, formado por un Aluvión Cuaternario (Consultores Integrados, 2005 citado por AMASURLI, FDN y TNC, 2006; MAGA, 2001). En la cuenca media hay una constante deposición de sedimentos aluviales, los cuales son transportados principalmente por el río Polochic. Esta depresión está constituida por la Unidad fisiográfica Subregión planicie aluvial del Polochic, la que a su vez se subdivide en el gran paisaje en: a) Abanico coluvio-aluvial de Polochic, b) Llanura aluvial de inundación del Río Polochic y c) Planicie coluvio aluvial del río Polochic-Lago de Izabal-Río Dulce (MAGA, 2001).

Las condiciones climáticas están influenciadas por los vientos húmedos que penetran del Mar Caribe libremente, a través del corredor o cañón formado por la Sierra de Las Minas y la Sierra de Santa Cruz; es un clima cálido y tropical, con temperaturas máximas promedio de 30°C y mínimas promedio de 12°C (FDN, 2003). La lluvia ocurre, cuando las masas de aire cargadas de humedad se desplazan tierra adentro desde el mar Caribe hacia el valle. Las masas de aire frío del norte en la época lluviosa causan bajas temperaturas especialmente en los meses de diciembre y enero (Castañeda, 1991 citado por FDN 2003; SEGEPLAN, 2014)

Los suelos son aluviales profundos, mal drenados, franco-arcillosos; no se encuentran suelos dominantes debido a que se han originado de materiales originales diferentes, que han sido arrastrados y depositados a las áreas planas (FDN, 2006). En las tierras altas sedimentarias los suelos son profundos y poco profundos, de bien a excesivamente drenados; algunos sobre piedra caliza dura y masiva, materiales aluviales y esquistos; consistencia arcillosa, franco arcillosas, franco limosas desarrollado sobre cenizas volcánicas (FDN, 2001).

Debido a su ubicación se enmarca dentro de una región rica en recursos naturales y diversidad biológica, lo cual se refleja en más de 622 registros de plantas endémicas o amenazadas; más de 400 especies de aves de las cuales 80 son migratorias; 11 especies de anfibios, 32 de reptiles; más de 40 especies de mamíferos, entre los más emblemáticos están: venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), tepezcuintle (*Agouti paca*), el jaguar (*Panthera onca*), el puma (*Felis concolor*), ocelote (*Leopardus pardalis*), margay (*Felis wiedi*) y jaguarundi (*Herpailurus yaguarundi*); así

como el tapir o danta (*Tapirus, bairdi*) y mono aullador (*Alouatta pigra*), y más de 100 especies de peces marinos y costero marinos (AMASULRI, FDN y TNC, 2006; FDN, 2003).

En cuanto a ecosistemas representativos de la zona y de importancia para la conservación se encuentran: el bosque tropical cálido descrito por Villar (1993), el cual está conformado por vegetación de influencia neotropical con especies vegetales típicas para los 1500 msnm: *Castilla elástica*, *Genipa caruto*, *Chamaedorea spp.*; por debajo de los 1300 msnm encontramos *Sabal mexicana*; mientras que bajo los 200 msnm *Orbygnia cohune* es la especie dominante y conspicuamente presentes están *Cedrela odorata* y *Pithecelobium vulcanicum* (FDN, 2010, Villar, 1993). Y las Zonas de Humedales con áreas permanente y temporalmente inundadas con vegetación característica: Zapotón (*Pachira aquatica*), Sangre (*Pterocarpus officinalis*), Barillo (*Symphonia globulifera*), Cafecillo (*Casearia javitensis*), Santa María (*Calophyllum brasiliense*), Icacó (*Chrysobalanus icaco L.*), Pito de agua (*Erythrina glauca*), guamo (*Inga fissicalix*), Sauce (*Salix chilensis*), Jocote de mico (*Spondias mombin*), Ceiba (*Ceiba pentandra*), Amates (*Ficus spp.*), Barillo (*Symphonia globulifera*), (Villar, 1992 citado por FDN, 2003).

En el Valle del Polochic podemos encontrar las siguientes áreas protegidas: Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic, Reserva de Biosfera Sierra de las Minas, Área de Protección Especial Sierra Santa Cruz, Reserva Natural Privada Setal, Reserva Natural Privada Pataxte, Reserva Natural Privada Chabiland Cerro, Reserva Natural Privada Chabiland Esquina, Reserva Natural Privada Río Zarco y Reserva Natural Privada Selempím (García, 2011; SEGEPLAN, 2014)

Actualmente el Valle presenta diversos usos, entre los que predominan: áreas de bosque latifoliado y mixto, arbustos y matorrales, humedales con bosque, pastos naturales, granos básicos (maíz y frijol), cultivo de café, cardamomo, hule, palma africana, arroz, pequeños remanentes de caña de azúcar (AMASULRI, FDN y TNC, 2006; SEGEPLAN, 2014; FDN, 2003)

Es una zona con una problemática ambiental compleja, dada por una poca o nula regulación ambiental (SEGEPLAN, 2014). Según la Agenda de Conservación de la Cuenca del Lago de Izabal y Río Dulce, existen una serie de amenazas que atentan contra la integridad de los ecosistemas, que van desde alteraciones fisicoquímicas a los cuerpos de agua, destrucción y perturbación de hábitat, reducción de poblaciones de fauna, alteración en el régimen hidrológico, conversión de bosque a agricultura y ganadería, prácticas forestales inadecuadas, desarrollo de infraestructura no planificada, descarga de aguas servidas, explotación minera y petrolera,

urbanización no planificada, canalización de humedales, caería y pesca excesiva, invasiones de grupos comunitarios, uso inadecuado de agroquímicos y extracción de recursos forestales no maderables; entre otros (AMASULRI, FDN y TNC, 2006).

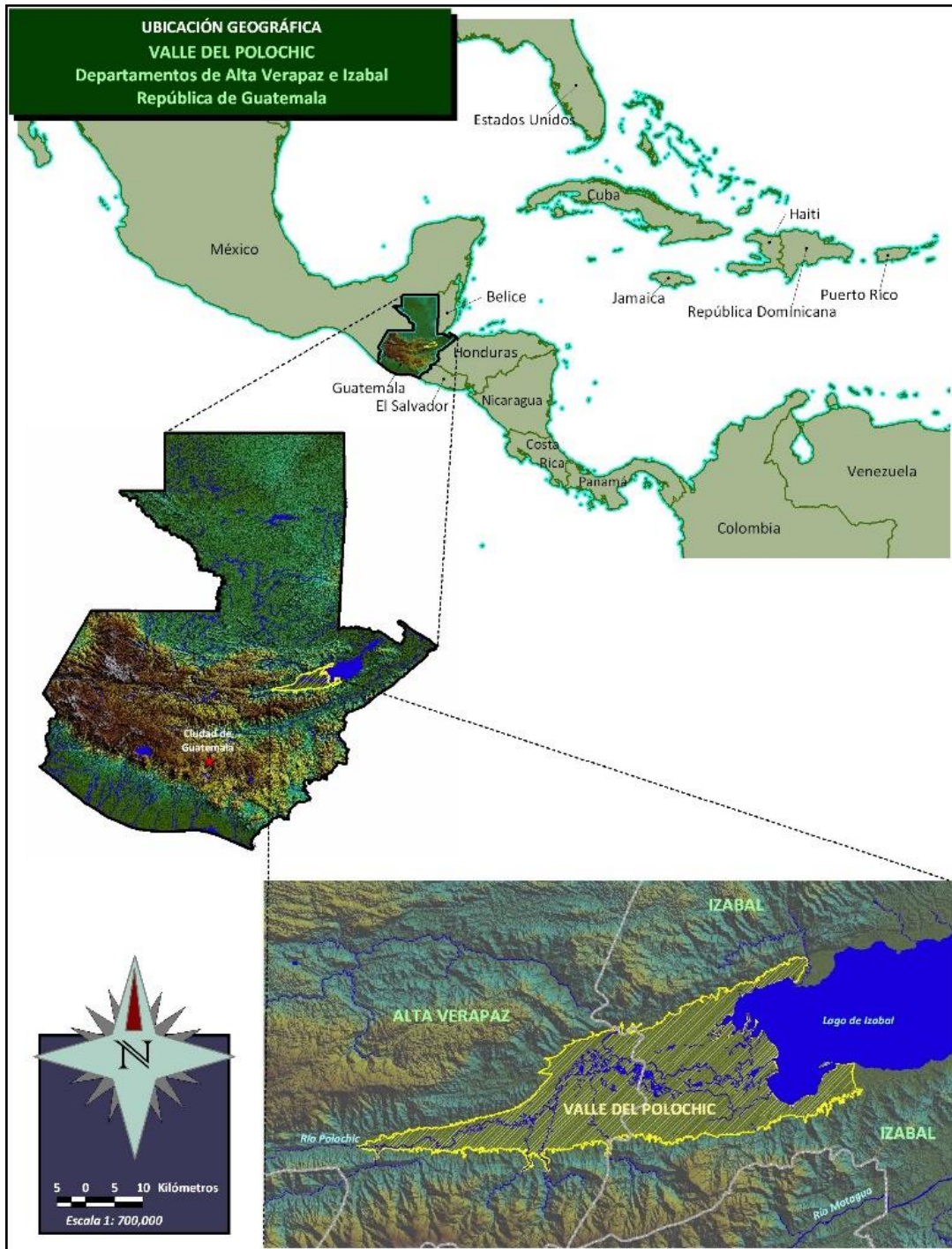


Figura 7. Mapa de Ubicación del Valle del Polochic. Fuente: Elaboración propia.

3.9. Estudios previos en la zona

Alonso, *et al.* (2008) realizaron el estudio, “Caña de azúcar y palma africana: combustibles para un nuevo ciclo de acumulación y dominio en Guatemala”, el cual es parte del proceso investigativo del Instituto de Estudios Agrarios y Rurales de la CONGCOOP, que tiene como finalidad reflexionar sobre los diferentes cambios generados en el territorio, como producto de la demanda de agrocombustibles en los países del Norte Económico. Dedicaron un capítulo exclusivo a describir las industrias que desarrollan agronegocios de caña de azúcar y palma africana en Guatemala; así como, un capítulo que profundiza la expansión de caña de azúcar y palma africana en el área del Polochic, información que contribuye a clarificar los supuestos beneficios y bondades que la producción de agroetanol de caña y de agrodiesel de palma tienen.

Mingorría y Gamboa (2010) desarrollaron el estudio “Metabolismo socio-ecológico de comunidades campesinas Q’eqchi” y la expansión de la agroindustria de caña de azúcar y palma africana, Valle del Río Polochic, Guatemala”, el cual tuvo como objetivo identificar y comprender las economías indígenas, desde el hogar y la comunidad y como se estructura/adaptan/enfrentan a las dinámicas en auge y los intereses en conflicto. Según el estudio, los resultados analizan y describen las dinámicas agrarias a nivel de Guatemala; se presenta el comportamiento de los hogares y comunidades en función del uso del tiempo y suelo de las familias del Valle del Polochic; además hace una reflexión de la pertinencia de los planes de gobierno para el desarrollo rural integral. Los resultados obtenidos en el estudio de caso de 4 comunidades del área del Polochic (Balandra y La Esperanza ubicadas en el Valle y Concepción II y Tierra Linda ubicadas sobre la Sierra de las Minas); indican que la tipología de los hogares está determinada por la pertenencia a una comunidad determinada e indica que las comunidades ubicadas en el valle tienen como principal fuente de ingresos el trabajo remunerado en plantaciones de palma y la producción de maíz.

El estudio “Políticas de desarrollo rural y relaciones de dependencia en hogares y comunidades campesinas Q’eqchi’ del Valle del Polochic (Guatemala)” realizado por Gamboa y Mingorría (2010), hace una reflexión profunda de las estrategias comunitarias para afrontar dificultades crecientes en el acceso y tenencia de la tierra. Los resultados indican que las familias que se dedican a trabajos remunerados experimentan pérdida de conocimiento ecológico local y mayor dependencia alimentaria y productiva. Las familias tienen intereses diferenciados en función de si

poseen o no tierras, lo que a futuro puede generar rompimiento en el tejido social también indican que la tierra y mano de obra son los recursos principales de la economía campesina y la falta de tierra hace dependientes a la mayoría de los jóvenes a vender sus servicios a la agro-industria.

En el Perfil Ambiental (2010-2012) en la sección Vulnerabilidad ambiental y creciente construcción del riesgo; se describe la investigación realizada por el IARNA-URL titulada, “Análisis de la dinámica de expansión del cultivo de la palma africana en Guatemala: un enfoque cartográfico”, la cual hace evidente la expansión del cultivo de palma africana a través de la cartografía para el periodo 2005-2010; estudiando la relación que existen entre la expansión y eventos como: uso de la tierra, pérdida de cobertura forestal, gestión de áreas protegidas y el potencial para el cultivo de maíz. Este estudio determinó que el cultivo de palma africana en 2010 era de 91,100 ha, con un crecimiento de 44,300 ha desde 2005 (equivalente a un 94.65%). Los departamentos que reportan mayor crecimiento para el periodo 2005-2010 son: Alta Verapaz con un aumento del 1,617.8%, Petén 168.43%, Retalhuleu 152.5%, San Marcos 88.0% e Izabal 46.0%. El estudio también encontró que una superficie de 23,213.60 ha de las plantaciones de palma africana, se encuentran dentro de áreas protegidas, lo cual equivale a 25.48% de la extensión nacional total cubierta por palma africana al 2010 y al 0.68% de la superficie total de las áreas protegidas en el país (IARNA-URL, 2012).

Mingorría, Gamboa y Martínez. (2014), analizaron las implicaciones y el efecto que tiene en el bienestar de los hogares de dos comunidades indígenas del Valle del Polochic, la combinación de trabajar en la palma aceitera y el acceso a la tierra. Los resultados indican, que para las familias trabajadoras hay un aumento en el acceso a trabajo, disminución en la productividad del maíz, reduce el tiempo que los miembros de la familia tienen para otras actividades y en particular disminuye el tiempo de descanso de las mujeres. En contradicción, indica que aquellas familias que se dedican al cultivo del maíz muestran mayor grado de seguridad alimentaria y las mujeres asignan mayor tiempo a las actividades sociales. Sin embargo, se determina que el consumo de maíz en las familias que laboran en las plantaciones no ha disminuido ya que el mismo es considerado sagrado en la cultura Q'eqchi y es parte fundamental de la dieta (Mingorría *et al.*, 2014).

Quezada, *et al.* (2013), realizaron el estudio “Cambios en la cobertura del suelo en la región de Lachúa, Guatemala: Patrones, causas principales y fuerzas impulsoras subyacentes en los últimos

50 años”. El cual describe la relación que existe entre los patrones de cambio de la cobertura de la tierra y factores políticos y socioeconómicos, que se han dado en la región en los últimos 50 años. El análisis se realizó durante tres períodos (1962-1987, 1987-2006, y 2006-2011), encontrando que durante los tres periodos el 55% de la cobertura forestal desapareció, a una tasa anual de 1.6%, indicando que las áreas que presentaron mayor pérdida de cobertura (80 y 100%), fueron las ubicadas fuera de áreas protegidas y cercanas a carreteras; mientras que parcelas dentro de áreas protegidas permanecieron intactas. Se identificó también, que las principales causas asociadas a la pérdida de cobertura son: establecimiento de asentamientos humanos, caminos y cultivos, para el primer período; para el segundo y tercer período la principal causa de la pérdida de bosque fue: la creación de áreas de pastizales para ganadería (Quezada, *et al.*, 2013).

Sosa y Camey (2015) realizaron el estudio titulado “Guatemala: del Despojo a la Gestación de Alternativa”; el cual analiza, cómo las políticas de estado y la acumulación de capital a través de sus diferentes formas, tienen un impacto en la calidad de vida de las comunidades indígenas y las distintas formas de resistencia ante los mega proyectos extractivos en los territorios resaltan proyectos mineros, hidroeléctricos y monocultivos, como la caña de azúcar y la palma africana (incluyendo el área de Izabal y Verapaces); demostrando así, que existen una resistencia de pueblos indígenas ante la expansión de dichas actividades.

Mingorría (2017) publicó el artículo titulado “La Violencia y la visibilidad de los conflictos de la palma de aceite y caña de azúcar: caso Valle del Polochic, Guatemala”, el cual realiza un análisis la dinámica del conflicto del periodo 1998 y 2014, enfocándose en el rol que las organizaciones no gubernamentales (ONG) y organizaciones campesinas han ejercido en contra de la expansión de la palma de aceite y la caña de azúcar han tenido en el Valle del Polochic. Los resultados indican, que la evolución de la conflictividad puede explicarse a través de los cambios en las alianzas de las organizaciones, la falta de coordinación y el miedo a la represión del estado. Por lo que la violencia, el rol de las organizaciones y la dinámica de los eventos sociales influyen en que la conflictividad asociada a la expansión de las plantaciones de palma y caña de azúcar haya acrecentado su visibilidad.

4. JUSTIFICACION

La palma aceitera o africana (*Elaeis guineensis* Jacq.), es un cultivo en rápido crecimiento en el ámbito mundial. Algunos datos indican que en 1976 la superficie cultivada de palma africana no alcanzaba los 4 millones de hectáreas, mientras que para el año 2006 llega a 15 millones de hectáreas (Dammert, 2014). De acuerdo con la FAO (2014), en el año 2012 se produjeron alrededor de 50 millones de toneladas de aceite de palma en el mundo, cuatro veces más que los aproximadamente 13 millones de toneladas producidas 20 años atrás, en 1992 (FAOSTAT, 2017). Con este fenómeno mundial de expansión, el acaparamiento de tierras asociado al cultivo es una amenaza real (Dammert, 2014).

Para Guatemala, la palma africana ha experimentado una rápida expansión, según el Instituto Nacional de Estadística-INE-, en el año 2003 la superficie de palma era de 31,185 ha mientras que para el 2014 el cultivo aumento a 152,742 hectáreas; registrado un aumento total de 121,557 hectáreas para el país, en un periodo de 11 años (INE, 2015). Tal es el caso del Valle del Polochic, donde el cultivo inicia en el año 1996, con un proyecto que alcanzaría 5,000 hectáreas; sin embargo, a la fecha no se tiene un dato exacto de cuanto se ha extendido por todo el valle.

En general los monocultivos de palma africana pueden ser un generador importante de deforestación, en la medida en que las plantaciones reemplacen a bosques sobre todo primarios. Es posible, sin embargo, que estos cultivos se instalen en zonas ya deforestadas y dedicadas a otros usos del suelo (ganadería, agricultura de subsistencia, agricultura industrial de caña de azúcar) (Dammert, 2014).

Si bien, en el Valle del Polochic, se han realizado una serie de estudios en cuanto a los efectos que la palma africana ha tenido en el territorio; la mayoría de la misma gira en los impactos sociales, en información que clarifica los supuestos beneficios y bondades que tienen; de cómo las economías indígenas se estructuran/adaptan/enfrentan a la dinámica de este cultivo; o las implicaciones que tiene para los hogares de la zona combinar el trabajo en la palma africana y el acceso a tierra (Mingorría *et al.*, 2014; Mingorría y Gamboa, 2010; Alonso, *et al.* 2008). Sin embargo, sobre el cambio de uso del suelo asociado a cultivo de Palma Africana, únicamente se cuenta con un estudio realizado por el IARNA-URL (2012), pero a una escala Nacional que no permite conocer a detalle lo que sucede en el Valle del Polochic.

Este estudio evaluó la dinámica del uso del suelo en el valle del Polochic asociado al cultivo de Palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) durante el periodo de 1995 a 2017, articulando una línea de tiempo que muestre el comportamiento que ha tenido el cultivo; así como el establecimiento de la relación que existe entre el comportamiento de la cobertura de Palma Africana con factores socioambientales (densidad poblacional, índice de desarrollo humano, conflictividad agraria, políticas públicas); fluctuación de precios a nivel mundial y tasas de cambio en las clases de cobertura que han incidido en la expansión del mismo. Se espera que la información ya generada pueda ser utilizada por instituciones de Gobierno y/o privadas para planificar el manejo de los recursos a escala de pequeñas regiones y tener una fuente de información importante sobre el uso de suelo (Ortíz-García, Díaz-Padilla, Palma-López, Ortiz-Solorioy Ramos-Reyes, 2004)

5. OBJETIVOS

5.1. General

Evaluar la dinámica del uso del suelo en el valle del Polochic asociada al cultivo de Palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.).

5.2. Específicos

Identificar el cambio del uso del suelo en el Valle del Polochic asociado al cultivo de Palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) durante el periodo 1995 a 2017.

Determinar una línea de tiempo que muestre el comportamiento de la cobertura de Palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el Valle del Polochic.

Establecer la relación existente entre el comportamiento de la cobertura de Palma Africana con factores socioambientales (densidad poblacional, índice de desarrollo humano, conflictividad agraria, políticas públicas); fluctuación de precios a nivel mundial de la palma africana y tasas de cambio en las clases de cobertura que han incidido en la expansión del cultivo de Palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el Valle del Polochic.

6. HIPÓTESIS

El cambio del uso del suelo asociado al cultivo de Palma Africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el Valle del Polochic durante el periodo 1995-2017 tiene relación con factores socioambientales (densidad poblacional, índice de desarrollo humano, conflictividad agraria), factores económicos internacionales (fluctuación de precios a nivel mundial de la palma africana) y tasas de cambio en las clases de cobertura en la zona.

7. MATERIALES Y METODOS

7.1. Materiales

7.1.1. Material

7.1.1.1. Trabajo de campo

- GPS MAP® marca Garmin 64S
- Hojas tamaño carta papel bond
- Mapas impresos del Valle del Polochic
- Marcadores
- Lapiceros
- Lápiz
- Papel tipo acetato
- Tablilla
- Libreta de campo
- Encuestas semiestructuradas
- Cinta adhesiva transparente

7.1.1.2. Equipo y material

- Computadora portátil
- Software ArcGIS
- Grabadora
- Cámara fotográfica digital
- Impresora
- Software estadístico R
- Escáner
- Memoria digital
- Imágenes Landsat 1995, 2005, 2010, 2015, 2016 y 2017
- Software ArcGIS 10.3

7.2. Métodos

7.2.1. Universo

7.2.1.1. Universo de estudio

Dinámica del uso del suelo en el Valle de Polochic durante el periodo 1995-2017.

7.2.2 Muestra

El cultivo de palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) y los factores asociados a su crecimiento espacial en el Valle de Polochic durante el periodo 1995-2017.

7.2.3. Cambio del uso del suelo en el Valle del Polochic asociado al cultivo de Palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) durante el periodo 1995 a 2017

Para determinar el cambio del uso del suelo asociado al cultivo de palma africana, se realizó un análisis multitemporal, para lo cual, se utilizó la herramienta de percepción remota (PR) y sistemas de información geográfica (SIG). Se utilizaron imágenes satelitales multiespectrales LANDSAT de mediana resolución (30 x 30 metros) (LANDSAT 2, 7 y 8), con un ancho de barrido de 185 km de cada escena (INEGI, 2017). Se trabajó en la escena Path/Row 19/49 que pertenecen al área de Izabal.

Las imágenes LANDSAT de libre acceso fueron obtenidas mediante los siguientes pasos:

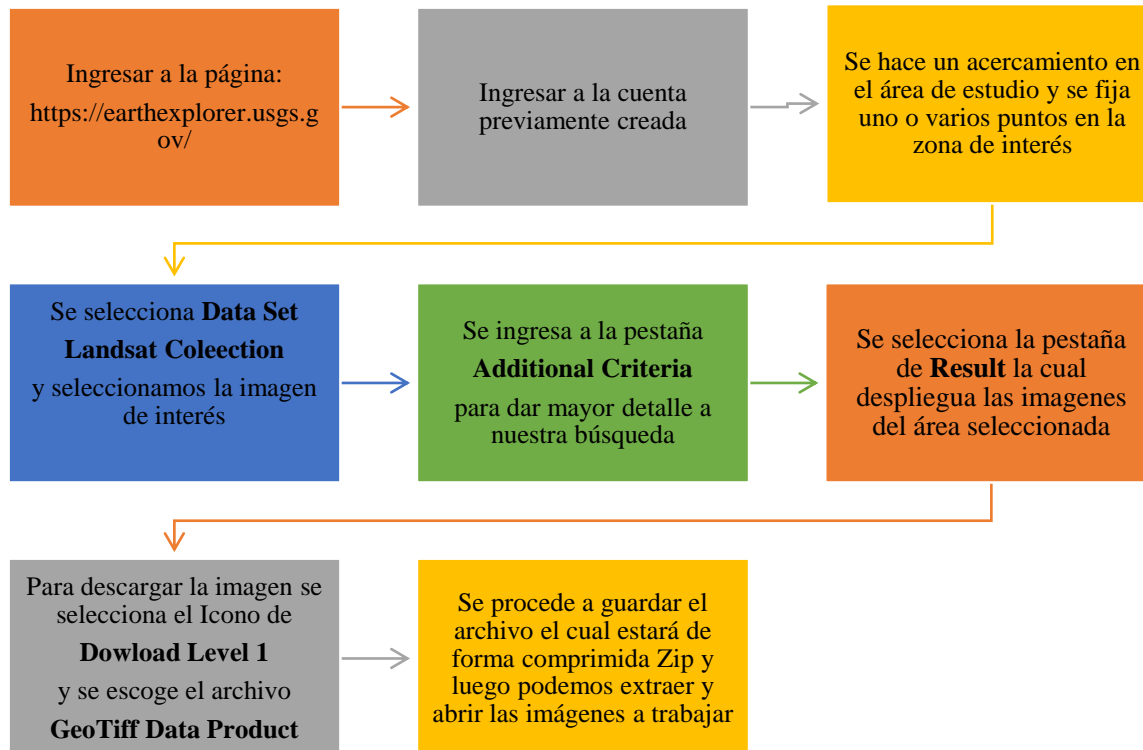


Figura 8. Pasos para descargar imágenes LANDSAT. Fuente: Elaboración propia con datos recopilados de USGS Earth Explorer. (2018). <https://earthexplorer.usgs.gov>. Recuperado de <https://earthexplorer.usgs.gov>

Se utilizó el método de clasificación supervisada para obtener los parches de cultivo de palma africana, el cual consiste en agrupar píxeles en un número finito de clases individuales o de categorías de datos, con base en los niveles digitales de los datos. Si un píxel satisface cierto criterio, entonces el píxel es asignado a la clase que corresponda a este criterio. Este tipo de clasificación es controlada por el usuario, quien selecciona píxeles que representan patrones que reconoce o que puede identificar con la ayuda de otras fuentes. El conocimiento de los datos, las clases deseadas y el algoritmo a utilizar, se requiere antes de empezar a seleccionar las muestras de entrenamiento (Hernández y Montaner, 2001).

A través de este método se controló el proceso de clasificación mediante las siguientes operaciones:

Definición de firmas espectrales: la cual se define como el comportamiento diferencial que presenta la radiación reflejada (reflectancia) o emitida (emitancia) desde una superficie terrestre en distintos rangos del espectro electromagnético (radiación reflejada en función de la longitud de onda en la superficie) (Hernández y Montaner, 2009).

Evaluación de firmas espectrales: se utilizaron datos colectados de un área específica de la zona de estudio los cuales sirvieron como referencia para identificar patrones similares en la imagen. La evaluación se hizo a nivel de laboratorio donde se controlan las condiciones y geometría de la iluminación obteniendo datos estandarizados independientes (Hernández y Montaner, 2009).

Procesamiento de una clasificación supervisada: Se trabajó en dos etapas: formación y clasificación. En la etapa de formación se desarrolló la descripción numérica de los atributos espectrales de cada tipo de cobertura en el área de interés y en la fase de clasificación cada pixel del total de datos se clasificó según la cobertura a la que más se asemeje (Lillesand *et al.*, 2004 citado Lang, Shao, Pijanowski y Farnsworth, 2008).

Para calcular la tasa de cambio de cobertura de palma fue necesario tomar en cuenta las fechas exactas de las imágenes que se utilizaron, así como el área que la imagen cubrió sobre los distintos polígonos de departamentos, municipios y áreas protegidas que abarque el Valle del Polochic, para obtener un promedio ponderado del periodo del estudio (INAB, CONAP, UVG, URL; 2012). Se calculó la cantidad de palma africana presente en los años de interés (1995, 2003, 2005, 2010, 2015 y 2017) y la dinámica, obteniendo datos de ganancia y pérdida, a través de una resta de mapas. Esta información permite calcular el cambio neto de cobertura del cultivo para un área específica, que es un valor positivo si hubo un incremento o negativo si ocurrió una pérdida neta:

$$\text{Cambio neto (ha)} = \text{ganancia de área de palma (ha)} - \text{pérdida de área de palma (ha)}$$

Se calculó un periodo promedio de tiempo para cada área de análisis, este promedio se calculó ponderando la fecha de cada imagen a utilizar por el área que cubre la imagen con respecto al área total del análisis.

$$\text{Año promedio ponderado} = \sum (\text{año imagen} \times \text{área}) / \text{área total}$$

Con este intervalo de tiempo se calculó el cambio neto anual:

$$\text{Cambio neto anual (ha/año)} = \text{cambio neto (ha)} / \text{intervalo ponderado (años)}$$

Estos datos fueron tabulados en una hoja de Microsoft Excel para obtener una tabla dinámica (INAB, CONAP, UVG y URL; 2012).

7.2.4. Línea de tiempo de factores socioambientales que han incidido en la expansión de cultivo de palma africana

Para construir una línea de tiempo con factores socioambientales claves (densidad poblacional, índice de desarrollo humano, conflictividad agraria), fluctuación de precios a nivel mundial de la palma africana y tasas de cambio en las clases de cobertura, se recopiló información a través de una revisión bibliográfica exhaustiva de los años: 1995, 1995, 2005, 2010, 2015, 2016 y 2017, para el área de estudio y zonas aledañas.

Como complemento, se utilizó el método de la historia oral propuesta por Garcés (1994 citado por Avendaño *et al.*, 2005), en el cual se consideraron los relatos de las personas basado en su experiencia o vivencia. Para esto se realizaron entrevistas informales semiestructuradas a personas clave (propietarios de fincas, organizaciones que impulsan el cultivo de palma africana, personal que labore en las plantaciones, entre otros) que contribuya a complementar la línea de tiempo de factores asociados a la expansión del cultivo.

7.2.5. Relación existente entre el comportamiento de la cobertura de Palma Africana con factores socioambientales, fluctuación de precios a nivel mundial de la palma africana y tasas de cambio en las clases de cobertura

Para determinar la relación existente se creó una base de datos utilizando la información recopilada en objetivo específico 1 y 2 que contiene un listado de factores socioambientales, fluctuación de precios a nivel mundial de la palma y las tasas de cambio en las clases de cobertura por cada año del periodo 1995-2017. Para el manejo de la base de datos se utilizó Microsoft Excel debido a su facilidad y versatilidad de uso. Para determinar la relación existente se utilizó un análisis de regresión lineal múltiple descrito en la sección 6.2.6.

7.2.6. Análisis estadístico

Para expresar de mejor manera los resultados obtenidos del cambio de uso de suelo para los años: 1995, 2005, 2010, 2015, 2016 y 2017; por categoría determinada, se utilizó estadística descriptiva a través de gráficas de líneas, ya que este tipo de gráficas muestra de mejor manera el comportamiento de un conjunto de datos en el tiempo (Mendenhall, Beaver y Beaver, 2010).

Para determinar la relación que existe entre el cambio de uso del suelo asociado al cultivo de palma africana, factores socio ambientales y precios a nivel mundial de la palma, se realizó un análisis de regresión lineal múltiple (Mendenhall *et al.*, 2010).

Las variables por medir son:

Variable dependiente (Y): tasa de cambio de cobertura de palma africana o cobertura de palma

Variabes explicativas (X): densidad poblacional, índice de desarrollo humano, conflictividad agraria, fluctuación de precios a nivel mundial de la palma africana

En la regresión lineal múltiple al tener más de una variable explicativa; ofrecerá más información para la construcción del modelo y realizar estimaciones más precisas (Rojo, 2007)

El modelo de regresión múltiple está dado por:

$$y = b_0 + b_1 - x_1 + b_2 - x_2 + b_3 - x_3 \dots + b_k - x_k + u$$

Para este análisis se deben tomar las siguientes consideraciones sobre los datos:

- a) Linealidad: los valores de la variable dependiente están generados por el siguiente modelo lineal:

$$Y = X * B + U$$

- b) Homocedasticidad: todas las perturbaciones tienen la misma varianza.

$$V(u_i) = \sigma^2$$

- c) Independencia: las perturbaciones aleatorias son independientes entre sí.

$$E(u_i - u_j) = 0, \forall i \neq j$$

- d) Normalidad: la distribución de la perturbación aleatoria tiene distribución normal:

$$U \approx N(0, \sigma^2)$$

- e) Las variables explicativas X_k se obtienen sin errores de medida.

Si todas las variables explicativas cumplen con estas consideraciones entonces el teorema de Gauss-Markov establece que el método de estimación de mínimos cuadrados va a producir estimadores óptimos (Rojo, 2007).

8. RESULTADOS

8.1. Cambio del uso del suelo en el Valle del Polochic asociado al cultivo de Palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) durante el periodo 1995 a 2017

Para realizar el análisis multitemporal se revisaron las imágenes satelitales multiespectrales LANDSAT (2, 7 y 8 de resolución mediana de 30 x 30 metros) disponibles para la región del Polochic las cuales se detallan en la figura 9, identificando aquellas que contenían menor cantidad de nubes, para lo cual se tuvieron disponibles las siguientes:

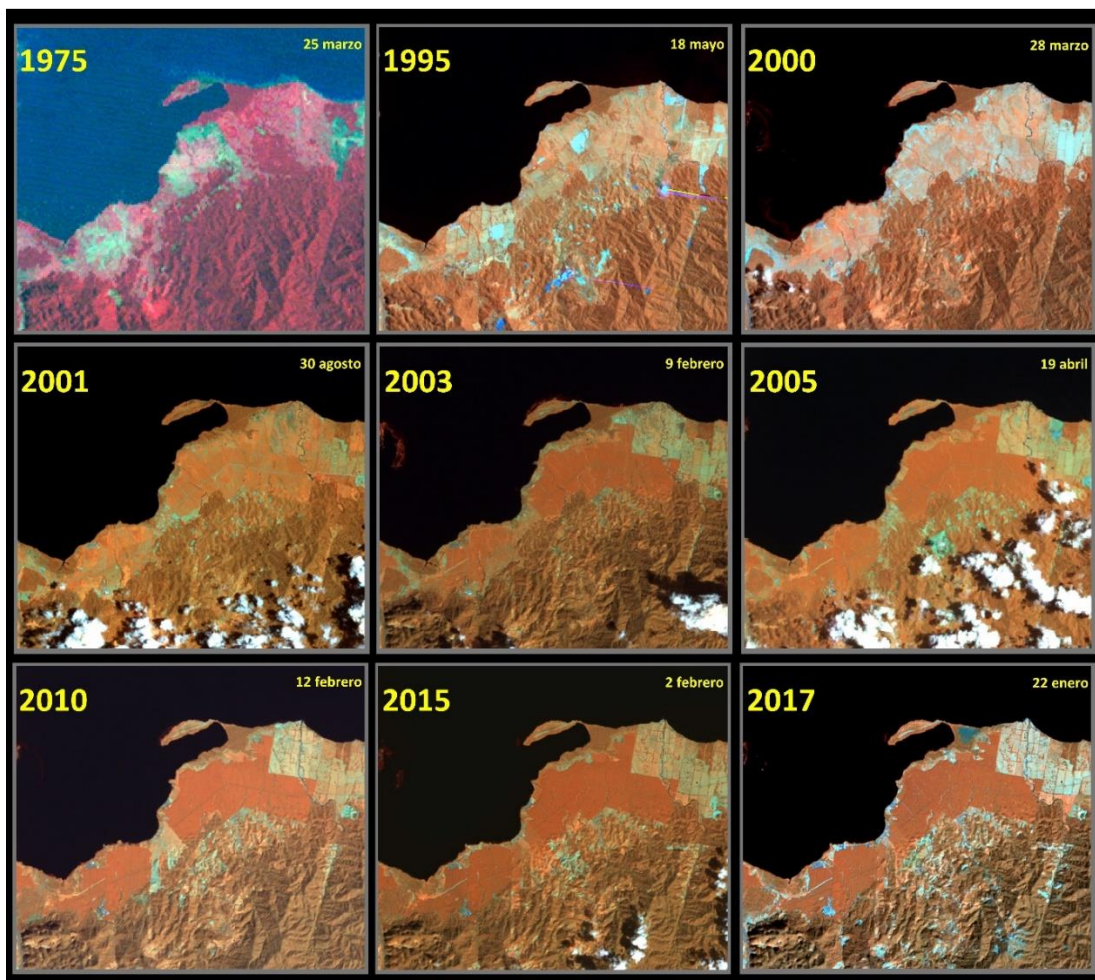


Figura 9. Imágenes disponibles para la región del Polochic. Fuente: USGS Earth Explorer. (2018). <https://earthexplorer.usgs.gov>. Recuperado de <https://earthexplorer.usgs.gov/>

A continuación, se observa en la figura 10 el color característico de la firma espectral que corresponde a la cobertura de palma africana de una plantación adulta, la cual está dada por la

agrupación de píxeles que tienen valores espectrales similares (Arango, Brach y Botero; 2005); el color que presenta es marrón.

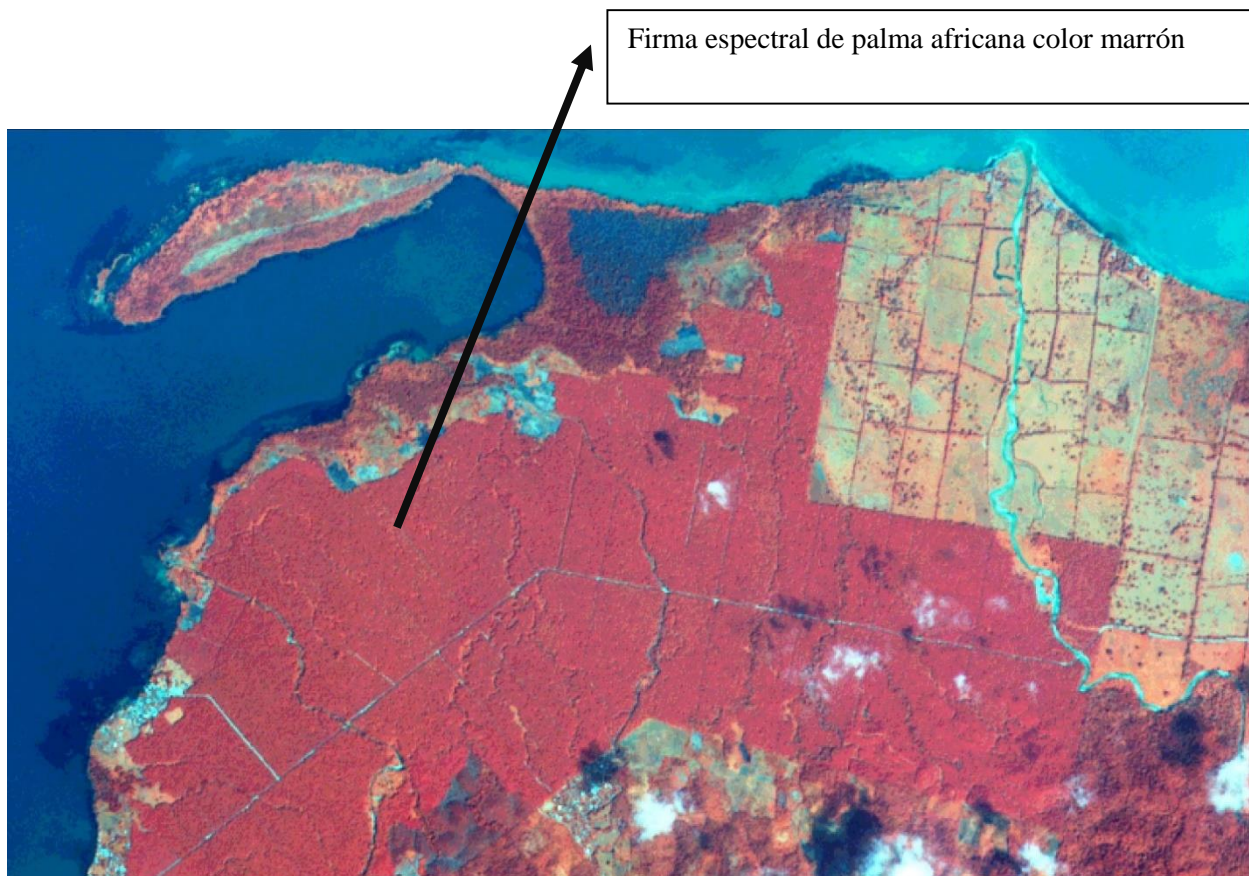


Figura 10. Imagen satelital LANSAT que muestra el color característico de la firma espectral de la palma africana de plantaciones adultas, el color característico es marrón (como se señala).

Con las imágenes disponibles se utilizó el método de clasificación supervisada para determinar la cobertura y tasa de crecimiento de palma africana para los años 1975, 2000, 2003, 2005, 2010, 2015 y 2017. En la tabla 3 y Figura 11, se puede observar que para el periodo de 1975-2000 no existía el cultivo para la zona. Los resultados indican, que las tasas de mayor crecimiento se reportan para el periodo 2005-2010 con 1,118 ha/periodo (en promedio 223.6 ha/año) y para el periodo 2010-2015 con una tasa de 3,321 ha/periodo (en promedio 664.2 ha/año).

Tabla 3:

Cobertura de palma africana para el periodo 1995 -2017 y su tasa de crecimiento ha/año

Año	Palma africana en hectáreas	Tasa de crecimiento de la cobertura de palma ha/periodo
1975	-	
1995	-	
2000	-	
2003	3,432	
2005	4,134	702
2010	5,252	1,118
2015	8,573	3,321
2017	8,696	123

Nota: Durante el periodo 1975 a 1995 no hay registro de plantaciones de palma en el área de estudio.

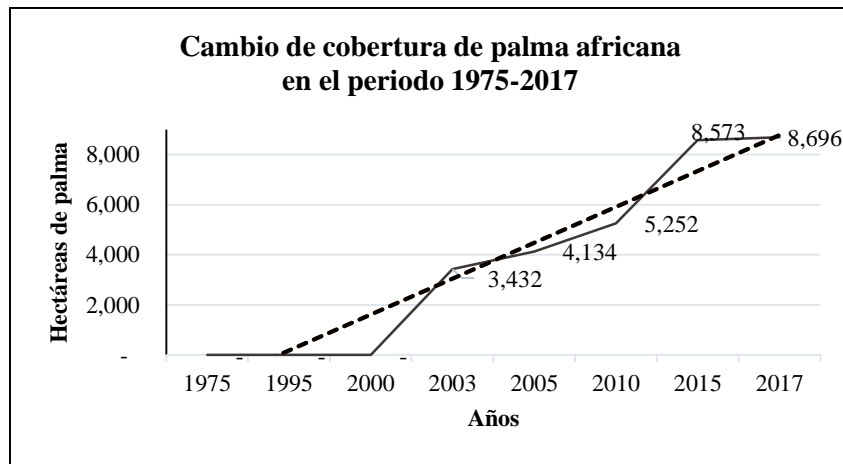


Figura 11. Cambio de cobertura de palma africana en el periodo 1975-2017 tomando como referencia la primera imagen Landsat disponible que corresponde al año 1975.

En cuanto a la distribución geográfica de la palma africana para los años 2000, 2003, 2005, 2010, 2015 y 2017 mostrada en la Figura 12, se puede observar que para el año 2000 aún no era posible detectar las plantaciones de palma (se tiene registro que la empresa de palma inicia acciones en el Valle del Polochic en año 1996-1998 con habilitación de áreas para cultivo y viveros (A. Pérez, comunicación personal, 6 de diciembre 2018; Alonso, *et al.* 2008 pag 66); debido a que se encuentra en sus primeras etapas de crecimiento; es hasta el año 2003 donde se pueden observar

los primeros parches. La serie de mapas con mayor detalle de la cobertura de palma se encuentran en el Anexo 1.

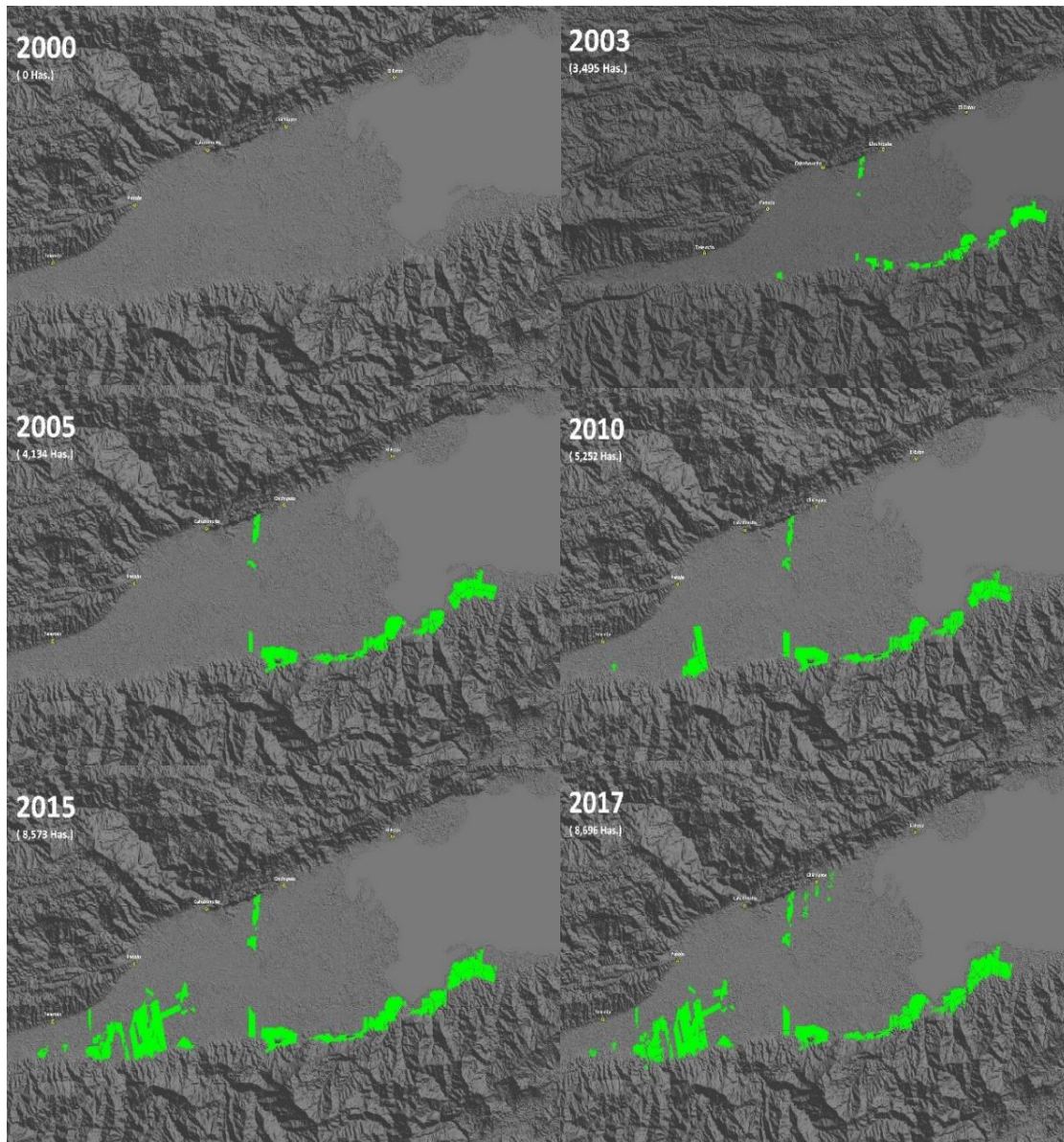


Figura 12. Distribución geográfica de la palma africana en el Valle del Polochic para los años 1975, 2000, 2001, 2003, 2005, 2010, 2015 y 2017 tomando como referencia la primera imagen Landsat disponible que corresponde al año 1975.

A continuación, se presenta una vista en imagen Landsat de la distribución del cultivo de la palma para el año 2017 por municipio (Figura 13): 3,927 ha para el área de Panzós, Alta Verapaz, 4,749 ha para El Estor y una sección pequeña de 20 ha que corresponde al municipio de los Amates en el departamento de Izabal.

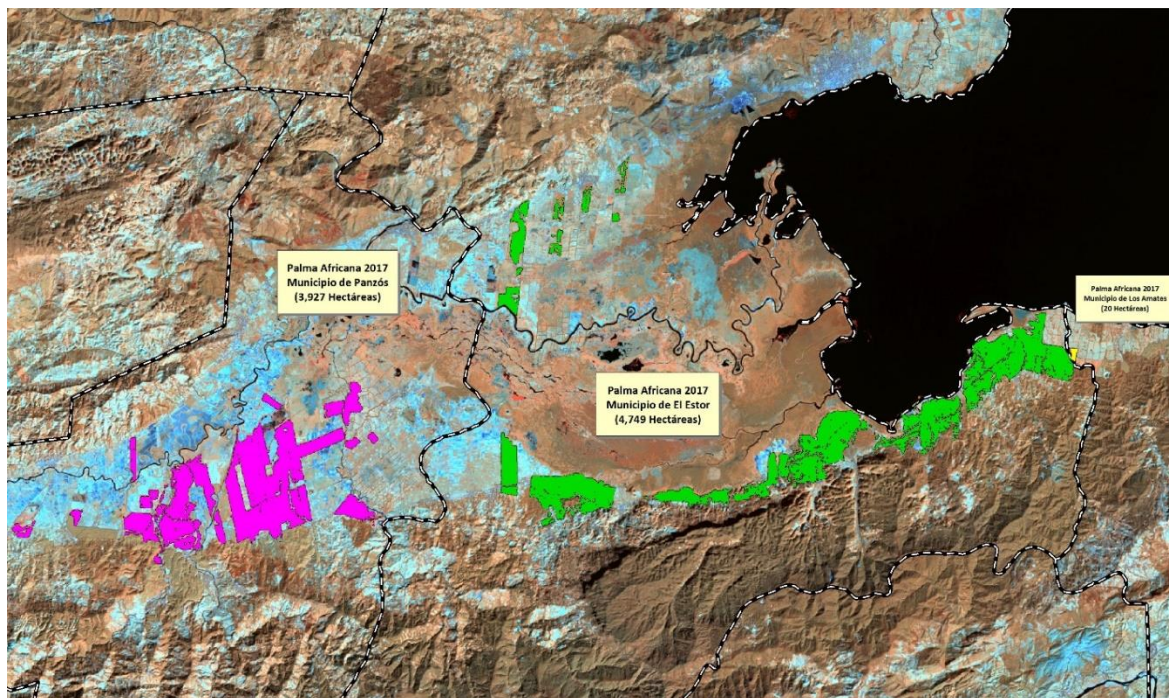


Figura 13. Distribución geográfica por municipio de la palma africana en el Valle del Polochic al año 2017 utilizando una imagen Landsat 2017.

En la figura 14 y tabla 4 se muestra la cobertura de palma dentro de áreas protegidas la cual asciendo a un total de 1,477.2 (17%); con 1,477 ha dentro de la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas y 0.2 ha en el Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic.

Tabla 4:

Cobertura de palma africana para el periodo 1995 -2017 y su tasa de crecimiento ha/año

Área protegida	hectáreas
Reserva de Biosfera Sierra de las Minas	1,477
Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic	0.2
Total	1,477.2

Nota: Áreas protegidas en la Región Polochic

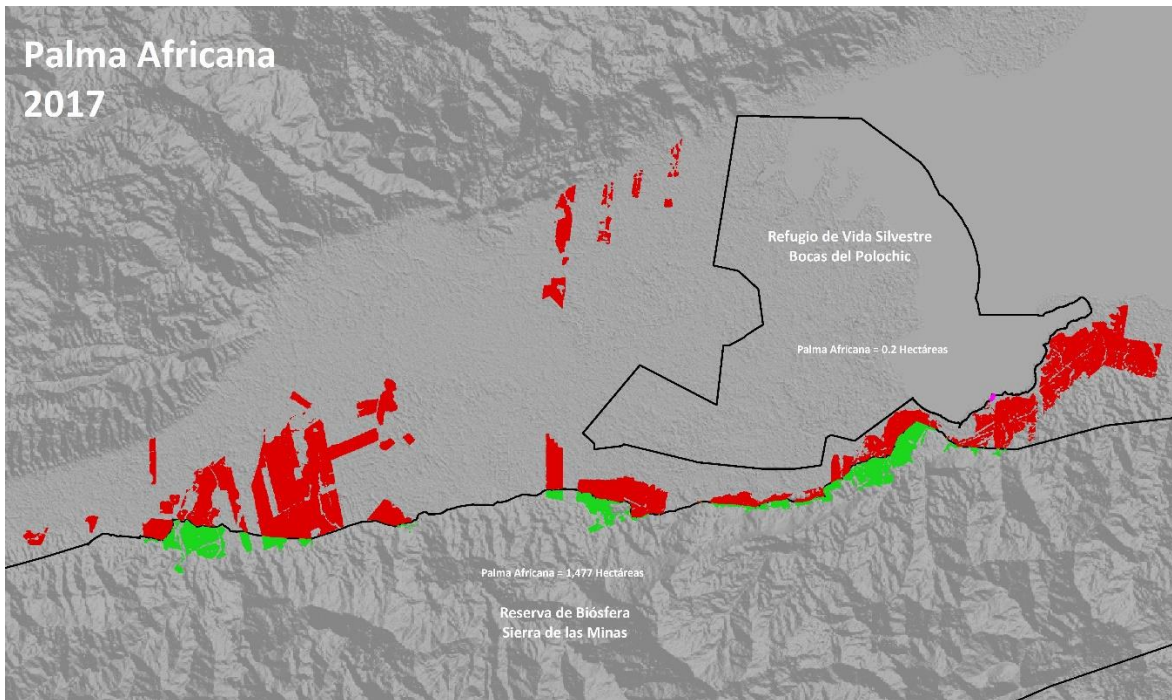


Figura 14. Distribución geográfica por área protegida de la palma africana en el Valle del Polochic al año 2017 utilizando una imagen Landsat 2017.

En cuanto al cambio de uso de la tierra, se realizó el análisis de cambio de usos del año 1975 con respecto al año 2003 (año en que ya es perceptible los parches de palma africana) y 1975 con 2017; para evidenciar las categorías de uso previo al establecimiento de palma africana. En la figura 15 se muestra el mapa de uso de la tierra de 1975 versus 2003 cuantificando que el área que ocupa el cultivo de palma para el año 2003 estaba constituido por: 699.93 ha bosque latifoliado (20.39%), 596.61 ha a humedal con bosque (17.38%), 715.49 ha (20.85%) a pasto cultivado y 1,420.30 ha (40.38%) a pasto natural. También se realizó el análisis 1975 versus 2017 indicado en la figura 16; los resultados detallan que para el año 1975 el área total que para el año 2017 cuenta con palma estaba cubierto por: 1,391 ha bosque latifoliado (17%), 1,249 ha (15%) a humedal con bosque, pasto cultivado con 2,062 ha (35%) y 3,617 ha (43%) de pasto natural.

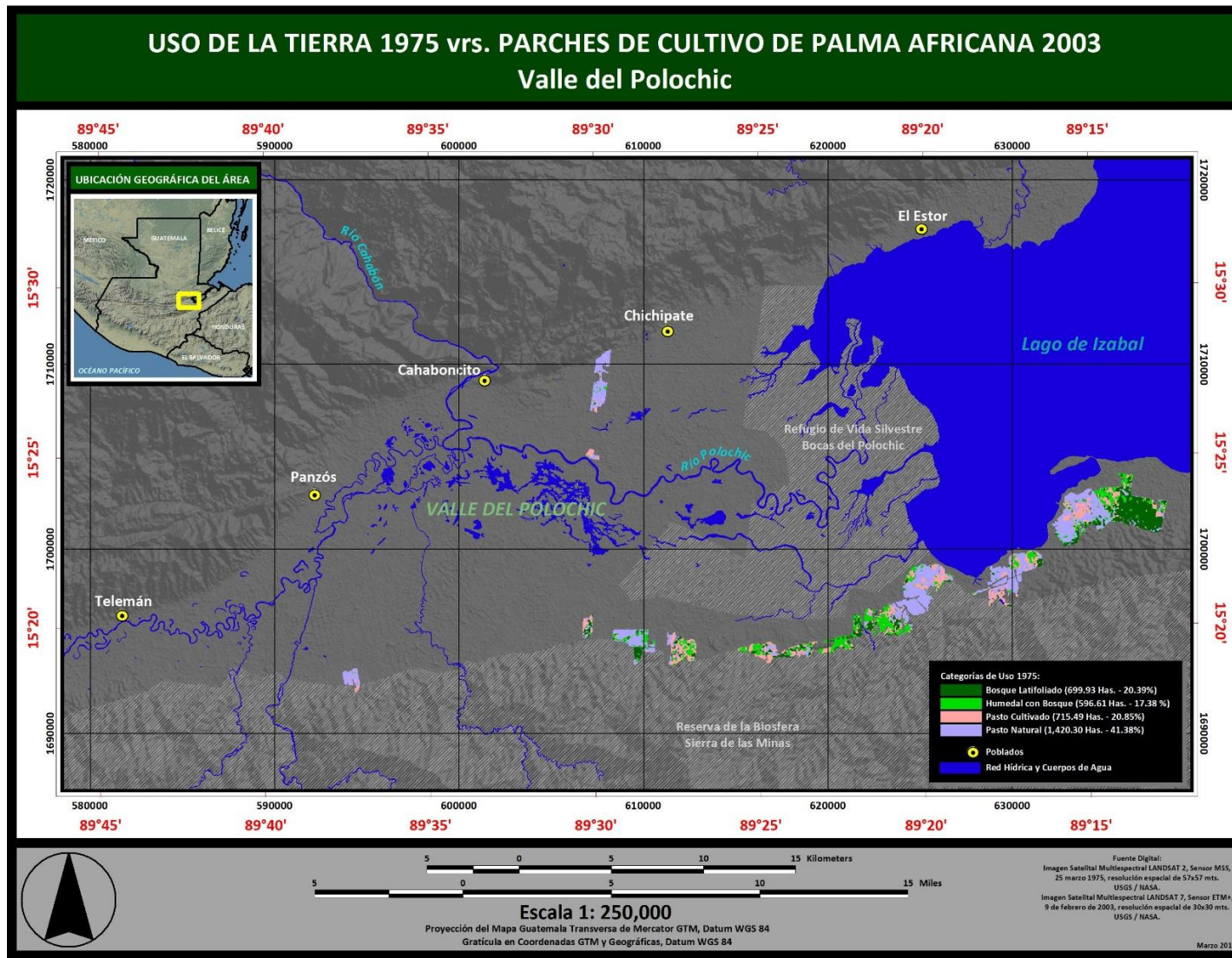


Figura 15. Uso de la tierra 1975 versus parches de cultivo de palma africana 2003 en el Valle del Polochic, utilizando imagen satelital multiespectral LANDSAT 2 sensor MSS 1975 y LANSAT 7 sensor ETM 2003.

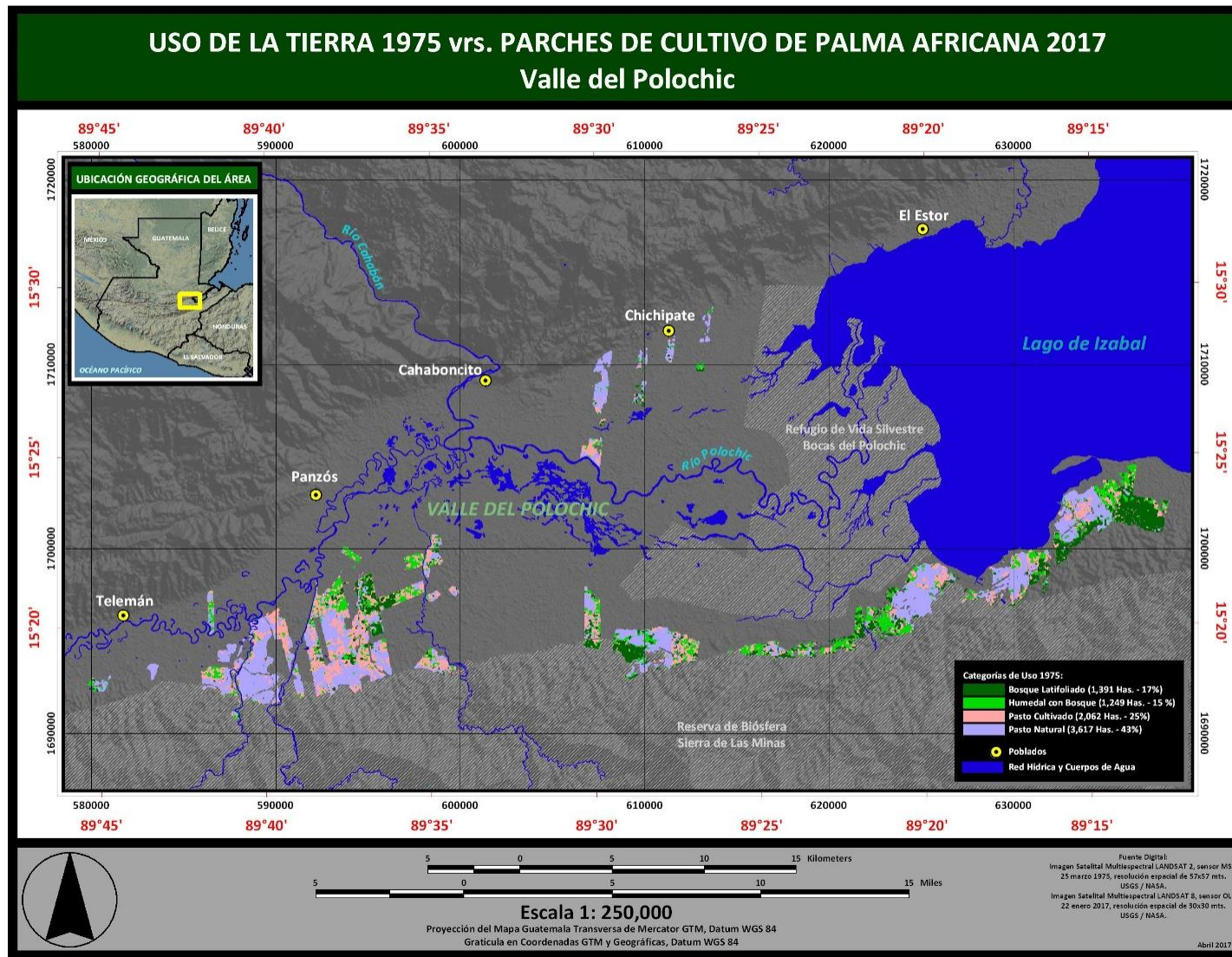


Figura 16. Uso de la tierra 1975 versus parches de cultivo de palma africana 2017 en el Valle del Polochic, utilizando imagen satelital multiespectral LANDSAT 2 sensor MSS 1975 y LANSAT 8 sensor OLI 2017.

8.2. Línea de tiempo de factores socioambientales que han incidido en la expansión de cultivo de palma africana

En cuanto a los factores socioambientales que pueden estar incidiendo en la expansión del cultivo se consideró la densidad poblacional, el índice de desarrollo humano (IDH), los casos registrados de conflictividad agraria vinculados y las fluctuaciones del precio de la tonelada métrica de aceite de palma en el mercado internacional.

Como punto inicial se construyó una línea de tiempo de la densidad poblacional de la región del Polochic, para lo cual se utilizaron datos históricos y actuales del INE en el 2002 y en las estimaciones de la población por municipio 2008-2020 (INE, 1994, INE 2003; INE, 2008). Los resultados contemplados en la tabla 5 indican el promedio del total de la población por municipio que comprenden la región del Polochic (Tucurú, Panzós, Senahú, Tactic, Tamahú, La Tinta, El Estor, Livignston y Purulhá) y el área total de la región en km²; se puede observar que la densidad ha ido aumentando en el transcurso de los años habiendo crecido 45.35 hab/km² de 1995 a 2017.

Tabla 5:

Densidad poblacional de la Región del Polochic

Año	Densidad poblacional (Hab/Km²)
1995	35.75
2000	49.15
2005	50.54
2010	66.33
2015	76.71
2017	81.1

Nota: Densidad poblacional de la región utilizando el promedio de la suma del total de la población por municipio de la región y el área total en km² de la región. Elaboración propia utilizando datos de INE, 1994; INE, 2002; INE, 2008.

Otro factor socioambiental importante para relacionar con la expansión de la palma es el índice de desarrollo humano (IDH), ya que se basa en la medición de tres aspectos: salud, educación y el acceso a recursos económicos para una mejor calidad de vida; teniendo como base que el cultivo de palma es una fuente importante generadora de empleo (FDN, HIG y OV; 2012). En ese sentido

la tabla 6 muestra el IDH a nivel del país, ya que no fue posible calcular el IDH a nivel de la región para cada periodo. Los resultados indican que el IDH ha ido en crecimiento, siendo el periodo de mayor aumento el 2005-2010 con un IDH de 0.611 y el periodo con menor crecimiento es 2000-2005 con IDH de 0.571; no considerando el periodo de 2015-2017 ya que el periodo es mucho menor de 5 años (PNUD, 2016).

Los últimos IDH que se tienen para la región son los calculados por el PNUD a partir de los datos generados en los Censos de 1994 y 2002; los cuales indican que en promedio el IDH para la región en 1994 fue de 0.43 en comparación con el promedio nacional de 0.59 y para el año 2002 incrementó a 0.44 mientras que a nivel nacional el incremento fue mayor, mejorando a 0.63 (SEGEPLAN, 2014).

Tabla 6:

Índice de Desarrollo Humano (IDH) de Guatemala

Año	Índice de desarrollo humano IDH
1995	0.507
2000	0.546
2005	0.571
2010	0.611
2015	0.645
2017	0.65

Nota: Índice de desarrollo humano para cada periodo basado en 3 indicadores: salud, educación y el acceso a recursos económicos. Fuente: PNUD, 2016.

Otro de los elementos considerado en el análisis, son los precios del aceite a nivel internacional. Para esto se construyó una línea de tiempo de la fluctuación de los precios a nivel mundial, se utilizó el promedio anual del precio en dólares por tonelada métrica de aceite de palma, registrado en la base de datos histórica del www.indexmundi.com página que proporciona detalles estadísticos de diversos sectores a nivel mundial. La tabla 6 muestra los precios del aceite de palma

en dólares por tonelada métrica por periodo, el cual se calculó utilizando el promedio de los años que comprende el periodo con los datos históricos del periodo 1995-2002 del www.indexmundi.com y del 2003-2007 los reportados por www.palmoilanalytics.com del CPO-CIF Rotterdam.

Los resultados de la tabla 7 muestran que los precios han variado considerablemente de periodo a periodo, siendo el periodo de 2005-2010 el que presenta los mejores precios \$852 y el más bajo lo representa el periodo del 2000-2005 con \$407.

Tabla 7:

Fluctuación de los precios del aceite de palma a nivel internacional

Periodo	Precio
1995	\$ 628
2000	\$ 499
2005	\$ 407
2010	\$ 852
2015	\$ 807
2017	\$ 733

Nota: Promedio del precio de aceite de palma para cada periodo 1995, 1996-2000, 2001-2005, 2006-2010, 2011-2015 y 2016-2017. Elaboración propia con datos históricos de 1995 a 2002 del www.indexmundi.com y del periodo 2003 al 2017 con datos históricos <http://www.palmoilanalytics.com/price/16> del CPO-CIF Rotterdam.

En la figura 17 se muestra de forma gráfica la fluctuación de los precios del aceite de palma del periodo 1995-2017, se puede observar que los años con mejores precios anuales (promedio de la oscilación del precio mensual) son: 2007, 2010, 2011 y 2013; siendo el año 2010 el que mejor precio presenta con un valor promedio anual de \$1,290 por tonelada métrica, mientras que el año 2001 reporta el menor precio histórico con un valor promedio anual de \$286 por tonelada métrica.

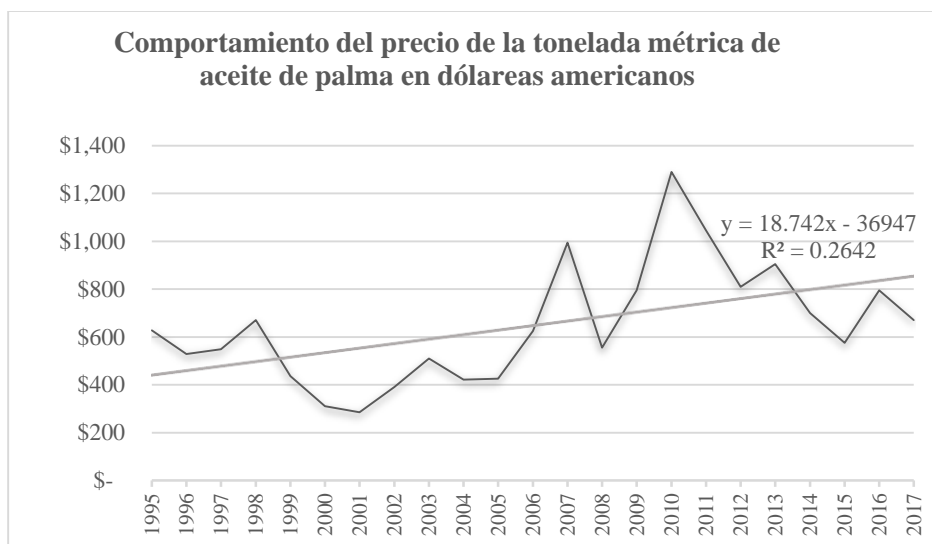


Figura 17. Comportamiento del precio de la tonelada métrica de aceite de palma africana a nivel internacional en dólares americanos. Fuente elaboración propia con datos históricos de 1995 a 2002 del www.indexmundi.com y del periodo 2003 al 2017 con datos históricos <http://www.palmoilanalytics.com/price/16> del CPO-CIF Rotterdam.

El último elemento por considerar fueron los casos de conflictividad agraria vinculada a la expansión de palma africana en el territorio los cuales describe la tabla 8, para compilarlos se realizaron entrevistas semiestructuras a líderes de comunidades (Semuy II, Semuy I Selepim, Chichipate y Rancho Grande), actores locales seleccionados y registros documentados. Los resultados indican que desde el año 2005 se tienen registros de comunidades en conflicto directamente por la tenencia de la tierra con la producción de palma africana (Anexo 2 formato de entrevistas).

Tabla 8:*Caracterización de los conflictos agrarios comunitarios vinculados a la producción de palma*

No.	Comunidad	Municipio	Tipología del conflicto	Conflicto específico	Resuelto	Activo
1	Chinebal	El Estor	Disputa de derecho por falta de definición y establecimiento de derechos	Sobreposición		x
2	San Pablo I	El Estor	Disputa de derecho por falta de definición y establecimiento de derechos	Sobreposición		x
3	Semuy I	El Estor	Disputa de derecho por falta de definición y establecimiento de derechos	Linderos	x	
4	Semuy II	El Estor	Disputa de derecho por falta de definición y establecimiento de derechos	Linderos	x	
5	Manguito I	El Estor	Disputa de derecho por falta de definición y establecimiento de derechos	Sobreposición		x
6	Semococh	El Estor	Disputa de derecho por falta de definición y establecimiento de derechos	Sobreposición		x
7	Naranjal Yaxte	El Estor	Disputa de derecho por falta de definición y establecimiento de derechos	Linderos	x	
8	Quebrada Seca	El Estor	Disputa de derecho por falta de definición y establecimiento de derechos	Linderos		x
9	Nueva Jerusalem Pataxte	El Estor	Disputa de derecho por falta de definición y establecimiento de derechos	Sobreposición	x	

10	Bocanha	El Estor	Disputa de derecho por falta de definición y establecimiento de derechos	Linderos		x
11	Chapín Abajo	El Estor	Ocupación	Ocupación		x
12	Guaritas	El Estor	Ocupación	Ocupación		x
13	Pataxte	El Estor	Ocupación	Ocupación		x
14	Seaman	El Estor	Disputa de derecho por falta de definición y establecimiento de derechos	Linderos	x	
15	Tinajas	Panzós	Ocupación	Ocupación		x
16	Manzana Rosa	El Estor	Ocupación	Ocupación, No es una comunidad legalmente reconocida		x

Nota: Conflictos agrarios vinculados a las plantaciones de palma africana en el Valle del Polochic, su tipología y el estatus actual, información recopilada de FDN (2015); (I. Quiñonez, comunicación personal, 29 de enero 2019)

Como complemento de recopilación de la información se describen algunos relatos de personas vinculadas a organizaciones de la zona utilizando el método de la historia oral (Garcés 1994 citado por Avendaño *et al.*, 2005); lamentablemente no podrán ser citados todos los entrevistados con nombre y apellido debido a que no se obtuvo el consentimiento de publicar sus nombres (Anexo 3).

8.3. Relación existente entre el comportamiento de la cobertura de Palma Africana con factores socioambientales y análisis estadístico

Para determinar la relación existente entre los factores de densidad poblacional, IDH, conflictividad agraria, precios del aceite de palma, cobertura de palma y la tasa de crecimiento del cultivo; se creó la tabla 9 que resume los datos compilados en el objetivo específico 1 y 2; para el periodo 1995-2017.

Tabla 9:

Resumen de factores socioambientales, precios de aceite de palma y tasa de crecimiento del área de cultivo

Periodo	Densidad poblacional (Hab/Km ²)	Índice de desarrollo humano IDH	Conflictividad agraria	Precios de Palma \$ Ton métrica	Cobertura de Palma africana en ha	Tasa de crecimiento de la cobertura de la palma por periodo en ha
1995	35.75	0.507	0	628	0	0
2000	49.15	0.546	0	499	3432	0
2005	50.54	0.571	1	403	4134	702
2010	66.33	0.611	2	758	5252	1118
2015	76.71	0.645	15	885	8573	3321
2017	81.1	0.65	10	707	8696	123

Fuente: Elaboración propia con la recopilación de información de diferentes fuentes: www.indexmundi.com, <http://www.palmoilanalytics.com/price/16>; PNUD, 2016; INE, 1994; INE, 2002; INE, 2008.

Para determinar el comportamiento normal de las variables y la correlación entre ellas, se realizó una matriz de correlación de Pearson y se obtuvieron valores p (p-value) a través de la regresión lineal simple entre variables, resultados que se muestran en la tabla 10. Estos análisis sirvieron para evaluar la fuerza y dirección de la relación entre cada variable (un valor > 0.8 indica correlación) y el valor p (valor crítico $F > 0.05$ correlación no es significativa) para descartar aquellas que no tienen un comportamiento lineal y correlación no es significativa. Según los valores del índice de determinación y p obtenidos la *variable tasa de crecimiento de la cobertura de la palma por periodo en ha* no se correlaciona con ninguna variable (no responde a un modelo lineal), por lo que se eliminó e los análisis ya que los valores de R^2 son bajos y los valores de p son mayores a 0.05.

Tabla 10*Matriz de correlación R^2 y p-value*

Variablen	Densidad poblacional (Hab/Km ²)	Índice de desarrollo humano IDH	Conflictividad agraria	Precios de Palma \$ Ton métrica	Cobertura de Palma africana en ha	Tasa de crecimiento de la cobertura de palma por periodo en ha
Densidad poblacional (Hab/Km ²)	1.00					
Índice de desarrollo humano IDH	0.99 (0.0001)	1.00				
Conflictividad agraria	0.84 (0.0376)	0.83 (0.0405)	1.00			
Precios de Palma \$ Ton métrica	0.67 (0.1495)	0.63 (0.1764)	0.75 (0.0863)	1.00		
Cobertura de Palma africana en ha	0.98 (0.0007)	0.98 (0.0006)	0.86 (0.0281)	0.56 (0.2438)	1.00	
Tasa de crecimiento de la palma por periodo en ha	0.52 (0.2884)	0.57 (0.2338)	0.73 (0.1002)	0.67 (0.1454)	0.56 (0.2439)	1.00

Nota: Elaboración propia a través de Microsoft Excel, resultados de la matriz de correlación (correlación de Pearson) y p – value (Valor crítico de F), para la combinación posible entre variables.

Como complemento a la matriz de correlación la gráfica 18 muestra de una manera sencilla los diagramas de dispersión de la correlación entre las variables, los cuales proporcionan una idea de la correlación (lineal y no línea) que tienen todas las variables en conjunto.

Basado en el análisis anterior se elimina la variable tasa de crecimiento de la cobertura de la palma y se definen tres modelos, ya que se observa que existe una auto-correlación temporal entre la variable Índice de Desarrollo Humano (IDH) y Densidad poblacional, siguiendo el método de regresión lineal múltiple:

- *Modelo 1:* Modelo completo donde Y: cobertura de palma y X: IDH, densidad Poblacional, conflictividad agraria y precios de palma \$ Ton métrica
- *Modelo 2:* Modelo sin IDH donde Y: cobertura de palma y X: densidad poblacional, conflictividad agraria y precios de palma \$ Ton métrica

- Modelo 3: Modelo sin densidad poblacional donde Y: cobertura de palma y X: IDH, conflictividad agraria y precios de palma \$ Ton métrica

La tabla 11 resume los resultados de la regresión lineal múltiple, los cuales indican que los tres modelos tienen un índice de determinación alto, pero el modelo 1 no es significativo ($p > 0.05$), y los Modelo 2 y 3 son significativos, sin embargo; el mejor modelo parece ser el Modelo 2.

Tabla 11

Regresión lineal múltiple de los 3 modelos

Modelos	R²	F	p-value
Modelo 1. Modelo completo	0.993	36.86	0.123
Modelo 2. (-) IDH	0.992	84.26	0.012
Modelo 3. (-) Densidad poblacional	0.987	50.44	0.020

Nota: Resumen de la regresión lineal múltiple corrida en Microsoft Excel con datos propios.

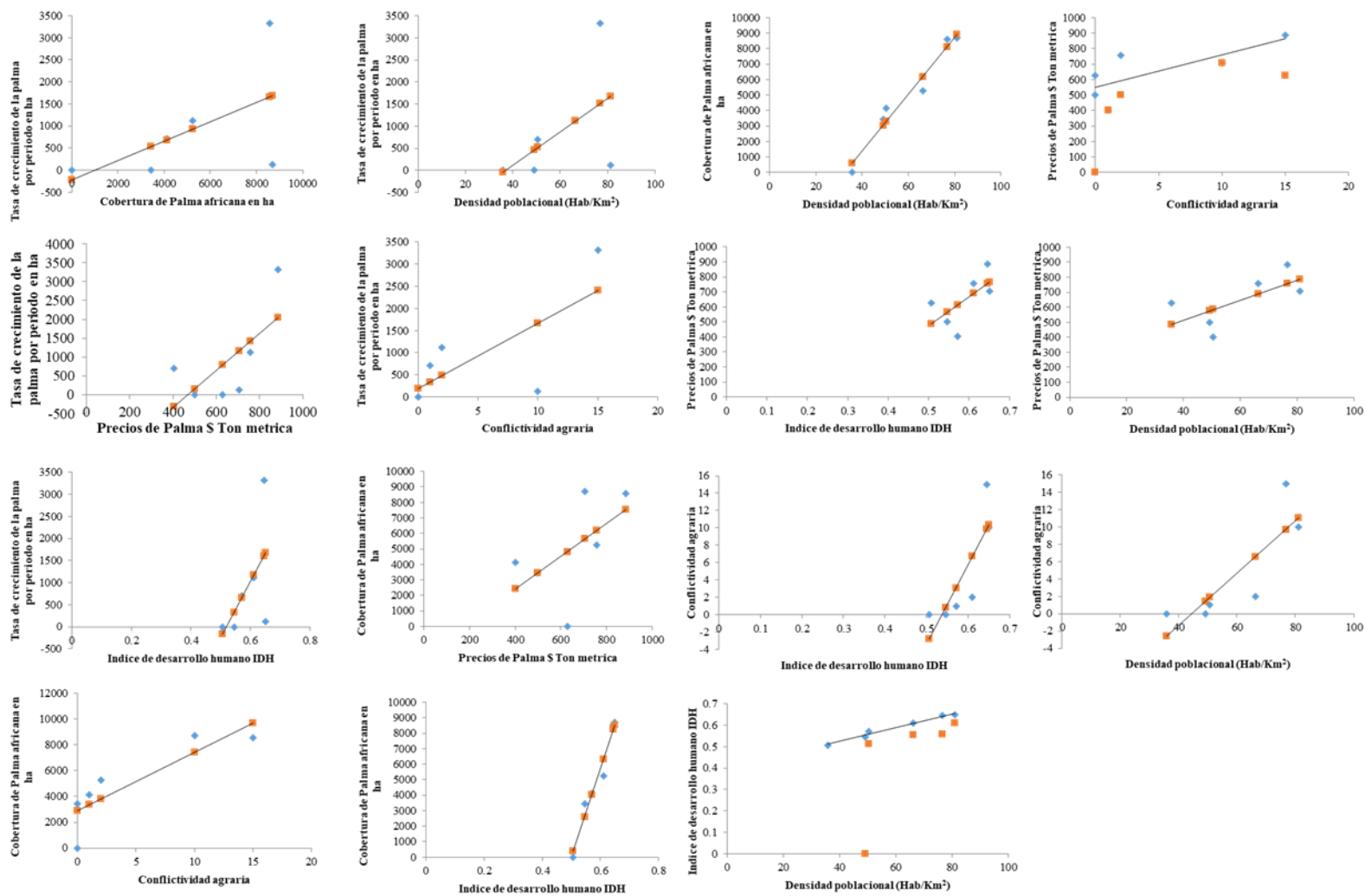


Figura 18 Diagramas de dispersión del comportamiento de las variables generado a través del análisis de regresión lineal entre las posibles combinaciones entre variables a través de Microsoft Excel.

De los dos modelos (Modelo 2 y 3) con resultados significativos se realizó una comparación de los coeficientes obtenidos en la regresión lineal múltiple los cuales se detallan en la tabla 12, estos resultados indican que: en el modelo 3 la variable IDH el índice de terminación es significativo pero el valor crítico de F (p-value) es menor que el para el Modelo 2 y en el Modelo 2 la variable Densidad poblacional es significativa y en general en el Modelo 2 los valores de p-value son menores en comparación al Modelo 3.

Tabla 12

Comparación de los coeficientes del Modelo 2 y 3

Variables	Modelo 2				Modelo 3			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	p-value	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	p-value
Intercepción	-2618.8	1388.4	-1.89	0.200	-22810.97	4803.54	-4.75	0.042
X1 Densidad poblacional (Hab/Km ²)	167.93	21.57	7.79	0.016	0	-	-	-
X2 Índice de desarrollo humano IDH	0	-	-	-	50343.37	8427.54	5.97	0.027
X3 Conflictividad agraria	159.58	68.05	2.35	0.144	153.95	88.84	1.73	0.225
X4 Precios de Palma \$ Ton métrica	-4.91	1.79	-2.74	0.111	-3.88	2.30	-1.69	0.233

Nota: Comparación de los coeficientes obtenidos en la regresión lineal múltiple para el Modelo 2 (sin IDH) y para el Modelo 3 (sin Densidad Poblacional), generado a través de Microsoft Excel.

9. DISCUSIÓN

El cambio de uso del suelo es un proceso a nivel mundial que genera cambios constantes en la superficie terrestres en función de satisfacer necesidades humanas, que van desde la ampliación para nuevas áreas de cultivo, zonas de asentamientos humanos, áreas industriales, infraestructura vial; entre otras (Richters, 1995; Soria et al., 1998). A nivel de Guatemala el cambio de uso en el suelo especialmente en áreas de bosque continúa incrementándose, alcanzando una deforestación bruta de 132,137 hectáreas anuales para el periodo 2006-2010 (INAB, CONAP, UVG y URL; 2014). Para la zona del Polochic se han generado cambios en el uso del suelo producto de actividades agrícolas y pecuarias a pequeña, mediana y gran escala; como lo es el cultivo de palma africana.

En función de la importancia que ha generado el cultivo de la palma africana en la región y su impacto en el cambio de uso del suelo, a continuación, se presenta la discusión de resultados encontrados:

CAMBIO DEL USO DEL SUELO EN EL VALLE DEL POLOCHIC ASOCIADO AL CULTIVO DE PALMA AFRICANA

Para determinar el cambio del uso del suelo en el Valle del Polochic asociado al cultivo de palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq), se hizo necesario calcular el incremento en superficie de la plantación utilizando imágenes satelitales Landsat disponibles para la región (figura 9); utilizando el método de clasificación supervisada. Los resultados obtenidos indican, que es hasta el año 2003 donde se hace perceptible a través de la firma espectral el cultivo (figura 10); aunque existen registros que el área de plantaciones y viveros inició en los años 1996-1999 (Pérez, 2019; Alonso, *et al.* 2008 pág. 66).

Para el año 2003 hay una cobertura de 3,432 ha, alcanzando un total de 8,696 ha para el año 2017; lo cual muestra una tendencia creciente (figura 11 y 12); con una tasa de crecimiento promedio de 376 ha anuales en los 14 años (2003-2014) (tabla 3). Estos resultados coinciden con lo reportado por IARNA-URL (2012) donde indican que Guatemala presenta una tendencia muy marcada a la expansión del cultivo para el periodo 2003-2010.

En cuanto a las tasas de crecimiento de los periodos analizados (1975, 2000, 2003, 2005, 2010, 2015 y 2017) se pudo determinar que la de mayor crecimiento se reportan para el periodo 2005-2010 con 1,118 ha/periodo (en promedio 223.6 ha/año) y para el periodo 2010-2015 con una tasa de 3,321 ha/periodo (en promedio 664.2 ha/año); el periodo que menos cambio reporta es el 2015-2017 con una tasa anual promedio de 61.5 ha (tabla 3). La posibilidad de crecimiento en la zona está directamente relacionado al modelo de negocio del cultivo de palma en la zona que incluye arrendamiento con productores independientes, asociados y plantaciones propias (Naturaceites, 2019); lo que permite tener mayor acceso a tierras para el cultivo.

Las tasas de mayor crecimiento también coinciden con el aumento de precios a nivel internacional del aceite de palma que hubo para la década del 2000, producto de la demanda de materias primas por parte de las economías emergentes (Jenkins, 2011; Radetzky, 2006), el uso de palma de aceite como potencial para biodiesel (Hurtado, 2008); así como el interés de convertir al país en uno de los principales agroexportadores de aceite de palma (Solano, 2015).

Según lo reportado por la GREPALMA en su I Anuario Estadístico 2016-2017 la región del Polochic reporta 10,827.81 hectáreas distribuidas en los municipios de El Estor con 5,635.60 y Panzós con 5192.21; existe una diferencia de 2,131.81 hectáreas entre lo reportado por GREPALMA y lo encontrado en este estudio a través, del método de clasificación supervisada con imágenes Landsat y visitas de campo. Si bien las imágenes Landsat presentan una resolución media (30m) en cuanto a resolución espacial (Hurtado, 1999) para determinar detalles, si permite identificar la firma espectral que corresponde a un tipo de cobertura (Arango, Brach y Boterro; 2005); siendo para la palma africana un color marrón como se muestra en la figura 10; la mayor diferencia se encuentra en el municipio de Panzós con 1,265 ha, lo cual puede atribuirse a plantaciones muy jóvenes o que el reporte dado por GREPALMA corresponde a áreas que un futuro serán utilizadas para la producción de palma, ya que en la imagen satelital Landsat 8 sensor OLI 2017 no es posible determinar más áreas con cobertura de palma (Figura 13).

De la cobertura abarcada por la plantación de palma un 17% se encuentran dentro de áreas protegidas: 1,477 ha dentro de la zona de amortiguamiento de la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas y 0.2 ha en la zona primitiva del Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic (tabla 4 y figura 14). Según las recomendaciones emitidas por CONAP citada en el Plan Maestro 2010-2014 de la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas, los monocultivos extensivos como lo es la palma resultan en una amenaza potencial debido a la productividad y rentabilidad del cultivo, lo cual se ve reflejado en que polígonos de palma se encuentran dentro de las áreas protegidas (FDN; 2010).

Como parte complementaria se estableció la dinámica que ha sufrido el uso de la tierra en las áreas actualmente cultivadas con palma africana, los resultados indican que de 1975 para el 2003 (año que es perceptible el cultivo con 3,432 ha); 699.93 ha de bosque latifoliado y 596.61 ha de humedal con bosque fueron sustituidos por el cultivo de palma africana; es decir el 37% del área estaba provista de bosque, por lo que el 63% corresponde a pastos cultivados y naturales (figura 15); a la vez se realizó la comparación de 1975 con 2017 identificando que para 1975 (primera imagen satelital disponible) no se detecta ningún polígono con plantación y que el área total que para el año 2017 cuenta con palma estaba cubierto 17% con bosque latifoliado, 15% de humedal con bosque, 35% de pasto cultivado y 43% de pasto natural (figura 16).

Esta dinámica en el uso demuestra que en el valle del Polochic durante la época de 1975-2003 sufrió modificaciones debido a otras actividades agropecuarias (ganadería y cultivos como maíz) y de 2003 producto de la llegada de la palma los usos que en su mayoría han sufrido transformación son los dedicados a la ganadería y agricultura. Esta tendencia de cambio en el uso concuerda con lo reportado para el país en el año 2010, donde las actividades ganaderas y agrícolas (arbustales y pastizales) presentaron la mayor transformación a áreas de cultivo de palma (IARNA-URL, 2012).

Este cambio en la dinámica del uso del suelo en el Valle del Polochic según Mingorría (2010) provocó una serie de conflictos sociales y ambientales; los resultados indican que del año 2003 a 2017 el área que actualmente está ocupada creció en extensión durante 14 años en 691.07 ha en área de bosque latifoliado, 652.39 en bosque de humedal, 1,346.51 en áreas de

pasto cultivado y 2,376.7 ha en pasto natural; lo que demuestra que el crecimiento de los últimos años de la palma en la región, sigue la misma tendencia de crecer en zonas dedicadas a la ganadería y agricultura; ocupando tierras en su mayoría propiedad privada, que en algunos sectores eran utilizados para la producción campesina (Hurtado, 2008). Sin embargo, se estima que el país puede crecer y llegar hasta 2,077,701 hectáreas, sin interferir entre áreas destinadas al cultivo de alimentos y bosques (Zombora, Rossi y Hernández, 2014).

LINEA DE TIEMPO DE FACTORES SOCIAMBIENTALES

La construcción de la línea de tiempo considerando los factores socioambientales como la densidad poblacional, el índice de desarrollo humano (IDH), los casos de conflictividad agraria vinculados al cultivo y las fluctuaciones del precio de la tonelada métrica de aceite de palma en el mercado internacional; indican por ejemplo que la densidad poblacional ha ido en aumento y que durante el periodo de 1995-2017 creció de 35.75 hab/km² en 1995 a 81.1 hab/km² (tabla 5); lo que muestra una tendencia ascendente, comportamiento que responde a la tendencias a nivel de país según el INE (2015).

Este aumento en la población repercute en el comportamiento de la pobreza, que en la región del Polochic para el periodo 1994-2011 también mostró un aumento de 71.7% a 85.2% (SEGEPLAN, 2014). Según el Ing. Barrientos este aumento en la pobreza pudo haber sido mucho más dramático si no estuviera la oferta laboral que ofrecen las fincas con plantaciones de palma, especialmente para aquellas comunidades que carecen de parcelas para el desarrollo agrícola y pecuario (L. Barrientos, comunicación personal, 4 de diciembre 2018); lo cual coincide con lo reportado por FDN (2017), donde indica que las familias de la zona tienen una alta dependencia económica a la venta de mano de obra por concepto de jornalería en fincas de palma. Como lo indica el Banco Mundial la industria palmera es considerada a nivel mundial como un motor generador de empleo en regiones de pobreza aumentado los ingresos económicos en las familias (Banco Mundial, 2011).

Otro de los factores socioambientales considerados a relacionar en cuanto a la expansión de la palma es el índice de desarrollo humano (IDH), el cual fue incluido por considerar tres

aspectos fundamentales de desarrollo de la población: salud, educación y el acceso a recursos económicos para una mejor calidad de vida (PNUD, 2016). El IDH analizado corresponde a lo reportado a nivel de país ya que no fue posible el cálculo específico para la región por no existir registros de los 3 indicadores que componen el índice para la mayoría de años. Los resultados muestran que el IDH ha ido en aumento a través de los años (tabla 6); para la región se cuenta con datos generados a partir de los censos 1994 y 2002; los cuales reportan que para 1994 el IDH promedio del Valle del Polochic fue de 0.43 y para el 2002 de 0.44, sin embargo; aunque el índice ha ido en aumento este siempre estuvo muy por debajo de lo reportado a nivel de país (SEGEPLAN, 2014).

Otra variable considerada en el análisis es la fluctuación de los precios de aceite de palma por tonelada métrica a nivel mundial, identificando que los mejores años son 2007, 2010, 2011 y 2013 mientras que el año 2001 reporta el menor precio (tabla 7, figura 17); los años con los precios más altos coinciden a su vez con los periodos de mayor expansión de áreas de cultivo. Esto concuerda con lo reportado por Fry (2016); los precios altos motivan a la siembra, aunque el mismo autor refiere que las tendencias indican que hay periodos que, aunque los precios estén bajos hay aumento en la siembra.

En cuanto a los casos de conflictividad agraria se tienen reportes que desde el año 2005 hay conflictos con comunidades vinculadas a la expansión de palma africana en el territorio, hay identificados 16: de los cuales 11 son por disputa de derecho por falta de definición y establecimiento de derechos (5 por sobreposición de polígonos y 6 por diferencia en límites) y 5 por ocupación (que aducen estar en un proceso de recuperación del territorio de los pueblos indígenas en áreas de reserva territorial del estado o en fincas privadas) (tabla 8). Esto ha generado mayor conflictividad, donde las comunidades han realizado acciones de hecho (retención de empleados, corte de palma, cierre de paso en carreteras); estos casos han tratado de ser resueltos a nivel de mesas de dialogo municipal, departamento y nacional, logrando a la fecha resolver 5 de ellos (tabla 8) (FDN, 2015; Hurtado, 2017; FGT, 2015; Mingorría, 2017; Alonso, *et al.* 2008; Quiñonez, I. comunicación personal, 29 de enero 2019).

Como complemento se realizaron entrevistas que detallan relatos en cuanto a la percepción ante la expansión del cultivo en la región de los que destacan: la preocupación en cuanto a la reducción de espacios para el desarrollo agrícola de pequeños productores, que no exista un control en cuanto al uso del agua por ser un cultivo a gran escala, el impacto ocasionado a la biodiversidad debido a la reducción del bosque causando fragmentación y aislamiento de remanentes boscosos, desplazamiento de especies, la afectación al régimen hídrico de la cuenca, el uso de los bienes naturales sin conciencia sobre su valor y costo económico; así como el aumento de la conflictividad ambiental.

Por lo que es evidente que existe una preocupación generalizada ante la expansión del cultivo de palma en la región. Esta preocupación no solo ocurre a nivel de la región del Valle del Polochic, es más bien una preocupación mundial tal como lo indica el Banco Mundial (2017); que las plantaciones de palma africana han sido criticadas a nivel mundial por los impactos adversos sobre los pueblos indígenas y el ambiente, cuando los incentivos económicos por crecer superan el marco de la gobernabilidad y la capacidad de desarrollar nuevas plantaciones donde se minimicen los impactos.

RELACIÓN EXISTENTE ENTRE EL COMPORTAMIENTO DE LA COBERTURA DE PALMA AFRICANA CON FACTORES

Con toda la información recopilada (tabla 9) de los factores socioambientales (densidad poblacional, IDH, conflictividad agraria), fluctuación de precios del aceite, las tasas de crecimiento por periodo de la extensión del cultivo de palma y la cobertura de palma, se realizó un análisis de regresión lineal múltiple para comprobar la hipótesis planteada “El cambio del uso del suelo asociado al cultivo de Palma Africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el Valle del Polochic durante el periodo 1995-2017 tiene relación con factores socioambientales (densidad poblacional, índice de desarrollo humano, conflictividad agraria), factores económicos internacionales (fluctuación de precios a nivel mundial de la palma africana) y tasas de cambio en las clases de cobertura en la zona”.

Como primer punto se determinó a través de una matriz de correlación de Pearson y la regresión simple entre las posibles combinaciones de las variables los valores críticos de F

para evaluar el comportamiento lineal de las variables (figura 18) y la relación entre cada variable (tabla 10). Los resultados indican que la *variable tasa de crecimiento de la cobertura de la palma por periodo en ha* no se correlaciona con ninguna variable y no responde a un modelo lineal, ya que los valores de R^2 son bajos (menores a 0.8) y los valores de p son mayores a 0.05 (tabla 10), por lo que fue eliminada del modelo; mientras que las variables que muestran mayor relación y auto-relación son: el índice de desarrollo humano (IDH), la densidad poblacional y la cobertura de palma africana (tabla 10) con valores de $R^2 > 0.8$ y $p\text{-value} < 0.05$.

En función de lo anterior se re define la variable dependiente Y como la variable: cobertura de palma africana y se definen tres modelos para correr el análisis de regresión lineal múltiple: Modelo 1 (completo) donde Y es Cobertura de palma y X: IDH, Densidad Poblacional, Conflictividad agraria y Precios de Palma \$ Ton métrica; Modelo 2 sin IDH donde Y es Cobertura de palma y X: Densidad Poblacional, Conflictividad agraria y Precios de Palma \$ Ton métrica y Modelo 3 sin Densidad Poblacional donde Y sigue siendo Cobertura de palma y X: IDH, Conflictividad agraria y Precios de Palma \$ Ton métrica.

Los 3 modelos presentan un índice de determinación alto (tabla 11): modelo 1 (R^2 0.993), modelo 2 (-IDH) (R^2 0.992) y modelo 3 (-Densidad poblacional (R^2 0.987)); sin embargo, los valores p para el modelo 1 son mayores a 0.05, lo que implica que la correlación no es significativa (tabla 11). Esto implica que los modelos 2 y 3 son lo que mejor se correlacionan, comparando los resultados entre los estos dos modelos, se determinó que el modelo 2 es el que posee los menores valores de p para las 4 variables evaluadas, por lo que el modelo 2 parece ser el mejor, es decir que a medida que crecen o decrecen las variables (densidad

poblacional, conflictividad agraria y precios de palma \$ Ton métrica) hay un cambio en la cobertura de palma africana y por ende en la dinámica del uso del suelo en el paisaje del Polochic; por lo tanto la hipótesis planteada se acepta y el modelo que mejor explica estos cambios es el Modelo 2.

10. CONCLUSIONES

La superficie del territorio del Valle del Polochic cubierta por palma africana para el año 2017 se estimó en 8,996 hectáreas distribuidas en 3,927 hectáreas en el municipio de Panzós Alta Verapaz, 4,749 hectáreas en el municipio de El Estor y 20 hectáreas en el municipio de Los Amates en el departamento de Izabal.

Los datos obtenidos muestran una tendencia muy marcada al crecimiento durante el periodo 1995-2017, con un aumento del 153% en todo el valle.

El periodo de mayor expansión de superficie de palma africana en el Valle del Polochic se dio del año 2010 al 2015 aumentando 3,321 hectáreas (664.2 ha/año), este aumento coincide con el periodo que marca los mejores precios del aceite de palma por tonelada métrica a nivel internacional.

La superficie cubierta por palma africana cuando inició el proyecto en el Valle del Polochic estaba distribuida en: 699.93 hectáreas de bosque latifoliado, 596.61 hectáreas de humedal con bosque, 715.49 hectáreas de pasto cultivado y 1,420.30 hectáreas con pasto natural.

Un 17% de la palma africana se encuentra dentro de áreas protegidas (1,477 ha en la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas y 0.2 ha en el Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic).

La tendencia de transformación del uso del suelo en el Valle del Polochic hasta el año 2017, se ha dado en su mayoría (68%) en áreas que estaban destinadas a la agricultura y ganadería; mientras que 17% correspondían a bosque latifoliado y 15% a humedal con bosque.

El índice de desarrollo humano en la región (IDH) basado en los índices de salud, educación y acceso a recursos económicos para una mejor calidad de vida; a pesar de mostrar una tendencia al incremento de 1995 a 2017, se encuentra por debajo del índice a nivel nacional.

La densidad poblacional para el Valle del Polochic ha ido en constante aumento con 35.75 hab/km² para 1995 llegando a 2017 a 81.1 hab/km² creciendo en un 57% en 22 años.

Los precios internacionales del aceite de palma africana durante el periodo 1995-2017 han sido erráticos; siendo los años 2007, 2010, 2011 y 2013 los que presentan los mejores precios y el año 2001 los precios más bajos en la historia.

La conflictividad agraria en la zona es un factor determinante en la expansión del cultivo de palma, ya que a mayor expansión se registra un aumento en los casos de conflictividad y a mayor conflictividad disminuye el incentivo de crecer en áreas de cultivo.

Según los valores de correlación de Pearson y los valores críticos de F (p-value) obtenidos la **variable tasa de crecimiento de la cobertura de la palma por periodo en ha** no se correlaciona con ninguna variable, pues presenta valores de R^2 bajos (<0.8) y valores de p altos (>0.05).

Las variables Índice de desarrollo humano (IDH) y Densidad poblacional muestran una autocorrelación.

Se definieron tres modelos predictores: Modelo 1 (todas las variables); modelo 2 (sin la variable IDH) y modelo 3 (sin la variable densidad poblacional), de los cuales los 3 muestran un índice de determinación alto, pero el modelo 1 no es significativo ($p < 0.05$).

El modelo 2 (sin la variable IDH) es el que mejor se ajusta y muestra una correlación significativa, por lo tanto, a medida que las variables (densidad poblacional, conflictividad agraria y precios de palma \$ Ton métrica) crecen o decrecen hay un cambio en la variable cobertura de palma africana y por consecuencia en la dinámica del uso del suelo en el Polochic.

El cambio del uso del suelo asociado al cultivo de Palma Africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el Valle del Polochic durante el periodo 1995-2017 tiene una correlación significativa con los factores: densidad poblacional, índice de desarrollo humano, conflictividad agraria y la fluctuación de precios a nivel mundial de la palma africana.

11. RECOMENDACIONES

Para complementar el análisis de qué factores son determinantes en la expansión del cultivo en el Valle del Polochic sería de gran utilidad ampliar e incluir variables biofísicas y tenencia de la tierra de la zona.

Determinar el tipo de posesión (arrendamiento, usufructo, propiedad privada, otro) en el que se encuentra actualmente la superficie cubierta por palma africana en el Valle del Polochic.

Contabilizar dentro de las áreas protegidas que se encuentran a nivel del Valle del Polochic y en qué zona de manejo se ha dado la pérdida de cobertura forestal, por el cambio de uso del suelo provocado por la expansión de la palma africana en el territorio.

Complementar el análisis identificando áreas de reforestación implementadas por la empresa palmera en el Valle del Polochic y determinar si hay compensación de áreas que sufrieron deforestación por implementación del cultivo con nuevas áreas de reforestación. Identificando si son reforestaciones mixtas (nativas o no) y monoplantaciones.

12. REFERENCIAS

- Alonso. (2006). *www.um.es*. Recuperado el 25 de 01 de 2018, de <http://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node71.html>
- Alonso, A., Alonzo, F., y Dürr, J. (2008). *Caña de azúcar y palma africana: combustibles para un nuevo ciclo de acumulación y dominio en Guatemala*. Instituto de Estudios Agrarios y Rurales (IDEAR), Coordinación de ONG y Cooperativas (CONGCOOP), Guatemala. Recuperado el 2017 de marzo de 8, de www.congcoop.org.gt
- Alonso, A., Caal, J., y Chinchilla, T. (2011). *Plantaciones agroindustriales, dominación y despojo indígena-campesino en la Guaemala del s. XXI*. Instituto de Estudios Agrarios y Rurales Coordinación de ONG y Cooperativas, Guatemala.
- AMASURLI, FDN y TNC (Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Izabal y Río Dulce, Fundación Defensores de la Naturaleza y The Nature Conservancy). (2006). *Agenda de Conservación de la Cuenca del Lago de Izabal Río Dulce*. PROARCA-TNC-FDN-JADE, Guatemala.
- Arango, M., Branch, J., y Botero, V. (2005). Clasificación no supervisada de coberturas vegetales sobre imágenes digitales de sensores remotos: "LANDSAT-ETM+". *Fac. Nal. Agr.*, 58(1), 2611-2634. Recuperado el 26 de 01 de 2018, de www.bdigital.unal.edu.com
- ArcGis. (2017). <http://desktop.arcgis.com>. Recuperado el junio de 12 de 2017, de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmapi/>
- ATCG (Grupo de tecnologías avanzadas en computación). (14 de abril de 2008). Clasificación supervisada y no supervisada. Loxa, Ecuador. Recuperado el 2017 de marzo de 15, de <https://advancedtech.wordpress.com/2008/04/14/clasificacion-supervisada-y-no-supervisada/>
- Avendaño, C., Avendaño, C., Carías, A., García, M., Cajas, M., De León, K., y Garnica, R. (2005). *Dinámica del Uso de la Tierra y la Conservación de los Recursos Naturales en la Región Lachuá*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología -SENACYT- Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología -FONACYT-, Programa de Investigación y Monitoreo de la Región Lachuá (PIMEL). Componente de Vegetación. .
- Baeza, S., Paruelo, J. M., y Altesor, A. (2006). Caracterización funcional de la vegetación del Uruguay mediante el uso de sensores rometos. *Interciencia*, 31 (382-388). Recuperado el 20 de agosto de 2017, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33911612>
- Banco Mundial. (2011). *The World Bank Group Framework and IFC Strategy for Engagement in the Palm Oil Sector*.

- Banco Mundial. (2017). <https://datos.bancomundial.org/>. Recuperado el agosto de 3 de 2017, de [http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=global-economic-monitor-\(gem\)-commodities](http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=global-economic-monitor-(gem)-commodities)
- CABI (Central American Business Intelligence). (s.f.). *Impactos Socioeconómicos del cultivo de palma de aceite en Guatemala*. Recuperado el dos de noviembre de 2017, de <http://grupohome.com/wp-content/uploads/2017/02/Estudio-PALMA-CABI-Guatemala.pdf>
- CAMINOS. (s/f). Distancia por Departamento de la República de Guatemala. Guatemala. Recuperado el 27 de 01 de 2018, de sitios.usac.edu.gt
- Capote, R. (2016). *Análisis multitemporal por medio de clasificación supervisada de imágenes landsat del Parque entre nieves de la ciudad de Bogotá para identificar corredores ecológicos (informe de especialización)*. Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería, Especialización en Geomatica, Nueva Granada. Recuperado el junio de 8 de 2017, de http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/14856/1/CAPOTEMOSQUERA_RICHARDMAURICIO2016.pdf
- CIESAS (Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social). (2018). ¿Que es un SIG? Oaxaca, México. Recuperado el 22 de 01 de 2018, de <https://langleruben.wordpress.com>
- Cogliati, M. (2017). Estudio preliminar de las áreas de vegetación nativa en el norte de la provincia de Neuquén a través de la aplicación de teledetección. *IX Congreso Argentino de Tecnología Espacial*, (págs. 1-8). Córdoba, Argentina.
- Dammert, J. (2014). *Cambio de uso de suelos por agricultura a gran escala en la Amazonía Andina: El Caso de la Palma Aceitera*. Unidad de apoyo de ICAA/IRG-Engility, Lima, Perú.
- De la Cruz, J., y Muñoz, G. (2016). *Análisis Multitemporal de la cobertura vegetal y cambio de uso del suelo del área de influencia del programa de reforestación de la Federación Nacional de Cafetaleros en el Municipio Popayán, Cauca*. Trabajo de Grado, Universidad de Manizales, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Especialización en Sistemas de Información Geográfica, Manizales.
- ESRI. (2014). Cómo representa y modela SIG la información geográfica. Recuperado el 23 de 01 de 2018, de resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000r000000.htm
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division). (8 de marzo de 2017). <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Obtenido de Portal de estadística de la FAO: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/S>

- FDN (Fundación Defensores de la Naturaleza). (2003). *II Plan Maestro 2003-2007 Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic*. Guatemala.
- FDN. (2006). *Actualización Ficha RAMSAR, Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic*. Guatemala.
- FDN. (2010). *IV Actualización Plan Maestro 2010-2014: Reserva de Biosfera Sierra de las Minas*. Guatemala.
- FDN. (2001). *Agenda de Conservación de la Cuenca del Río del Polochic*. Guatemala.
- FDN. (2015). *Diagnóstico de la Conflictividad Agraria en el municipio de El Estor, departamento de Izabal. Reserva de Biosfera Sierra de las Minas*. Guatemala.
- Fernández, C., González, M., Gómez, A., y Gómez, I. (2011). *Introducción a la teledetección con ERDAS Imagine*. CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas), CCHS (Unidad SIG, Centro de Ciencias Humanas y Sociales), Madrid.
- FGT (Fundación Guillermo Toriello). (13 de mayo de 2015). www.fgtoriello.org.gt. Obtenido de www.fgtoriello.org.gt/declaracion-ante-los-hechos-ocurridos-en-pataxte-el-estor/
- Fry, L. (2016). Perspectivas sobre mercados y precios del aceite de palma. *Palmas 37 (Especial Tomo I)*, 93-98.
- Gamboa, G., y Mingorría, S. (enero de 2010). Políticas de desarrollo rural y relaciones de dependencia en hogares y comunidades campesinas Q'eqchi' del Valle del Polochic. *ResearchGate*, 2-24. Recuperado el 8 de junio de 2017, de publication at: <https://www.researchgate.net/publication/268684167>
- GREPALMA (Gremial de Palmicultores de Guatemala). (2016). <http://www.grepalma.org/>. Recuperado el junio de 6 de 2017, de <http://www.grepalma.org/palmicultura-en-guatemala?o=4>
- Hernández, J., y Montaner, D. (2009). *Patrones de respuesta espectral*. Lab. Geomática y Ecología del Paisaje (GEP) – Facultad de Ciencias Forestales Universidad de Chile . Recuperado el 4 de junio de 2017, de <http://www.gep.uchile.cl/Publicaciones/Hern%C3%A1ndez%20y%20Montaner%202009%20SAF.pdf>
- Hurtado, L. (2008). *Las plantaciones para agrocombustibles y la pérdida de tierras para la producción de alimentos en Guatemala*. Actionaid, Guatemala. Recuperado el 5 de junio de 2017, de http://www.actionaid.org/sites/files/actionaid/plantaciones_para_agrocombustibles_y_la_perdida_de_tierras_2008.pdf

- Hurtado, L. (Abril de 2017). Dos nuevas injusticias clavadas en corazón del Valle del Polochic. *Prensa Comunitaria*.
- IARNA, IICA (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). (2015). *Perfil del Agro y la Ruralidad de Guatemala: Situación Actual y Tendencias*. Guatemala: Cara Parens.
- IARNA-URL (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Universidad Rafael Landívar). (2012). Análisis de la dinámica de expansión del cultivo de la palma africana en Guatemala: un enfoque cartográfico. En IARNA-URL, *Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012 Vulnerabilidad Local y creciente construcción del riesgo* (pág. 440). Guatemala.
- INAB, CONAP, UVG Y URL (Instituto Nacional de Bosques, Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Universidad del Valle de Guatemala y Universidad Rafael Landívar). (2014). *Mapa de Cobertura Forestal de Guatemala 2010 y Dinámica de la Cobertura Forestal 2006-2010*. Guatemala.
- INE (Instituto Nacional de Estadística). (2015). *República de Guatemala: Estadísticas demográficas y vitales 2014*. Guatemala.
- INE. (2014). *República de Guatemala: Encuesta Nacional Agropecuaria 2014*. Guatemala.
- INE. (2015). *República de Guatemala: Encuesta Nacional Agropecuaria 2014*. Guatemala.
- INE. (1994). *X Censo de población y V de habitación*. Guatemala.
- INE. (2003). *Censos Nacionales XI de Población y VI de Habitación 2002. Características de la Población y de los locales de habitación censados*. Guatemala.
- INE. (2008). *Guatemala: Estimaciones de la Población total por municipio. Periodo 2008-2020*. Guatemala.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (5 de marzo de 2017). *Aspectos Técnicos de las Imágenes Landsat*. Obtenido de [inegi.org.mx: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/doc/aspectos_tecnicos_de_imagenes_landsat.pdf](http://www.inegi.org.mx: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/doc/aspectos_tecnicos_de_imagenes_landsat.pdf)
- IUF (International Union of Food, Agricultural, Hotel, Restaurant, Catering, Tobacco and Allied Workers' Associations) . (2015). *Conferencia Mundial del sector Palma Africana. Documento Informativo Un panorama sobre el sector Palma Africana: Por países y por compañía*. Informativo, Colombia. Recuperado el 7 de marzo de 2017, de <http://www.iuf.org/w/sites/default/files/Palma%20africana%20-%20Documento%20informativo.pdf>
- Jenkins, R. (2011). The "China effect" on commodity prices and Latin American export earnings. *CEPAL Review*, 103, 43-44.

- Lang, R., Shao, G., Pijanowski, B. C., y Farnsworth, R. L. (2008). Optimizing unsupervised classifications of remotely sensed imagery with a data-assisted labeling approach. *Computer y Geosciences*, 9. Recuperado el 24 de agosto de 2017
- Mendenhall, W., Beaver, R., y Beaver, B. (2010). *Introducción a la probabilidad y estadística* (Vol. Decima tercera edición). (J. H. Muñoz, Trad.) D.F., México: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.
- Mingorance, F., Minelli, F., y Le Du, H. (2004). *El cultivo de Palma Africana en el Chocó; Legalidad Ambiental, Territorial y Derechos Humanos*. Human Rights Everywhere (HREV), Colombia. Obtenido de <http://www.hr-everywhere.org>
- Mingorría, S., y Gamboa, G. (2010). *Metabolismo socio-ecológico de comunidades campesinas Q'eqchi' y la expansión de la agro-industria de caña de azúcar y palma africana: Valle del Río Polochic, Guatemala*. Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental (UAB), Instituto de Estudios Agrarios y Rurales CONGCOOP. Guatemala: Magna Terra.
- Mingorría, S., Gamboa, G., y Martín-López, B. (2014). The oil palm boom: socio-economic implications for Q'eqchi' households in the Polochic valley, Guatemala. *Environment, Development and Sustainability*, 16:841-871. Recuperado el junio de 4 de 2017, de http://www.proyectonisal.org/dmdocuments/Gamboa_et_al_The_oil_palm_boom.pdf
- Morales-Hernández, J., Carrillo-González, F., y Farfán-Molina, L. (2016). Cambio de la cobertura vegetal en la región de Bahía de Banderas, México. *Caldasia*, 38(1), 17-29. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v38n1/v38n1a2.pdf>
- Ordonez, A., y Serna, J. (2015). *Análisis superficial y multitemporal de imágenes LANDSAT 7 ETM+ y LANDSAT 8 OLI TIRS en el Proyecto Carbonífero La Luna entre los años 2001 y 2015*. Tesis de Especialista en Información Geográfica, Universidad de Manizales, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Manizales.
- Ortiz-García, C., Díaz-Padilla, G., Palma-López, D., Ortiz-Solorio, C., y Ramos-Reyes, R. (julio-septiembre de 2004). Cambios de uso de suelo mediante técnicas de sistemas de información geográfica en una región cacaotera. *Terra Latinoamericana*, 22(3), 267-278. Recuperado el 8 de marzo de 2017, de <http://www.redalyc.org:9081/articulo.oa?id=57322303>
- Quezada, M. L., Arroyo-Rodríguez, E., Pérez-Silva, E., y T, M. A. (junio de 2013). Land cover changes in the Lachuá region, Guatemala: patterns, proximate causes, and underlying driving forces over the last 50 years. *Regional Environmental Change*, 14, 1139–1149 . doi:<https://doi.org/10.1007/s10113->
- Quezada, M., Méndez, C., López, E., Dávila, V., y Garnica, R. (2008). *Análisis espacial de la Dinámica Vegetal para el Monitoreo de la Vegetación en el Ecorregión Lachuá*,

Cobán, Alta Verapaz. Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Escuela de Biología, Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas –IIQB-. Programa de Investigación y Monitoreo de la Ecorregión Lac, Guatemala.

- Radetzky, M. (2006). The anatomy of three commodity booms. *Resources Policy*, 31(1), 56-64.
- REPSA (Reforestadora de Palmas del Petén S.A.). (2017). <http://repsa.com.gt/>. Recuperado el junio de 8 de 2017, de <http://repsa.com.gt/historia-de-la-palma-de-aceite-en-guatemala/>
- Rojo, J. (2007). Regresión Lineal Múltiple. Madrid, España.
- Ronquillo, M. (2012). *Etiología de la pudrición del cogollo de la palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) en el Ecuador (Tesis de Maestría)*. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, Mayagüez.
- SEGEPLAN (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencial). (2014). *Diagnóstico Territorial de la Sub-región del Polochic*. Guatemala.
- Solano, L. (15 de julio de 2015). Palma africana y empresas se expanden aceleradamente a lo largo de la FTN. *Enfoque*, 7(36), 1-23.
- Sosa, M., y Camey, L. (enero-julio de 2015). Guatemala: del despojo y la gestación de alternativa. *GeoNordeste*(1), 328-343. Recuperado el junio de 5 de 2017, de <https://seer.ufs.br/index.php/geonordeste/article/view/4472>
- TELEDET. (2018). www.teledt.com. Recuperado el 25 de 01 de 2018, de www.teledet.com.uy/tutorial-imagines-satelitales/clasificacion
- Torres, L. (2015). *SIG aplicado a la zonificación por amenaza de inundación en la cuenca del río Polochic, Alta Verapaz, Guatemala*. Tesis de Maestría, Universidad San Francisco de Quito -USFQ-, Colegio de Posgrados, Guatemala.
- Universidad de Jaén. (2006). Clasificación. Recuperado el 25 de 01 de 2018, de www.ujaen.es
- USGS Earth Explorer. (s.f.). <https://earthexplorer.usgs.gov>. Recuperado el enero de 12 de 2018, de <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Villar, L. (1993). *Evaluación ecológica rápida de la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas*. Centro de Datos para la Conservación (CDC). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Villeda, B. (1983). *Caracterización del agroecosistema palma africana (Elaeis guineensis) (Jacq) en el Valle del Polochic*. (Tesis de Pregrado), Universidad de San Carlos de

Guatemala, Guatemala. Recuperado el 4 de Noviembre de 2017, de <http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-00655.pdf>

Zambrano, G., Rossi, C., y José, H. (2014). Estudio sobre el balance en el uso de la tierra para alimentos y el uso de la tierra para biocombustibles. *Revista 27 de la Universidad del Valle de Guatemala*, 27, 68-74. Recuperado el 3 de noviembre de 2017, de <http://www.uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/numero-27/REV%20Art%207%20estudio%20sobre%20el%20.pdf>

13. ANEXOS

13.1. Anexo 1 Mapas Cultivo de palma africana en el Valle del Polochic

13.1.1. Cultivo de palma año 2003

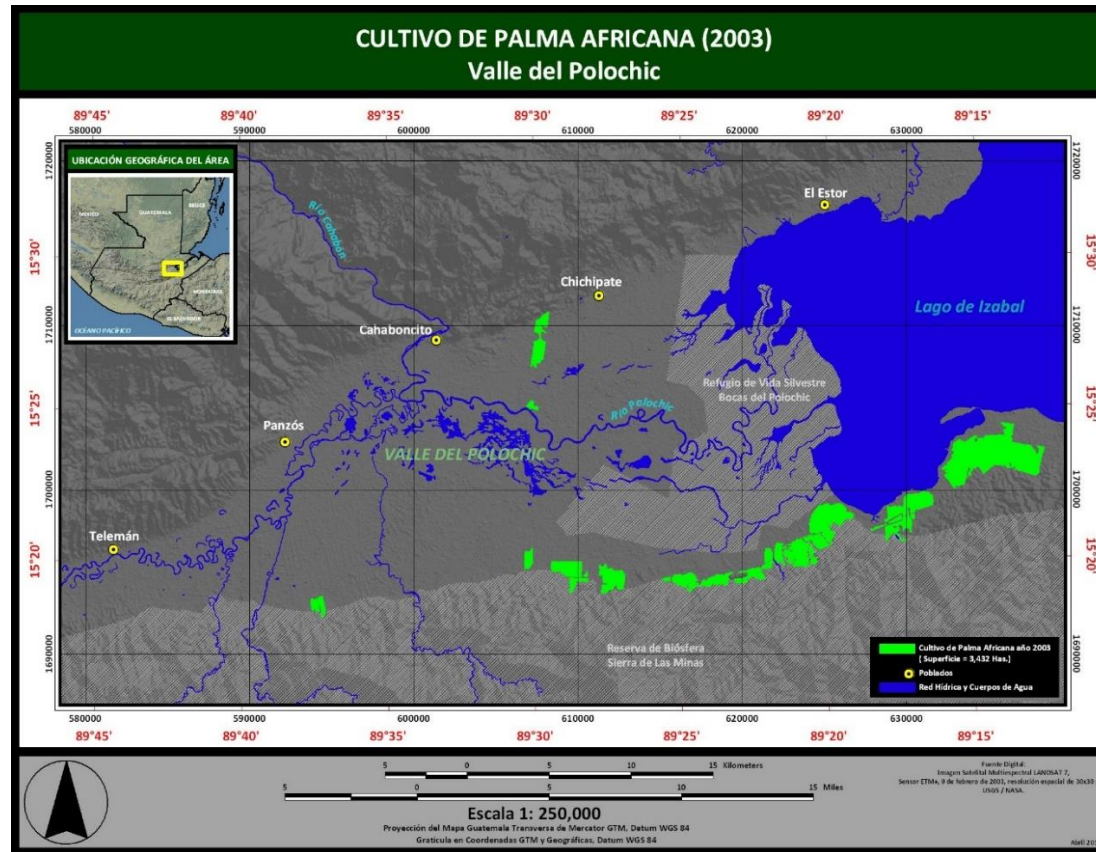


Figura 19 Cobertura de palma africana en el año 2003. Elaboración propia con Imagen Satelital Multiespectral LANDSAT 7, Sensor ETM (9-02-2003), resolución espacial de 30 x 30 m USGS/NASA.

13.1.2. Cultivo de palma año 2005

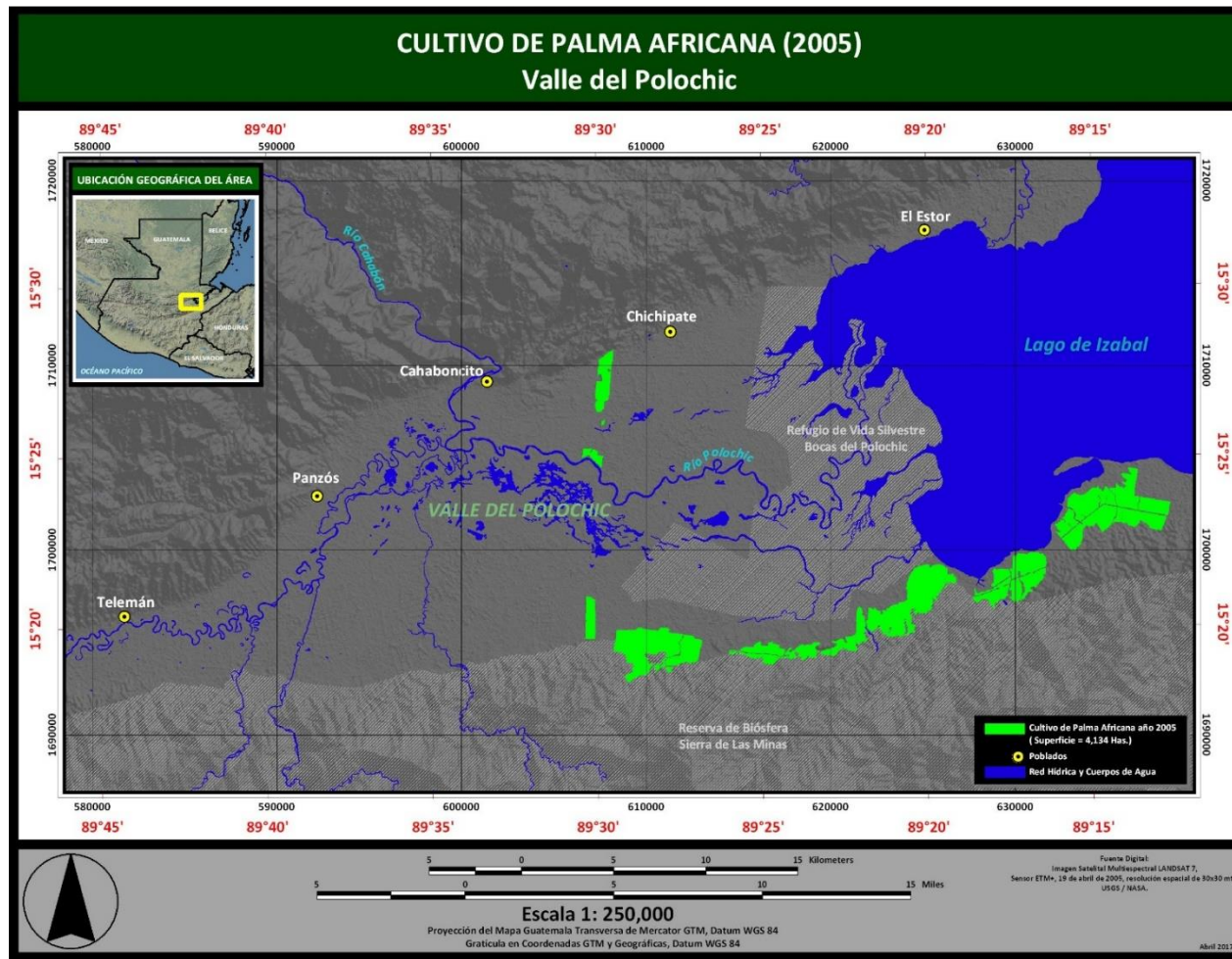


Figura 20 Cobertura de palma africana en el año 2005. Elaboración propia con Imagen Satelital Multiespectral LANDSAT 7, Sensor ETM (19-04-2005), resolución especial de 30 x 30 m USGS/NASA.

13.1.3. Cultivo de palma año 2010

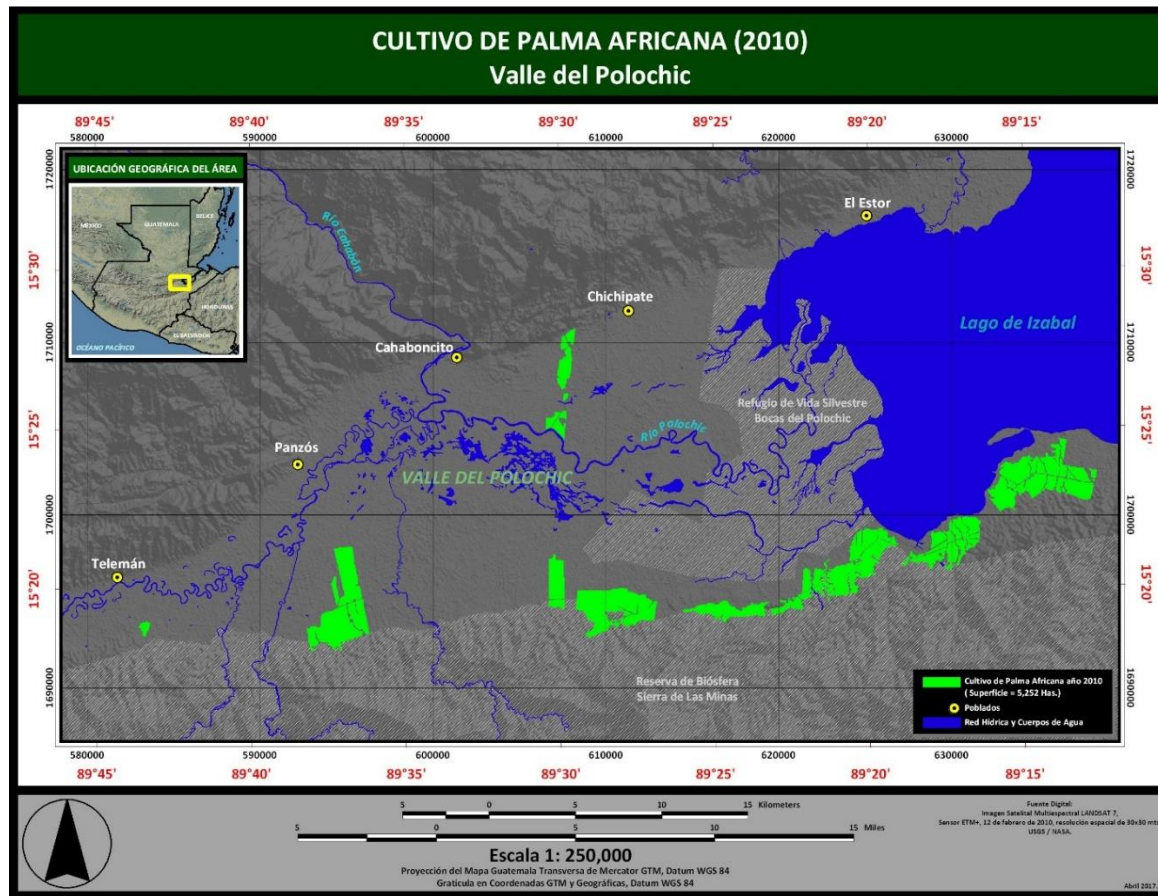


Figura 21 Cobertura de palma africana en el año 2010. Elaboración propia con Imagen Satelital Multiespectral LANDSAT 7, Sensor ETM (12-02-2010), resolución espacial de 30 x 30 m USGS/NASA.

13.1.4. Cultivo de palma año 2015

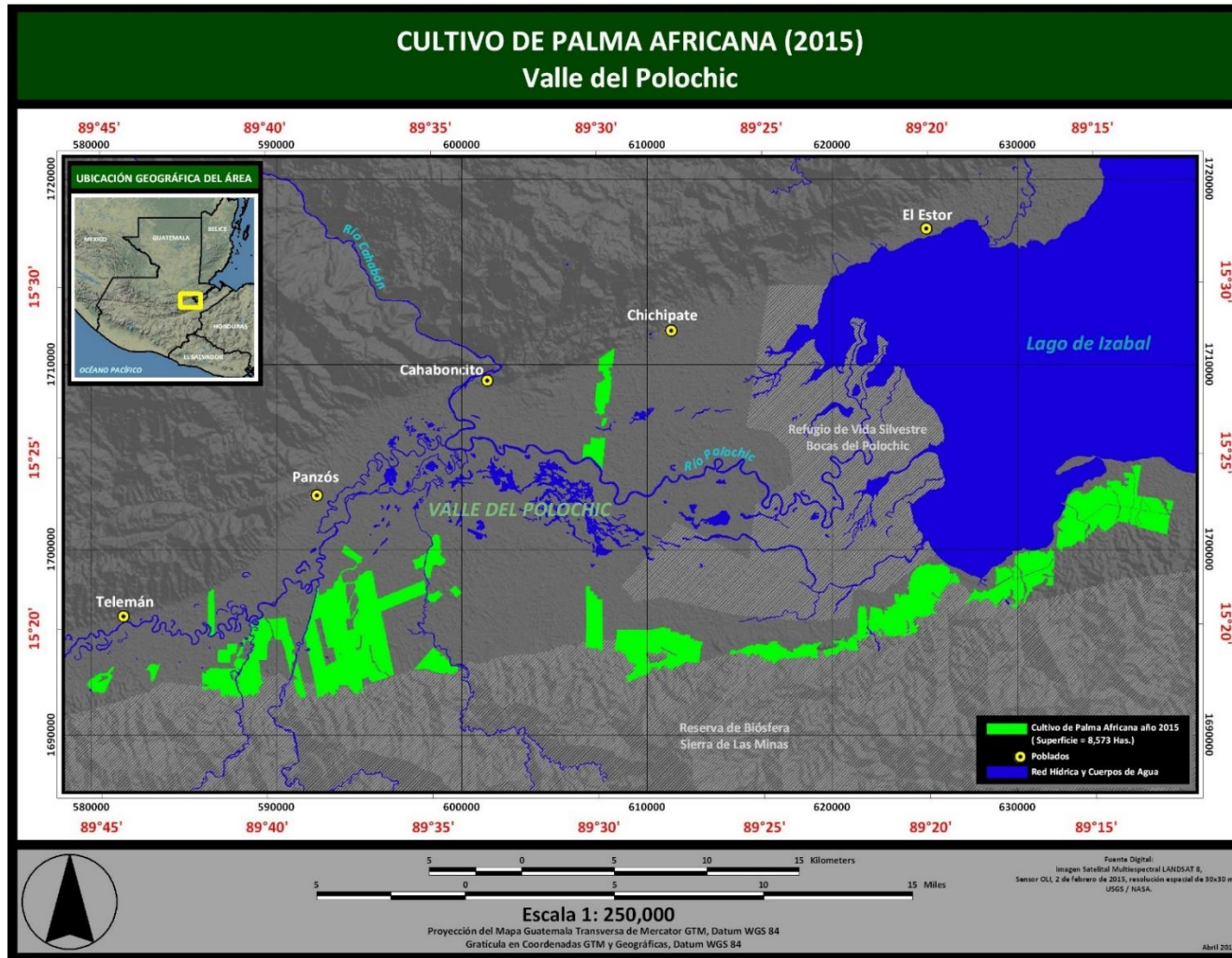


Figura 22 Cobertura de palma africana en el año 2015. Elaboración propia con Imagen Satelital Multiespectral LANDSAT 7, Sensor ETM (2-02-2015), resolución espacial de 30 x 30 m USGS/NASA.

13.1.5. Cultivo de palma año 2017

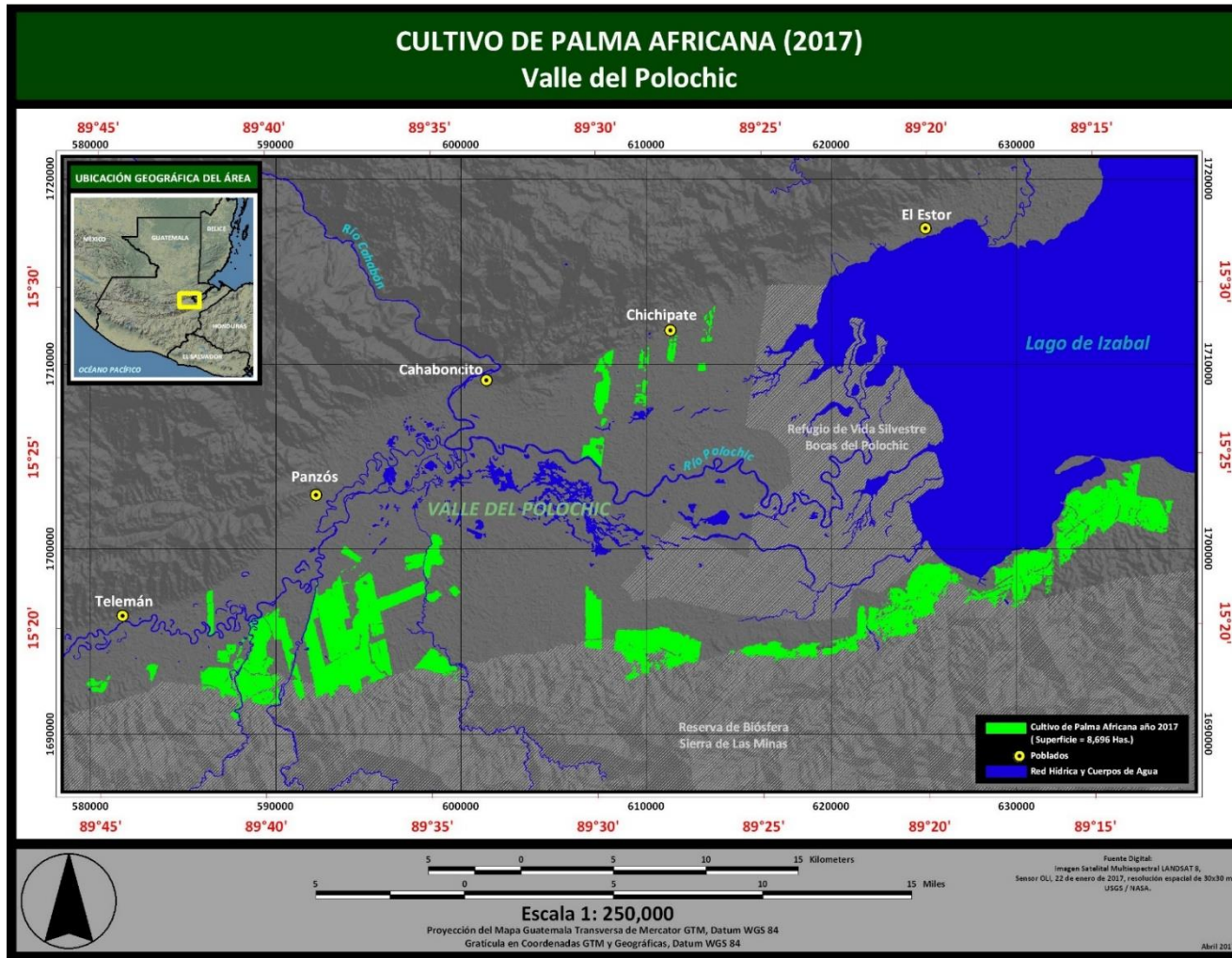


Figura 23 Cobertura de palma africana en el año 2017. Elaboración propia con Imagen Satelital Multiespectral LANDSAT 7, Sensor ETM (22-01-2017), resolución espacial de 30 x 30 m USGS/NASA.

13.1.6. Dinámica del cultivo de palma 2003-2017

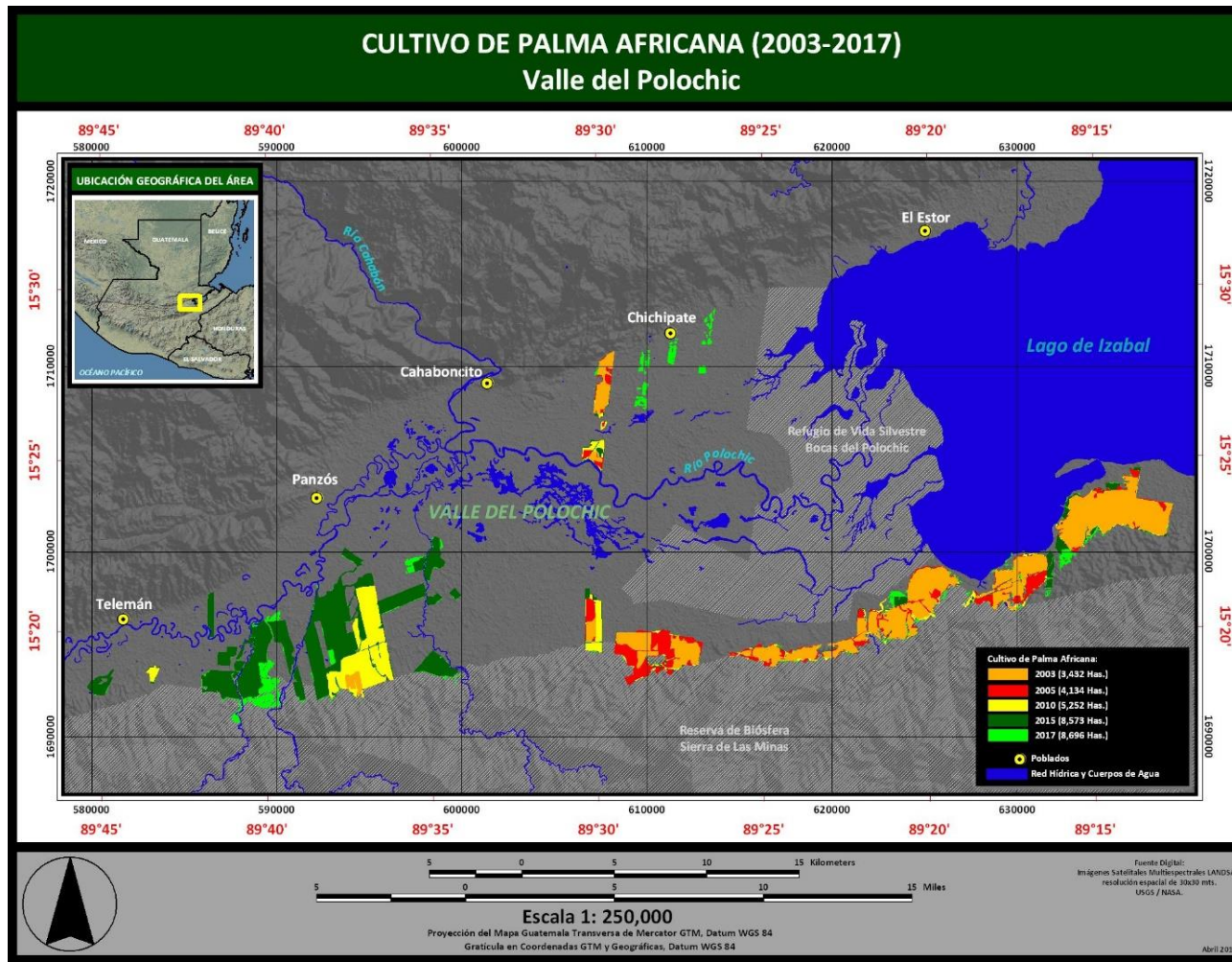


Figura 24 Dinámica de la cobertura de palma africana en el año 2003-2017. Elaboración propia con Imágenes Satelital Multiespectrales LANDSAT 7, resolución espacial de 30 x 30 m USGS/NASA.

13.2. Anexo 2 Entrevista Semiestructurada

1. ¿Cuál es su percepción ante la expansión de los cultivos a gran escala en la Región del Polochic?
2. ¿Cree usted que el cultivo de palma africana en la región del Polochic es causante de conflictos agrarios diferentes a los existentes antes de la llegada del cultivo?
3. ¿Usted que conoce la región del Polochic cuáles cree que pueden ser las ventajas que genera para la población el cultivo de palma africana?
4. ¿El cultivo de palma africana ha generado cambios drásticos en el paisaje de la región? ¿Por qué?
5. ¿Cuál puede ser el mayor conflicto que genera en la Región del Polochic producto de la expansión del cultivo de palma africana?
 - a. Ambiental
 - b. Social
 - c. Agrario
 - d. Los 3 anteriores
 - e. Otro (especifique)

Heidy Amely García de la Vega
Tesisista

Sara Michelle Catalan Armas MSc.
Asesor

Pedro Daniel Pardo Villegas MSc.
Revisor

Sergio Alejandro Melgar Valladares, PhD.
Director

M.A. Pablo Ernesto Oliva Soto
Decano