

**ESTIMACIÓN DE CONFLICTOS DE USO DE LA TIERRA POR
DINÁMICA DE CULTIVOS DE PALMA AFRICANA, USANDO
SENSORES REMOTOS. CASO: DEPARTAMENTO DEL CESAR**

ANGIE LÓPEZ DUQUE
Ingeniera Forestal

Trabajo de Grado para optar al título de Magíster en Medio Ambiente y Desarrollo

Directora
Verónica Botero Fernández
Ingeniera Civil, MSc. PhD.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE MINAS
ESCUELA DE GEOCIENCIAS Y MEDIO AMBIENTE
MEDELLÍN
2010

AGRADECIMIENTOS

Primero agradezco a Dios por traerme a este lugar y tiempo la oportunidad de la culminación de un posgrado y con él un rumbo hacia la investigación.

Por sus valiosos aportes, entusiasmo y paciencia, agradezco a la Profesora Verónica Botero, que como Directora de este trabajo de grado me brindó el apoyo y guía necesaria durante su realización.

Agradezco al Ingeniero Electrónico Johny Muñetón, por su colaboración logística y ayuda incondicional.

A mi Padre, a mi Madre, a mi Hermana y demás familiares por su paciencia, amor y ánimo.

A mis compañeros de Maestría que en algún momento me brindaron ánimo y se preocuparon por el progreso de mi trabajo de grado.

A los Profesores Luis Jairo Toro y Ramiro Ramírez por sus importantes aportes y correcciones.

A todos ellos Muchas Gracias.

CONTENIDO

	pág.
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
ANEXOS.....	10
RESUMEN.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
1 OBJETIVOS.....	15
1.1 Objetivo General.....	15
1.2 Objetivos Específicos	15
2 MARCO TEÓRICO	16
2.1 Descripción de la zona de estudio	16
2.1.1 Características Ambientales del Departamento del Cesar	16
2.2 Conflictos de uso de la tierra	18
2.2.1 Los Usos de la Tierra en Colombia.....	18
2.2.2 Capacidad de uso de la Tierra.....	18
2.2.3 Capacidad de uso de la tierra en el departamento del Cesar.....	20
2.2.4 Uso actual de la Tierra.....	20
2.2.5 Usos de la Tierra en el Departamento del Cesar	21
2.2.6 Definición y Tipos de Conflictos de Uso de la Tierra en Colombia	22
2.2.7 Conflictos de Uso de la Tierra a nivel nacional y regional	25
2.3 Cultivo de Palma africana.....	26

2.3.1	Generalidades de la especie Palma africana y de su cultivo	26
2.3.2	Cultivo de Palma africana y conflictos de uso de la tierra en Colombia y el Mundo	27
2.3.3	Dinámica de los cultivos de Palma africana en el Departamento del Cesar	28
2.3.4	Potencial afectación del departamento del Cesar por cultivo de Palma africana	29
2.4	Sensores Remotos	29
2.4.1	Usos de la tecnología de los sensores remotos en los estudios del territorio..	30
2.4.2	Metodología para estudios del territorio usando sensores remotos.	31
3	METODOLOGÍA	40
3.1	Materiales y Equipos	41
3.2	Preprocesamiento de Imágenes Satelitales	41
3.3	Procesamiento de Imágenes Satelitales	41
3.3.1	Transformaciones de las imágenes	41
3.3.2	Análisis de Separabilidad	41
3.3.3	Composiciones en falso color	42
3.3.4	Clasificación de las imágenes satelitales	42
3.4	Procesamiento post-clasificación	42
3.4.1	Corrección geométrica de las imágenes clasificadas	42
3.4.2	Aplicación de Filtros.	42
3.4.3	Verificación de la clasificación.	43
3.4.4	Edición de las imágenes clasificadas	43
3.5	Análisis de la dinámica de los cultivos de Palma africana en el departamento del Cesar	43

3.6	Análisis de invasión de áreas de retiros a nacimientos y corrientes hídricas con cultivos de Palma africana.	43
3.7	Análisis de conflictos de uso de la tierra en torno al cultivo de Palma africana en el departamento del Cesar.....	44
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
4.1	Procesamiento de imágenes satelitales.....	47
4.1.1	Transformaciones de las imágenes satelitales.	47
4.1.2	Análisis de Separabilidad.	50
4.1.3	Composiciones en falso color.....	52
4.1.4	Clasificación de las imágenes satelitales.....	53
4.2	Procesamiento post-clasificación.....	61
4.2.1	Corrección geométrica de las imágenes clasificadas.....	61
4.2.2	Análisis de precisión.....	61
4.2.3	Aplicación de filtros.....	62
4.2.4	Edición de las imágenes clasificadas.....	62
4.3	Análisis de la dinámica de los cultivos de Palma africana en el departamento del Cesar.....	63
4.4	Análisis de invasión de áreas de retiros a nacimientos y corrientes hídricas con cultivos de Palma africana.	65
4.5	Análisis de conflictos de uso de la tierra en torno a los cultivos de Palma africana en el departamento del Cesar.....	66
4.5.1	Análisis de la fragmentación de bosques maduros y secundarios y repercusiones del establecimiento del Cultivo de Palma africana.	68
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
	BIBLIOGRAFÍA.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Uso del Suelo en el Departamento del Cesar, año 2005.....	21
Tabla 2. Condiciones ambientales para la producción óptima de la palma	26
Tabla 3. Tipos de resolución espacial de una imagen satelital.....	30
Tabla 4. Clave para la asignación de conflictos de uso de la tierra	44
Tabla 5. Comparación de los niveles digitales entre pares de clases en la imagen transformada por el cálculo de Tasseled Cap	50
Tabla 6. Comparación de los niveles digitales entre pares de clases en las imágenes transformadas por los Índices de Vegetación	51
Tabla 7. Análisis de precisión de las clasificaciones por matriz de confusión.....	61
Tabla 8. Crecimiento de los cultivos de Palma africana en el departamento del Cesar....	63
Tabla 9. Análisis de cambio de coberturas debido al establecimiento de cultivos de Palma africana en el departamento del Cesar	64
Tabla 10. Conflictos de uso de la tierra por el cultivo de Palma africana (Año 2007)	67
Tabla 11. Conflictos de uso de la tierra en las zonas de estudio (Año 2007)	67
Tabla 12. Índices de fragmentación de bosques en los municipios donde existe el cultivo de Palma africana. Años 2007 y 2001	69
Tabla 13. Índices de fragmentación de rastrojos en los municipios donde existe el cultivo de Palma africana. Años 2007 y 2001	69

ÍNDICE DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ubicación nacional y regional de las zonas de estudio.	17
Figura 2. Metodología para evaluar los conflictos de uso de la tierra.	23
Figura 3. Diferencias entre Exactitud del Producto y Exactitud del Usuario	39
Figura 4. Diagrama de flujo de la metodología aplicada en la investigación.....	40
Figura 5. Metodología general adaptada para la determinación de conflictos por uso de la tierra.	45
Figura 6. Componente Greenness (verdor) - Transformación Tasseled Cap.	47
Figura 7. Componente Wetness (humedad) - Transformación Tasseled Cap.	48
Figura 8. Componente Brightness (brillo) - Transformación Tasseled Cap.	48
Figura 9. Índice de Vegetación NDVI (Diferencia Normalizada entre las bandas del Infrarrojo Cercano - 4 y Rojo - 3).	49
Figura 10. Índice de Vegetación NDII (Índice de diferencia Normalizada del Infrarrojo)..	49
Figura 11. Índice de Vegetación EVI (Índice de vegetación mejorado).	50
Figura 12. Composición en falso color mejorado de las bandas 453.....	52
Figura 13. Composición en falso color de las bandas 432.	52
Figura 14. Cultivos de palma joven (inferiores a un año de edad).....	53
Figura 15. Cultivos de palma adulta (superior a 6 años).	54
Figura 16. Bosque (sucesión tardía).	54
Figura 17. Rastrojo bajo.....	55
Figura 18. Pasto manejado.....	55
Figura 19. Pasto no manejado.	56
Figura 20. Cultivo permanente (plátano).....	56

Figura 21. Cultivo transitorio (maíz).	57
Figura 22. Cultivo transitorio (arroz).....	57
Figura 23. Cuerpo de agua (humedal).	58
Figura 24. Cuerpo de agua (Río Magdalena).....	58
Figura 25. Zona erosionada.....	59
Figura 26. Suelo desnudo (preparación del terreno para cultivar maíz)	59
Figura 27. Suelo desnudo (maíz recién plantado).....	60

ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Cartografía utilizada en la investigación.....	80
Anexo 2. Imágenes y equipos utilizados en la investigación.....	81
Anexo 3. Puntos de control para la georreferenciación y corrección geométrica de la imagen del año 2007.....	82
Anexo 4. Puntos de control para la verificación de la clasificación.....	83
Anexo 5. Imagen de coberturas de la tierra en el Cesar, año 1977.....	84
Anexo 6. Imagen de coberturas de la tierra en el Cesar, año 1991.....	85
Anexo 7. Imagen de coberturas de la tierra en el Cesar, año 2001.....	86
Anexo 8. Imagen de coberturas de la tierra en el Cesar, año 2007.....	87
Anexo 9. Mapa de áreas protegidas año 2009.....	88
Anexo 10. Nivel de fertilidad de los suelos Colombianos.....	89
Anexo 11. Distribución de la humedad atmosférica en Colombia.....	90
Anexo 12. Invasión de retiros a las corrientes hídricas y sus nacimientos con Palma africana, en el municipio de Becerril.....	91
Anexo 13. Invasión de retiros a las corrientes hídricas y sus nacimientos con Palma africana, en el municipio de Agustín Codazzi.....	92
Anexo 14. Invasión de retiros a las corrientes hídricas y sus nacimientos con Palma africana, en el municipio de El Copey.....	93
Anexo 15. Invasión de retiros a las corrientes hídricas y sus nacimientos con Palma africana, en el municipio de La Paz.....	94
Anexo 16. Invasión de retiros a las corrientes hídricas y sus nacimientos con Palma africana, en el municipio de Río de Oro.....	95
Anexo 17. Invasión de retiros a las corrientes hídricas y sus nacimientos con Palma africana, en el municipio de San Alberto.....	96

Anexo 18. Invasión de retiros a las corrientes hídricas y sus nacimientos con Palma africana, en el municipio de San Martín.....	97
Anexo 19. Invasión de retiros a las corrientes hídricas y sus nacimientos con Palma africana, en el municipio de Valledupar.....	98

RESUMEN

Este trabajo de investigación presenta un método de interpretación de sensores remotos para la gestión ambiental del territorio. Los análisis de información espacial obtenida de las imágenes satelitales pueden aclarar si la dinámica de cultivo de Palma africana en distintas épocas, ha incluido el desplazamiento de usos más adecuados de la tierra, la ocupación de áreas protegidas, o la sustitución de importantes ecosistemas boscosos que pueden poseer algún nivel de vulnerabilidad o fragilidad, con la intención de resolver algunos supuestos y corroborar declaraciones que han surgido en torno al establecimiento de estas plantaciones en el país. Es necesario determinar la ubicación, cuantificación y crecimiento del área de las plantaciones de Palma, y los conflictos de uso de la tierra por la expansión de su cultivo en la zona de estudio. Finalmente, se consideran las debidas recomendaciones a la comunidad científica y a los gremios de Palmicultores según lo sugieren los resultados de esta investigación, y se pretende dejar un aporte a la maestría y, a aquellos que interese elaborar cuestionamientos al desarrollo en beneficio del mismo y del medio ambiente y quieran continuar con esta investigación en otros Departamentos Colombianos.

Palabras claves: interpretación de sensores remotos, plantaciones de Palma africana, dinámica de cultivo, conflicto de uso de la tierra, área protegida.

This research work presents a method to interpret remote sensing for the landscape environmental management. The spatial information analysis gotten from satellite images can clarify if the seeding dynamic of African Palm in several times has included taking the place of more suitable uses of the land, the occupation of protected areas or the substitution of important forest ecosystems who can have any level of vulnerability or frailness, with the intention to solve any guess and corroborate declarations which has arose in turn to establishment of these crops in the country. It is necessary determining the localization, quantification and growth of Palm crops area and the use conflicts of the land for the increase of its seeding at the study zone. Finally its regarded the suitable recommendations to the scientific community and to the Palmer guilds, agreed to the results from this investigation and it is aimed letting a contribution to the mastery, people interested in making questions to the development for benefiting it and at the same time to the environment, and who wants continuing this investigation in other Colombian Departments.

Key words: remote sensing interpretation, African Palm crops, seeding dynamic, use conflict of the land, protected areas.

INTRODUCCIÓN

Desde el año 1945 el Gobierno de Colombia ha fomentado el cultivo de las plantaciones de Palma africana en el país, como principal fuente para el abastecimiento de la demanda de aceite vegetal, pero en la última década su impulso lo ocasionó el interés en la inversión por parte de los países desarrollados, por ser considerada una de las especies más promisorias para la producción de biodiesel (Fry, 2004). La evidente preocupación de estos países se da ante la posible crisis por agotamiento de las reservas de hidrocarburos, en el 2040 a las tasas actuales de consumo (Barreda, 2007) o en cien años según las estadísticas oficiales de energía de los Estados Unidos (Annual Energy Review, 2008).

Durante la introducción y manejo de estas plantaciones en Colombia, se han presentado conflictos de tipo social y ambiental como la destrucción de bosques nativos protectores en el Chocó biogeográfico (Le Du *et. al.*, 2004), así como en las Regiones Orinoquía y Caribe donde se han alterado los suelos y ciclos del agua en épocas de sequía (Prada, 1997). Sobre la deforestación, sólo se hallan cifras reportadas por los Palmicultores del municipio de Tumaco, que en 2004 cultivaron 456 ha de Palma africana en la selva a través de tala rasa (Le Du *et. al.*, 2004).

La situación antes citada se contradice con la afirmación de Henson (2004) que en sus investigaciones reporta cómo los beneficios económicos, sociales y ambientales, en los países donde se fomenta el cultivo de la palma, se alcanzarían sin necesidad de acabar con una sola hectárea de bosque natural; lo que es acogido por el Gobierno Colombiano para incluirse en los Planes de Desarrollo Nacional (Decreto 2629 de 2007). Por estas razones cabe cuestionar si las plantaciones de Palma africana están establecidas en ambientes que no desplazan las coberturas y usos adecuados del suelo, porque si bien los beneficios económicos y del sector energético son temas vitales para el país, no deben justificar la pérdida de tierras productivas, bosques naturales o plantados protectores, ni la alteración de las corrientes hídricas.

Las quejas de tipo social y ambiental no han sido suficientes para reconsiderar el modelo expansionista de la Palma africana en Colombia y el mundo. Según las cifras que muestra FEDEPALMA (2008) el cultivo de la palma en Colombia creció entre el 3% y 8% entre 2006 y 2007, además su fomento a través de la inversión y subsidios es inminente. Sin embargo no son amplios los estudios sobre las implicaciones ambientales del cultivo en el país, a excepción de las zonas plantadas con palma en el Chocó biogeográfico.

De la discusión en torno a la propagación de los cultivos de palma surgen las siguientes hipótesis: La protección del Estado a los Palmicultores y por ende a los cultivos de palma se ha hecho pasando por alto los impactos negativos sobre los medios social y ambiental, o el Estado le brinda protección tanto al agronegocio de la palma como a los medios social y ambiental en el país.

La verificación o el rechazo de ambas o alguna de estas hipótesis puede darse al tratar de resolver la siguiente inquietud: ¿Los cultivos de Palma africana en Colombia están ubicados acorde a las normas que también protegen al medio ambiente y que evitan su deterioro? No se investigará sobre el medio social porque el investigador no posee el tiempo ni el conocimiento suficiente para tratarlo.

Con esta investigación se pretende estimar si la propagación de los cultivos de Palma africana en el Cesar, se ajusta de manera adecuada a los usos potenciales de la tierra y no interviene sus áreas protegidas, lo que será posible con herramientas tecnológicas para el manejo de sensores remotos. En el departamento del Cesar se facilita este estudio por la disponibilidad y gratuidad de imágenes satelitales en escala adecuada y con cobertura nubosa mínima. Además el fomento del cultivo de la palma y la falta de estudios sobre los cambios en las coberturas del suelo por la implementación del mismo, son las razones por las que se escoge este departamento para esta investigación.

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo General

Identificar los conflictos de uso de la tierra en torno a la dinámica de las plantaciones de Palma africana en el departamento del Cesar, para elaborar recomendaciones pertinentes que acompañen a la agroindustria en las decisiones sobre la expansión y ubicación adecuada del cultivo.

1.2 Objetivos Específicos

- Identificar la dinámica de propagación de los cultivos de Palma africana y sus implicaciones en los cambios de las coberturas y usos de la tierra.
- Comparar la dinámica de propagación de los cultivos de Palma africana, con los usos potenciales de la tierra y las áreas protegidas.
- Determinar los conflictos de uso de la tierra, como consecuencia de la dinámica en la introducción de plantaciones de Palma africana.
- Sugerir actividades y aplicaciones normativas al modelo de expansión del cultivo para la agroindustria de Palma africana.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Descripción de la zona de estudio

El departamento del Cesar está ubicado al norte de Colombia, separado de la zona costera del Mar Caribe por la Sierra Nevada de Santa Marta. Se halla entre las coordenadas geográficas 74°07' de longitud oeste y 72°28' de longitud oeste, y entre 10°50' latitud norte y 7°35' latitud norte, limitando al norte con los Departamentos de la Guajira y Magdalena, al sur con Norte de Santander y Santander, al occidente con Bolívar y Magdalena y al oriente con La República de Venezuela y Norte de Santander (Figura 1).

Según la Gobernación del Cesar (2007), el departamento posee una extensión de 22.905km² con un 95% de área rural, reconocida por un área de variada geografía en la zona montañosa que se encuentra en las estribaciones de la cordillera Oriental de los Andes, donde se ubica la sierra Nevada de Santa Marta con los picos Bolívar y Colón (5.500 msnm). Esa zona del Cesar fue declarada en 1977 Parque Nacional Natural, así como La Serranía de Perijá o Serranía de Valledupar, con los cerros de Jurisdicción (3.850 msnm), Negro (3.200 msnm) y la sierra de Ocaña y Schail (2.350 msnm).

Los municipios del departamento del Cesar donde se ha presentado mayor acogida y dinámica del cultivo de Palma africana son San Alberto, San Martín, El Copey y Agustín Codazzi (Figura 1), en los que existían en 2005 un total de 48.832 hectáreas de palma (Bernal, 2005).

2.1.1 Características Ambientales del Departamento del Cesar

Como lo explica la Corporación Autónoma Regional del Cesar – CORPOCESAR (2007), durante varios años las distintas ecorregiones del departamento del Cesar han enfrentado una situación difícil por la degradación de los recursos naturales, particularmente en las áreas sobre las que históricamente se ha desarrollado mayor actividad agropecuaria (valle del río Cesar) y las condiciones medioambientales tienden a ser extremas. Este panorama se ha caracterizado por impactos tales como erosión generalizada con tendencia a la pérdida de la capa arable, deslizamientos, compactación, salinización, desertización, desecación, sedimentación y contaminación de cuerpos de agua, destrucción de hábitats y de los bosques andino y alto andino, alteración de páramos y pérdida de biodiversidad.

A continuación se describe la situación ambiental en las ecorregiones a las que pertenecen los municipios de El Copey, Agustín Codazzi, San Martín y San Alberto, que según Bernal (2005) son los municipios en los que se ha presentado mayor crecimiento del cultivo de Palma africana y que harán parte de la zona de estudio.

En la ecorregión de la Sierra Nevada de Santa Marta, a la que pertenece el municipio de El Copey, nacen ríos, quebradas y arroyos importantes que irrigan el Valle del Cesar y tributan hacia el cauce principal que lleva el mismo nombre, el que a su vez fluye hacia el Complejo Cenagoso de Zapatosa y posteriormente al río Magdalena. La ecorregión de la Serranía del Perijá, de la que hacen parte los municipios de Codazzi, San Martín y San Alberto, es una de las más importantes reservas forestales del país, que irriga el valle del Río Magdalena. La ecorregión del Valle del Río Cesar, es un área de alta productividad

agrícola y pecuaria y está constituida como uno de los pilares sobre los que se sustenta el potencial económico del Departamento del Cesar; los municipios de Agustín Codazzi y El Copey también pertenecen a esta ecorregión. En la ecorregión del Valle del río Magdalena, la producción económica se sustenta en la productividad del suelo, pero en ella se ha dado la eliminación casi total de la cobertura boscosa natural, alteración de la capa arable del suelo, erosión, compactación, degradación de corrientes hídricas y desplazamiento de la fauna silvestre, afectándose la oferta ambiental y por ende la producción sostenible; a esta ecorregión pertenecen los municipios de San Alberto y San Martín (CORPOCESAR, 2007).

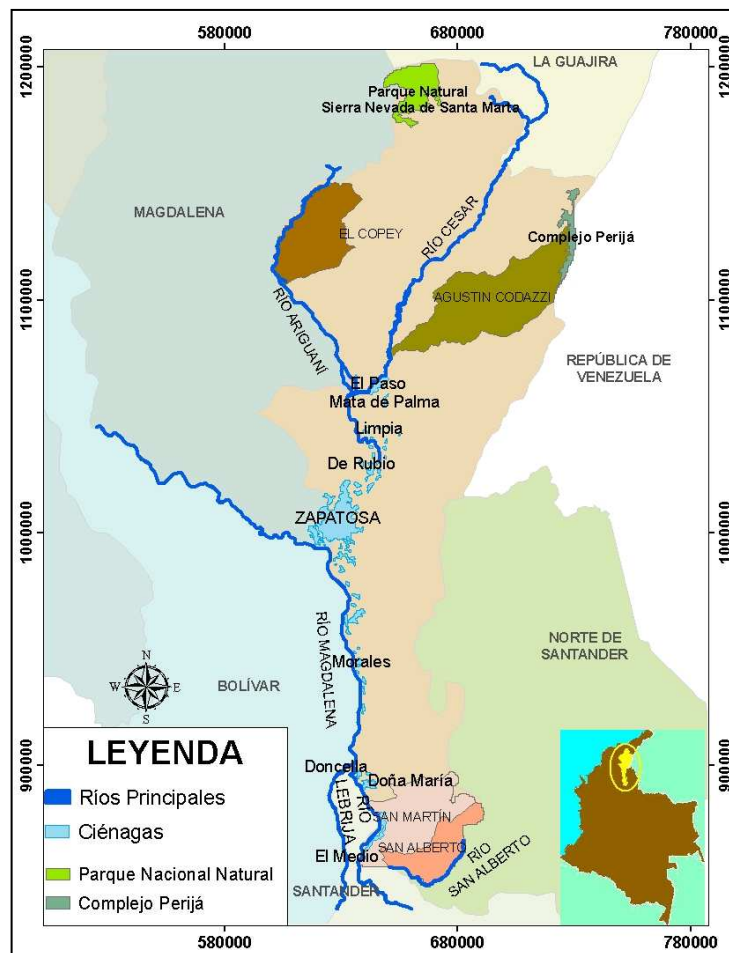


Figura 1. Ubicación nacional y regional de las zonas de estudio.

Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC (2003) - Mapa físico político del Departamento del Cesar, escala 1:500.000; Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial *et. al.* (2009) - Información de Áreas Protegidas, escala 1:500.000

En las zonas de valles las actividades agropecuarias y agroindustriales se han desarrollado con prácticas de mal manejo de los recursos agua y suelo, la maquinaria nueva no se ha adaptado al medio y ha repercutido en el deterioro ambiental, disminuyendo significativamente la oferta natural. La misma situación se observa en las

zonas montañosas con el agravante de las condiciones extremas del medio. Las repercusiones en estas zonas recaen en el ecosistema estratégico de la ciénaga de Zapatosa como receptor final de la gran mayoría de corrientes de agua (CORPOCESAR, 2007).

Los suelos de los municipios de Agustín Codazzi y Becerril en general presentan una baja fertilidad y baja a media capacidad de intercambio catiónico, aunque las zonas pertenecientes al conjunto Mizer poseen una alta fertilidad. Las áreas del municipio de Agustín Codazzi donde se han implementado cultivos de arroz, Palma africana y pastos para ganadería, manifiestan una fertilidad moderada del suelo, alto contenido de bases y muy alta capacidad de intercambio catiónico (IGAC, 1982). En el municipio de Río de Oro debido a la existencia de muchos suelos aluviales con excelentes condiciones físicas, de relieve plano, con buen drenaje y fertilidad relativamente alta, localizados en las áreas formadas por depósitos recientes y sub - recientes se desarrollaron sembrados de Palma africana, arroz, algodón, plátano y maíz (IGAC, 1970). En Valledupar la Palma africana se ha establecido en los suelos planos a plano cóncavos, con texturas moderadamente finas, de fertilidad baja y drenaje imperfecto (IGAC, 1969).

El sur es una zona con una importante riqueza de suelos con fertilidad moderada y condiciones para la agricultura y la ganadería. Se encuentra irrigada por numerosos afluentes, sus tierras son planas con pendientes menores a 3% y con una precipitación promedio de 2.000 a 4.000 mm de lluvia al año. (Gamarra, 2005).

2.2 Conflictos de uso de la tierra

2.2.1 Los Usos de la Tierra en Colombia

El término uso de la tierra se refiere al instrumento de carácter técnico normativo que determina el uso de la tierra en función de sus limitantes, potencialidades y según las posibilidades y costumbres de los habitantes del territorio, que termina evaluándose con su ubicación cartográfica. Esta determinación lleva a la clasificación de una serie de categorías como suelo urbano, urbanizable y no urbanizable y suelo rural, con sub - categorías como agrícola, forestal, conservación, silvo - pastoril, agro - silvo - pastoril, silvo - agrícola. Para cada categoría se definen las reglas de intervención, de uso y recomendaciones de manejo. La metodología para evaluar el uso de la tierra implica determinar el uso potencial, el uso actual y los conflictos de uso (Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC, 2007).

2.2.2 Capacidad de uso de la Tierra

Las características de la tierra que le generan restricciones para el desarrollo de actividades agropecuarias o forestales son necesarias para la reglamentación de su capacidad o vocación de uso, que es considerada como el uso más apropiado que la tierra sería capaz de resistir, razón por la cual llega a ser el uso permitido. La vocación de uso de la tierra también puede referirse al máximo uso que se le puede dar a la tierra sin que el suelo y el agua sufran deterioro, para lo cual debe tenerse en cuenta la reglamentación sobre el uso rural del suelo. Pero la capacidad de uso de la tierra no debe depender únicamente del recurso suelo, sino adicionalmente del recurso hídrico y de las

costumbres humanas que al final determinan la existencia de una necesidad de uso (Secretaría de Agricultura, *et. al.*, 1993).

Existen varias metodologías para hallar la vocación de uso de la tierra, que se basan en la obtención de las características agroecológicas de las zonas, que permiten determinar un uso permitido. El método empleado por el Servicio de Conservación de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos - SCS-USDA (1961), determina la clasificación por capacidad de la tierra en ocho clases; 1 a 8 que corresponden a rangos de aptitud decreciente, 1 a 4 que tienen posibilidad de uso agrícola, 5 a 7 sólo pastoril y 8 no tiene aptitud agropecuaria (FAO, 1997). La metodología de Tosi (1972) distingue cinco categorías generales de uso mayor de la tierra que son cultivo limpio, cultivo permanente, pastoreo, bosque de protección y protección (Richters, 1995). También existe una adaptación hecha por la FAO (1978) para la determinación de zonas agroecológicas - ZAE (FAO, 1997). Sin embargo todas consideran similar información o parámetros base, como los que sugiere el Subcomité Nacional de Suelos de las Corporaciones Autónomas Regionales (1988) para determinar la vocación de uso de las tierras, que se definen a continuación de acuerdo con la información de la metodología para determinación del uso potencial y recomendable del suelo del Programa Agropecuario Municipal - PAM (Secretaría de Agricultura, *et. al.*, 1993).

2.2.2.1 Parámetros climáticos

Entre ellos se tienen en cuenta la temperatura o la biotemperatura, precipitación, distribución temporal de la precipitación, evaporación, intensidad del brillo solar y sistema de circulación de los vientos. En Colombia, el sistema de clasificación más usado es el de Zonas de Vida de Holdridge, el cual maneja una clave para la evaluación de parámetros climáticos que es específica para cada zona de vida.

2.2.2.2 Parámetros edáficos

En este grupo se consideran la profundidad efectiva del suelo, la pedregosidad, la erosión actual y la susceptibilidad a la erosión, para cuya evaluación existen escalas de puntaje conforme a sus características. La fertilidad de los suelos es un parámetro muy importante y es considerado por otros métodos de clasificación como el del SCS - USDA.

2.2.2.3 Parámetros topográficos

Para su evaluación se considera la pendiente del terreno, entendida ésta como su inclinación respecto a un plano horizontal, dada en porcentaje. Normalmente se emplean seis clases de pendientes desde la más baja a la más alta.

2.2.2.4 Parámetros de drenaje

Se busca evaluar la velocidad con la cual se drena el agua de la superficie o del interior del suelo. Las clases establecidas (excesivo, bueno, moderado, muy pobre o

imperfectamente drenado) tienen que ver con la duración y presencia de los períodos de saturación del suelo.

2.2.3 Capacidad de uso de la tierra en el departamento del Cesar

Sin incluir los cuerpos de agua y las zonas pobladas, la principal vocación de uso de la tierra en el departamento es el uso agrícola, con una participación del 52.7%, al que le sigue el uso de conservación con el 32.6% del área del territorio; en últimos lugares se encuentran los usos forestal, pecuario y agroforestal con 6.1%, 4.8% y 3.7% respectivamente (Meisel y Pérez, 2002, con base en datos del IGAC 1978).

2.2.4 Uso actual de la Tierra

Este es el uso que recibe la tierra en un tiempo presente, que se configura como resultado de las costumbres y posibilidades de una población, respecto a la rentabilidad económica y/o la viabilidad natural de una cobertura del suelo. El Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE, el IGAC y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (2002), proponen en su metodología para la zonificación de conflictos de uso de las tierras en Colombia, la determinación de los usos actuales a partir de la información sobre coberturas de las tierras. Esta metodología indica que para obtener la información es necesario recurrir a la cartografía temática existente, pero en caso tal que ésta no estuviera disponible, se puede recurrir al uso de sensores remotos para adquirir fotografías aéreas o imágenes satelitales, que deben ser interpretadas y clasificadas con base en una clave preestablecida para las coberturas de la tierra. Según la Secretaría de Agricultura, *et. al.* (1993), para definir los usos actuales de la tierra pueden utilizarse cinco categorías, definidas con base en el tiempo que el suelo queda con o sin cobertura vegetal. Cada una de ellas incluye tipos específicos de actividades productivas como se describe a continuación:

Uso agrícola: Es el uso mayor que puede ser dado a una unidad de tierra, sin presentar limitaciones para la agricultura intensiva. Incluye cultivos limpios, cultivos semilimpios y cultivos densos. Los cultivos limpios, también conocidos como cultivos transitorios, ofrecen baja protección al suelo contra la erosión porque requieren siembras y desyerbes muy frecuentes (laboreo y remoción del suelo). Los cultivos semilimpios requieren laboreo y remoción del suelo en la fase de establecimiento, limpias poco severas, con remoción parcial una vez al año. Los cultivos densos o permanentes no requieren la remoción frecuente de la tierra, sólo en la fase de establecimiento del cultivo y no la deja desprovista de una cobertura vegetal protectora, por lo general no requieren de limpias.

Uso pecuario: Este tipo de uso, llamado pastoreo cuando dominan los pastos para el sostenimiento de ganado bovino, ovino o equino, no requiere la remoción frecuente y continua de la tierra, ni la deja desprovista de una cobertura vegetal protectora, pero en ciertas épocas debe soportar el peso y pisoteo de animales que pueden generar procesos de deterioro, dependiendo de la intensidad del uso.

Uso agroforestal: Está definido como el uso que armoniza en forma deliberada cultivos agrícolas, árboles, pastos y forrajes, mediante una adecuada distribución espacial y temporal en las tierras con limitaciones para el uso continuado agrícola y/o pecuario, pero que, condicionadas por situaciones sociales, culturales y/o económicas, deben continuar

con esos usos. Considera los cultivos silvoagrícolas, agro-silvo-pastoriles y silvo-pastoriles.

Uso forestal: Este uso es para el que la tierra presenta limitaciones para actividades productivas agrícolas, pecuarias y agroforestales, así que de modo parcial, ofrece una mejor protección contra la erosión. Incluye las plantaciones productoras, productoras-protectoras y el bosque natural productor-protector.

Uso para la conservación y/o manejo especial: Son los que impiden el establecimiento de actividades agropecuarias o de explotación forestal, en áreas que por sus condiciones de fragilidad deben ser cuidadas y mantenidas en su estado original, como bosques, zonas mineras, humedales y nevados. Este uso comprende la preservación, la utilización sostenible, la protección, el mantenimiento, la restauración y la mejora del entorno natural.

2.2.5 Usos de la Tierra en el Departamento del Cesar

La dinámica socioeconómica que ha tenido el departamento del Cesar a través de su historia ha mostrado procesos de desarrollo enfocados principalmente a la actividad agropecuaria en las zonas planas del departamento y la agricultura de subsistencia en las zonas montañosas, procesos que han sido acompañados por el auge de la agroindustria y la minería en las zonas planas, así como los narco - cultivos en las partes altas de las cuencas en las últimas décadas.

La minería del carbón está ubicada en la Serranía de Perijá y el valle del Río Cesar, específicamente en los poblados de La Jagua de Ibirico y La Loma. El auge de los cultivos ilícitos ha llevado a una distorsión de los procesos de ocupación demográfica de las zonas productoras, acentuada por desplazamientos tanto rurales como urbanos hacia zonas frágiles ambientalmente, ubicadas en los bosques alto andinos y zonas de páramo donde se cultiva la amapola, afectando especialmente a los municipios de Manaure, La Paz, Agustín Codazzi y La Jagua de Ibirico en la Serranía de Perijá y Pueblo Bello en la Sierra Nevada de Santa Marta (CORPOCESAR, 2007).

La Tabla 1 presenta un diagnóstico de uso del suelo del año 2005 para el Departamento del Cesar, obtenido por la Secretaria de Agricultura y Desarrollo Empresarial (Poveda, 2006).

Tabla 1. Uso del Suelo en el Departamento del Cesar, año 2005

USO DEL SUELO	SUPERFICIE (Ha)	%
Pastos naturales y mejorados	1'450.000	63,3
Malezas y rastrojos	458.466	20,01
Bosques	100.000	4,36
Cultivos permanentes	85.000	3,71
Agua y otros	62.000	2,72
Tierras improductivas	60.000	2,62
Cultivos transitorios	50.000	2,18
Áreas Urbanas	25.000	0,71
ÁREA TOTAL DEL DEPARTAMENTO	2'290.500	100

Los datos de la Tabla 1 indican que la mayor proporción del área total del departamento del Cesar correspondía a pastos naturales y mejorados, lo cual verifica la vocación ganadera de la región. Sin embargo también ocupaban una fracción importante de su área las malezas y los rastrojos, mientras que los bosques, cultivos y cuerpos de agua se veían relegados a pequeñas áreas dispersas.

Los principales cultivos transitorios en la región, por orden de magnitud en área sembrada para el año 2005 fueron maíz tradicional, arroz de riego, maíz tecnificado, yuca, fríjol tradicional, algodón, sorgo, patilla, yuca industrial y tomate. El sorgo y el algodón son los cultivos que mayor variación negativa han presentado desde el año 1990, seguidos por el arroz de riego, la patilla y el maíz tradicional. El sorgo tiende a la disminución en área sembrada. Igualmente, por orden de importancia los cultivos permanentes fueron Palma africana, café, cacao, plátano, caña panelera y frutales como la naranja, aguacate, mango, tomate de árbol, lulo, mora, maracuyá y papaya. Los frutales excepto el aguacate aumentaron su superficie desde 1990, que fue mayor incluso que el café y la Palma africana. Las actividades pecuarias con ganado bovino se concentraron en los municipios de Codazzi, San Martín, Aguachica y San Alberto (Poveda, 2006).

2.2.6 Definición y Tipos de Conflictos de Uso de la Tierra en Colombia

El incumplimiento de las normas sobre el uso adecuado del suelo, de las aguas y los bosques, en situaciones tales que el uso aplicado o uso actual sobrepase el uso potencial o vocacional de la tierra, es lo que genera conflicto por uso de la tierra (IGAC, 2007).

Las metodologías para determinar los conflictos de uso de la tierra consideran el análisis de los mapas de vocación de uso de la tierra acorde a la clasificación agrológica y su superposición con el mapa de uso actual, lo que permite determinar y clasificar el nivel de conflicto en bajo, medio y alto (CORPES de Occidente e Incoplan – Parsons, 1999). Polanco (2009) también estima los conflictos de uso de la tierra comparando una zonificación con la dinámica de la cobertura, obtenida por medio de un monitoreo con información satelital, de lo que asume la intensidad del conflicto de uso como elevada si el “deterioro” se impone sobre el “restablecimiento” de las coberturas.

2.2.6.1 Zonificación de conflictos de uso de las tierras

Una metodología más concreta que puede ayudar a determinar el conflicto o uso adecuado de la tierra, es el diseñado para la Zonificación de los Conflictos de Uso de las Tierras en Colombia (DANE, IGAC y Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 2002), en la que se considera no sólo la vocación de uso y el uso actual de las tierras, sino también la intervención de las áreas protegidas. En la Figura 2 se observa la metodología general para la determinación del conflicto de uso de las tierras en Colombia.

La Secretaría de Agricultura y *et. al.* (1993), dan las definiciones de los conflictos de uso que resultan de la confrontación entre la vocación de uso y el uso actual de la tierra.

- Uso Adecuado (A). Áreas donde el uso actual de la tierra coincide con la vocación de uso.

- Uso Inadecuado (I). El uso actual de la tierra es más intenso que el uso vocacional.
- Uso Muy Inadecuado (M). El uso actual de la tierra es más intenso y deteriora la tierra en comparación con el uso vocacional.
- Área Subutilizada (S). Cuando el uso actual ejerce una menor intensidad de uso que la que ejercería el uso vocacional.
- Área Muy Subutilizada (MS). Cuando el uso actual ejerce una menor intensidad de uso que el uso vocacional, este último permitiría una labranza más intensa de los suelos y un mayor uso de agroquímicos.

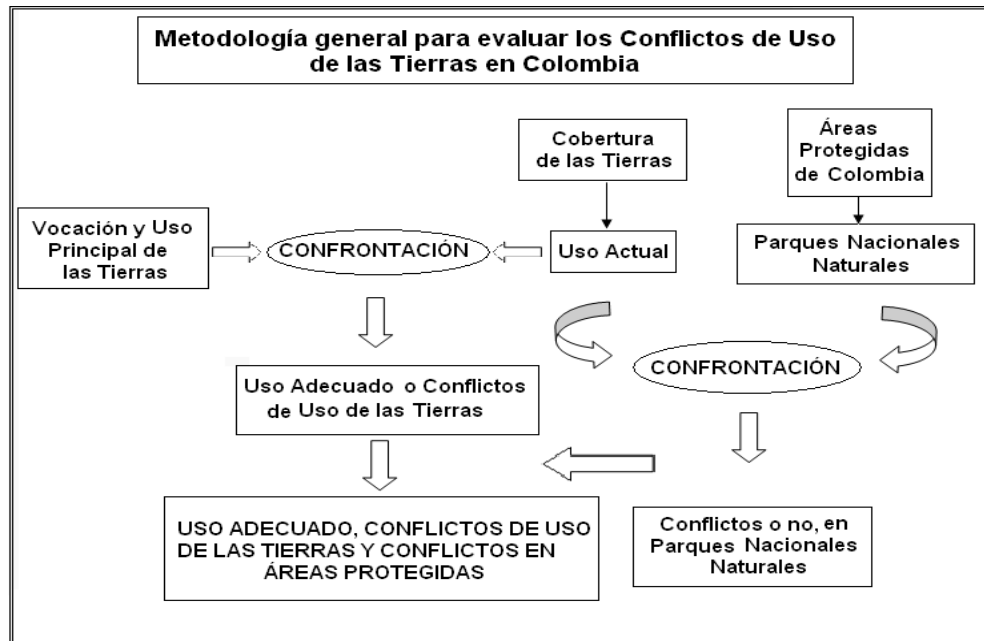


Figura 2. Metodología para evaluar los conflictos de uso de la tierra.

Fuente: DANE, IGAC y Corporación Colombiana de investigación agropecuaria. (2002)

2.2.6.2 La infraestructura ecológica en la determinación del conflicto de uso de las tierras

Van der Hammen y Andrade (2003), consideran un análisis adicional que puede determinar con mayor rigor el conflicto por uso de la tierra. Ellos definen el término de Infraestructura Ecológica, que es el conjunto de relictos de vegetación natural y semi-natural, corredores y áreas a restaurar en los agroecosistemas y otras áreas intervenidas del país (centros urbanos y otros sistemas construidos), que tienen una funcionalidad en la conservación de la biodiversidad, la productividad y la calidad de vida de la población. Esto es porque son áreas importantes para albergar elementos y procesos de la biodiversidad que son insustituibles y por suministrar servicios ambientales a la sociedad (agua, regulación de clima, protección de suelos, prevención de riesgos, producción de recursos naturales, adaptación ante el cambio climático global, etc.).

En un estudio de fragmentación hecho a gran escala en el estado de Rondonia-Brasil, se correlacionó el grado de desarrollo de la zona con la pérdida y fragmentación del bosque. Los resultados mostraron una relación directamente proporcional entre el grado de desarrollo, la disminución en el área de los fragmentos existentes y el aumento en el número de parches de bosques. Las zonas de bajo desarrollo por el contrario presentaron grandes zonas de bosques contenidas en un menor número de parches boscosos, teniendo con esto mayores posibilidades de soportar una alta diversidad de especies nativas (Walker y Cárdenas, 2008).

Como lo mencionan Walker y Cárdenas (2008), las características principales para evaluar la fragmentación de los bosques nativos son:

Tamaño. Un parche grande es mejor que varios pequeños de la misma área. Un parche grande puede ser más complejo que uno pequeño y puede tener poblaciones mayores, por lo tanto la tasa de extinción es más baja. El número de especies disminuye con el tamaño del fragmento (Browne, 1983; Forster, 1778).

Forma. Los parches del mismo tamaño tienen diferentes grados de afectación dependiendo de su forma, la cual aumenta o reduce el efecto de borde. Los límites exteriores de un fragmento no son solamente una línea, sino una zona de influencia externa donde varía la amplitud dependiendo del objetivo a evaluar y presenta diferentes efectos, como cambios en el microclima, aumento en las tasas de depredación por las especies externas al fragmento (en gradiente) y además se presentan cambios en la composición de las especies.

Distancia. La colonización de los fragmentos depende de las habilidades de dispersión de las especies y de la distancia entre fragmentos. La distancia es cuestión de "escala" y está fuertemente asociada con los demás factores asociados a la fragmentación.

Conectividad. El vecindario actúa permitiendo o anulando el flujo entre las especies y actuando como corredor o vía de dispersión. Los corredores presentan tres beneficios claros: incrementan las tasas de colonización, aumentan el flujo genético y mantienen una mayor diversidad ya que pueden evitar los eventos de extinción local, pero los corredores también presentan algunos efectos no deseados o negativos pues las especies que se dispersan, en algunos casos incrementan las poblaciones de depredadores, con lo que pueden facilitar la expansión de catástrofes naturales como el fuego y también dispersar enfermedades o especies exóticas, además es costoso referente a la protección de áreas aisladas de mayor tamaño.

Según Marhs, Holmes y Ene, (2001) el programa Fragstats 3.3 de McGarigal y Ene (2001) permite realizar el análisis del patrón del paisaje, por medio de los índices más relacionados con la conectividad y la fragmentación. Algunos de los índices más utilizados son:

- Número de Parches. Determina el número de parches en el territorio. Con frecuencia su interpretación se limita porque no posee información del área, distribución o densidad.
- Densidad de Parches. Este índice permite obtener el número de parches en el territorio en un área de 100ha. Esto facilita la comparación entre terrenos con tamaños diferentes.

- Índice del parche mayor. Mide el porcentaje de ocupación en el territorio, del parche más grande de una misma clase. Se considera una medida de dominancia.
- Índice de Conectividad. Cuantifica la cantidad en porcentaje, de parches de una misma clase que se conectan en una distancia predeterminada.

2.2.7 Conflictos de Uso de la Tierra a nivel nacional y regional

Colombia se encuentra entre los países de América Latina con menor abundancia relativa de suelos arables. Según datos del IGAC (2001) en Colombia existían nueve millones de hectáreas aptas para la agricultura, pero se utilizaban para este fin únicamente cinco millones. En cambio, de los 19 millones de hectáreas aptas para la ganadería se utilizaban 40 millones, de las cuales sólo cinco millones eran tierras de pastos mejorados, mientras que el resto (35 millones de hectáreas) se explotaban de manera extensiva. En conjunto, el 45 por ciento de los suelos del país se destinó a usos inadecuados (Fajardo, 2002).

Actualmente la mayor presión sobre la tierra en el Departamento del Cesar está dada por las actividades de agricultura y ganadería, por el incremento del monocultivo de Palma africana, la extracción de carbón, la deforestación, el vertimiento de aguas residuales sin tratamiento, el inadecuado manejo y disposición de residuos y por el monopolio del recurso agua por parte de agricultores privados. El 69% de los suelos padecen de desertización (IGAC, 2007) que además se ven degradados por los efectos secundarios de la actividad minera, la pérdida de los bosques nativos, la destrucción de las ciénagas, la reducción de las fuentes de agua, el deterioro de ecosistemas estratégicos como la Sierra Nevada de Santa Marta, la Ciénaga de Zapatosa y la Serranía de Perijá, entre otros (Asamblea Departamental del Cesar, 2008).

De las 2'290.500 ha del departamento del Cesar, en general, el 29% de su área (659.500 ha) se encuentran en conflicto de uso por la actividad ganadera en las ecorregiones Serranía de Perijá, Sierra Nevada de Santa Marta y ciénaga de Zapatosa y humedales menores, mientras que se estima que por la actividad agrícola, hay conflicto de uso en 267.000 ha (11% del área del departamento) (CORPOCESAR, 2007).

Un estudio de la Universidad Nacional de Colombia y la Corporación Obusinga en el año 2009, demostró que en los municipios de San Martín y Gamarra el fomento y creciente establecimiento de la Palma africana junto con la ganadería extensiva que la caracteriza, desplaza a muchos de los cultivadores campesinos y la producción de alimentos básicos como el plátano y la yuca, porque resulta menos rentable debido a la falta de subsidios que normalmente son entregados por el Estado a los cultivadores de palma. Los pobladores aseguran que podrían producir en sus tierras, como lo han hecho apoyados por algunos proyectos de seguridad alimentaria con recursos de la Red de Seguridad Alimentaria (ReSA) de la Presidencia de la República (Agencia de Noticias de la Universidad Nacional, 2009).

2.3 Cultivo de Palma africana

2.3.1 Generalidades de la especie Palma africana y de su cultivo

Las especies *Elaeis guineensis* originaria de África y *Elaeis oleifera* híbrido cultivado en América, son conocidas comúnmente como Palma africana y Palma de aceite, ampliamente cultivadas en el Neotrópico, desde el continente Africano hasta Asia y Suramérica por ser las monocotiledóneas más productoras de aceite (Le Du, Minelli y Mingorance, 2004). La palma se encuentra normalmente establecida en plantaciones comerciales, manejadas como cultivos agrícolas permanentes, que no dejan el suelo desprotegido de una cobertura vegetal y que requieren de limpiezas periódicas (IGAC, 2007). En la Tabla 2 se presentan las condiciones adecuadas para una óptima producción del cultivo de palma.

Tabla 2. Condiciones ambientales para la producción óptima de la palma

LATITUD	TEMPERATURA (°C)	ELEVACIÓN (msnm)	PRECIPITACIÓN (mm / año)	HUMEDAD RELATIVA (%)	HORAS LUZ / AÑO	PENDIENTE (°)
15 ° N 15 ° S	Máxima 33 Mínima 22 No inferior a 21	0 - 500	1800 – 2200 Pero son suficientes hasta 1500 con lluvia todos los meses	80	Superior a 1500	Inferior a 15
SUELO			FERTILIZACIÓN			
Francos a franco arcillosos, sueltos, profundos, bien drenados, pH máximo 4, de origen aluvial o volcánicos.			Depende de la fertilidad de los suelos, pero es creciente entre los 0 a 3 años. El K es importante en la edad adulta.			

Fuente: Le Du, Minelli, Mingorance (2004) con datos de la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (FEDEPALMA), FAO, entidades y empresas de palma de varios países.

Las mejores plantaciones de palma crecen en suelos en donde no existen impedimentos físicos, químicos o biológicos para un buen desarrollo del sistema radical, para lo que necesitan buena aireación y buena fertilidad del suelo. Según Hartley (1987) en general una población de 143 plantas/ha, absorbe del suelo entre 300 y 600 Kg de los elementos nutritivos Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Magnesio (Mg), Calcio (Ca), Azufre (S), Cloro (Cl), Boro (B), Cobre (Cu) y Zinc (Zn). Tinker (1976) investigó que debido a que el sistema radical de la palma es grueso e ineficiente, requiere una mayor disponibilidad de nutrientes que otras plantas (Durán, Salas y Chinchilla, 1999).

En cuanto al consumo hídrico por la palma, se sabe que en la mayoría de regiones donde se cultiva se presentan largas estaciones secas (3 a 8 meses), por esta razón casi el 90% de las plantaciones de la región norte poseen sistemas de riego para suplir el déficit hídrico en esas épocas. Es así como en esas estaciones secas los cultivos requieren 0,58 l/s/ha (Álvarez, et. al., 2007).

2.3.2 Cultivo de Palma africana y conflictos de uso de la tierra en Colombia y el Mundo

El estudio de Mingorance, Minelli y Le Du (2004), aunque desarrolla un fuerte contenido social sobre los impactos del cultivo de Palma africana en el departamento del Chocó, también define unas áreas ambientalmente aptas para su cultivo, que son la Cuenca del Curbaradó, del Jiguamiandó, el municipio de Ungía, La Cuenca del Cacarica y del Salaquí, todas tierras de vocación agroforestal y agrícola.

En la zona oriental de Colombia, el cultivo de palma inició en el año 1961, en la Zona de Vida Bosque húmedo Tropical (bh-T), que se caracteriza por bosques de vegas y altillanuras asociados a sabanas, así como un importante sistema de bosque ripario de protección de los cauces. Las restricciones para el cultivo de palma están dadas por los suelos, ya que presentan baja fertilidad, acidez, inundaciones en invierno y escasez de agua en verano, por lo cual requiere de riegos en esa época, además por la presencia de humedales que aún no han sido estudiados y caracterizados en detalle (Pascuas y González, 1981).

En el norte colombiano las plantaciones de palma se iniciaron en el año 1945, en zonas que se caracterizan por fuertes insolaciones, con una estación seca de aproximadamente cuatro meses en el año, época en la cual requiere irrigación; con relieve plano a ondulado, donde se encuentran los bosques y los suelos más fértiles, con niveles freáticos entre 1.5 a 2 m, con pocas o ninguna restricción para cultivos y pastos (Pascuas y González, 1981).

En la zona central los cultivos de palma ingresaron a las áreas ubicadas en el Magdalena Medio, representadas por relieve plano y suelos ricos en materia orgánica, pobres en fósforo que necesitan fertilización para el crecimiento adecuado de la especie (Pascuas y González, 1981).

De lo que se manifiesta en el mundo acerca del cultivo de Palma africana, el panorama no es muy alentador. El documento de posición del Sur Global (2007), expresa que al momento, el 88% del comercio mundial de aceite de palma proviene de Malasia e Indonesia, lo que obedece a una expansión del área cubierta por este cultivo, pero que en los últimos 20 años su producción se duplicó en Malasia y se triplicó en Indonesia, a costa de la desaparición de sus bosques tropicales. Este mismo documento expresa que el gobierno de Sarawak, en el Borneo malayo, aceptó que se habían concesionado 2,4 millones de hectáreas de bosques para la industria palmícola y de la pulpa y papel, extensión que pudo llegar a 3 millones de hectáreas a finales de 2007, lo que constituye una cuarta parte del área total de Sarawak. Aún cuando estos bosques son reclamados por comunidades indígenas como parte de sus territorios tradicionales, y aunque muchas de estas comunidades dependen de los recursos del bosque para su subsistencia, ni la legislación ni el gobierno han reconocido totalmente sus derechos; y a pesar de sus continuas protestas, las plantaciones de palma continúan extendiéndose.

Las evidencias que han mostrado Oyep y Kamada (2000), muestran que al este y sur de Camerún, las plantaciones de palma están reemplazando los bosques nativos. Esto es alarmante debido a la perturbación de la estabilidad de los ecosistemas boscosos, pero sobretodo en las áreas que aún están en malas condiciones como el resultado del aprovechamiento forestal, además debido a la contaminación de los suelos y las aguas y la vulneración de la fauna, que se generan por el uso intensivo de los químicos en esas plantaciones (Sokoudjou, 2001).

En la provincia de Pichincha en Ecuador, el uso intensivo de insecticidas, fungicidas y herbicidas que han sido considerados como altamente peligrosos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), han contaminado las aguas en las zonas donde se cultiva Palma africana al exceder los límites recomendados para el consumo humano y animal. Además, las prácticas implementadas en el manejo de las plantaciones, ha generado la exposición de los suelos a la radiación solar y lluvia directas, permitiendo la erosión, compactación y su empobrecimiento, considerando también los cambios hidrológicos debidos a la deforestación y la canalización y el drenaje de las corrientes de agua (Buitrón, 2001).

Con todas las manifestaciones en contra de la forma en que se establece el cultivo de palma y sobre su manejo, existen algunas posiciones positivas frente a las plantaciones bien manejadas. El biólogo Olvin Andino, citado en Nuila (2009), ha demostrado que en el arrecife mesoamericano de Honduras, el cultivo de Palma africana logra el aumento en los niveles de agua de los mantos acuíferos, porque cada hoja de la palma viva o seca absorbe hasta 100 ml por axila, que multiplicado por aproximadamente 50 axilas por árbol, da un promedio de 5,000 ml de agua por planta, que es lentamente liberada al suelo por goteo facilitando con esto la absorción de esta en los mantos acuíferos, comportamiento similar al de los bosques naturales. Además explica que en las plantaciones de palma existe un corredor biológico que atrae diferentes especies de fauna. Señala un indicador biológico de sanidad en el ecosistema, que es la existencia de algunos predadores ubicados en la cima máxima de la cadena alimenticia como gavilanes, búhos, lechuzas, urracas, garzas, zopilotes, pizotes, mapaches, nutrias, zorras, gatos de monte, cocodrilos y serpientes entre otros predadores.

2.3.3 Dinámica de los cultivos de Palma africana en el Departamento del Cesar

Según FEDEPALMA (2000) los programas de fomento de la Palma africana en el departamento del Cesar fueron adelantados desde 1957 por el Instituto de Fomento Agrario (IFA) y por el Instituto Colombiano de Reforma Agraria (INCORA), en las zonas de colonización. Los estudios de Aguilera (2002) indican que en la Costa Caribe, las primeras sociedades constituidas por el IFA y particulares, para el cultivo de la palma y su explotación industrial fueron Palmas Oleaginosas Hipinto (1960), con Gaseosas Hipinto, Ramón Pinto, Bernabé Pineda y Ernesto Serrano, ubicada a treinta kilómetros al norte de San Alberto, cerca de San Martín, la cual fue una plantación mediana, de 1.450 hectáreas. Indupalma fue una de las más grandes plantaciones de América, con 8.000 hectáreas en palmas en San Alberto. Palmas Oleaginosas de Ariguaní, Palmariguaní (1961), con la familia Pumarejo Certáin, en Bosconia; y Palmas oleaginosas de Casacará, Palmacará (1963), con Dangond Hermanos, en Agustín Codazzi.

Al noroeste del municipio de San Martín, Cesar de Hart y su esposa Marta Pinto iniciaron en 1982 una plantación llamada La Cacica con 330 hectáreas. Para el año 1999, el área bruta ocupada por la palma de aceite sembrada, los canales de riego y las vías internas de las plantaciones, ascendieron a 25.031 hectáreas (Aguilera, 2002).

En 2005 existían en total 48.832 hectáreas en el departamento del Cesar, las que se ubicaban en los municipios de Codazzi, El Copey, San Alberto y San Martín (Bernal, 2005).

2.3.4 Potencial afectación del departamento del Cesar por cultivo de Palma africana

En un estudio publicado en el año 2000 por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, se afirma que "es importante recordar que las plantaciones de palma no son bosques, son ecosistemas uniformes que sustituyen los ecosistemas naturales y su biodiversidad. Esto usualmente resulta en impactos sociales y ambientales negativos, decrece la producción de agua, se modifica la estructura y composición de los suelos, se altera la abundancia y composición de especies de fauna y flora, se pierde la base del sustento de la población nativa y en algunos casos se produce el desplazamiento de las comunidades negras, indígenas y campesinas de la zona". El estudio demostró las irregularidades en el Incentivo a la Capitalización Rural (ICR) para cultivos de tardío rendimiento como la Palma africana, aclarando que se orienta directamente a la expansión de áreas sembradas en palma en cualquier región del país sin tener en cuenta consideraciones respecto a la conservación de la biodiversidad. Con un análisis microeconómico que permitió determinar el comportamiento de los productores ante cambios en el precio del crédito, se pudo determinar que los ICR "pueden estimular tanto a los actuales productores como a nuevos inversionistas a incrementar las áreas sembradas en Palma africana, reemplazando coberturas vegetales tan diferentes como son el bosque húmedo tropical y los pastos", además simuló el posible efecto que tendría sobre la biodiversidad el otorgamiento del ICR en dos zonas palmeras del país, la zona norte y la zona occidental, resultando que las pérdidas en biodiversidad irían desde 21,8% hasta 39,15 % en las diferentes áreas estudiadas (Moreno, 2000).

Lo cierto es que en el Departamento del Cesar las investigaciones han demostrado que el incremento del monocultivo de Palma africana es una actividad que ha aportado fuertes presiones sobre los ecosistemas del Departamento (Asamblea Departamental del Cesar, 2008). No obstante, la Ordenanza N° 000008 de la Asamblea Departamental del Cesar programa la ampliación del ICR para la plantación de 5.000ha de Palma africana en el Departamento.

2.4 Sensores Remotos

La tecnología de los sensores remotos es usada como instrumento para la obtención de información valiosa en los sectores público y privado, con base en las investigaciones que involucran fenómenos geofísicos y atmosféricos, por ejemplo el clima en las predicciones meteorológicas. Un sensor remoto es el conjunto de dispositivos que aprovechan el reflejo de la luz de un objeto en la superficie de la tierra para capturar sus propiedades espectrales, lo cual se logra por medio de mediciones hechas desde aeroplanos y satélites. Estas medidas son datos obtenidos a distancia que quedan capturados en fotografías aéreas o imágenes satelitales (Schowengerdt, 1997).

La precisión de los datos y de la información que resulta de su procesamiento, depende del nivel de detalle con que esos datos son obtenidos, y que está dado por la resolución espacial. Este último término se refiere a la mínima unidad de observación del terreno, que se representa con el tamaño del pixel de la imagen, es decir, para un tamaño de pixel de 30m pueden diferenciarse los objetos que aparecen en una parcela con lado de 30m en tierra, pero al hacer un acercamiento no pueden discreparse. Las fotografías aéreas capturan datos del terreno con alta resolución, dependiendo de la distancia a la superficie

desde el aeroplano, pero son costosas y el área que cubren para una investigación a gran escala normalmente no se encuentra disponible en su totalidad, excepto para estudios locales. Las imágenes satelitales, se eligen según los fines de la investigación, las fuentes disponibles para su procesamiento, el grado de experticia del intérprete y los costos que acarrea (Schowengerdt, 1997), características con las que pueden categorizarse de acuerdo a su resolución espacial aproximadamente en los tipos que se caracterizan en la Tabla 3.

Tabla 3. Tipos de resolución espacial de una imagen satelital

TIPO DE RESOLUCIÓN	RESOLUCIÓN ESPACIAL
BAJA	100m, 250m, 500m, 1000m y 10000m
MEDIA	20 m a 100 m
FINA	Menor de 20 m

Las imágenes satelitales por si solas no pueden brindar la información que sea requerida, para extraerla, organizarla, procesarla, interpretarla y llevarla a un mapa digital o análogo. Previamente es necesario planear para las imágenes la elección de la resolución más adecuada que según Quattrochi y Goodchild (1997), depende de las características de la escena y la variación deseada, del conocimiento previo de la zona de estudio y los niveles de referencia para la clasificación de los objetos en la imagen, así como la determinación de las variables que deben ser involucradas y las relaciones existentes entre ellas mismas para obtener la información precisa y apropiada, lo cual es posible gracias a los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Un SIG es definido como un software computacional que vincula información geográfica (dónde están las cosas) con información descriptiva (qué son esas cosas) y a diferencia de un mapa plano en papel, donde lo que se ve es lo que se puede obtener, un SIG representa muchas capas con distinta información a través de mapas digitales que son mucho más fáciles de manejar que los mapas en papel (Glennon, *et. al.*, 2006).

2.4.1 Usos de la tecnología de los sensores remotos en los estudios del territorio

Schowengerdt (1997) considera las siguientes aplicaciones de los sensores remotos en diferentes campos de investigación:

- Evaluación y monitoreo ambiental (crecimiento urbano y residuos peligrosos).
- Cambio global y monitoreo del cambio climático (destrucción de la capa de ozono, deforestación, calentamiento global).
- Agricultura (condición o estado del cultivo, predicción de la producción, erosión del suelo).
- Exploración de recursos naturales no renovables (minerales, combustibles, gas natural).
- Recursos naturales renovables (humedales, suelos, bosques, océanos).

- Meteorología (dinámicas de la atmósfera, predicción del clima).
- Mapeo (topografía, uso del suelo, ingeniería civil).
- Estrategia militar (política estratégica, evaluación táctica).
- Difusión de noticias (ilustración, análisis).

En la clasificación del territorio, los sensores remotos vinculados a los SIG han arrojado excelentes resultados. Por ejemplo el empleo de las imágenes satelitales como las obtenidas con los sensores Landsat, para la determinación de superficies de cultivos de un cierto tipo, se ha convertido en una técnica que avanza rápidamente mostrando ser de gran utilidad en la identificación y cuantificación de la biomasa y la productividad de diferentes cultivos a nivel mundial como la caña de azúcar, cítricos, soya, maíz, entre otros (Soriano, *et. al.*, 2001).

2.4.2 Metodología para estudios del territorio usando sensores remotos.

Como se mencionó anteriormente los SIG permiten la manipulación de diferentes datos geográficos para una misma zona por medio de la superposición de capas digitales. Esta es la base para realizar un estudio sobre los conflictos de uso de la tierra por medio de un SIG. Pero antes de comenzar este tipo de estudios es necesario considerar una etapa previa como se describe a continuación.

2.4.2.1 Preprocesamiento de Imágenes Satelitales.

La página web del Landcover Facility, distribuye gratuitamente imágenes satelitales obtenidas por medio de diferentes sensores remotos, para distintos lugares del planeta y en varios periodos de tiempo. Según Schowengerdt (1997) estas imágenes deben ser corregidas, porque son halladas la mayor parte del tiempo con alguna distorsión como la que se genera por la intervención de la atmósfera.

2.4.2.1.1 Aplicación de máscaras.

Aunque por lo general las imágenes satelitales reciben algún pretratamiento en la base receptora de la señal satelital, algunas de ellas son cargadas en la página web con unos márgenes que pueden causar errores en los diferentes cálculos y tratamientos, que involucran las medidas de reflexión de la luz de cada pixel. Así que es común encontrar un margen negro cuyo valor espectral es igual a cero y que debe ser removido para realizar la corrección atmosférica, que tiene como principio la eliminación del mínimo nivel de reflexión lumínica. Esto se logra con la aplicación de máscaras que reemplacen el dato de reflexión cero por la reflexión del blanco (256). Una vez se aplica la máscara se realiza la corrección atmosférica.

2.4.2.1.2 Corrección de Imágenes Satelitales. Este paso es obligatorio porque aunque no es notorio, el efecto de las partículas suspendidas y aerosoles en la atmósfera, cambia la intensidad con que la luz es reflejada y por esta razón un mismo cuerpo en distintas épocas o lugares puede quedar con distintos niveles digitales por la presencia o ausencia de dichas partículas.

Como lo explica Schowengerdt (1997), una aproximación para realizar la corrección atmosférica, es la estimación de los parámetros atmosféricos de la misma imagen, con parámetros refinados con algunas medidas disponibles y con aplicaciones iterativas de un modelo atmosférico, para lo cual se requiere primero la conversión de los niveles digitales de la imagen a niveles de alianza. Un método más sencillo y común, requiere la identificación de un “objeto oscuro” en la imagen, la estimación del nivel digital sobre ese objeto y la substracción de ese valor a cada pixel en la imagen. Los objetos oscuros pueden ser lagos claros, profundidades, sombras y pavimentos de asfalto.

El método de substracción del objeto oscuro, puede interpretarse como la resta a cada nivel digital de todas las bandas que conforman la imagen, del valor más pequeño en la banda 3 (longitud de onda del rojo), o el valor mínimo de cada banda, o los niveles de una región de interés (ITT Corporation, 2006).

2.4.2.2 Procesamiento de Imágenes Satelitales para los estudios del territorio.

Esta etapa incluye el procesamiento de los datos para obtener la información necesaria, por esta razón incluye la interpretación de la imagen, para saber qué tipo de información se tiene y cuáles son sus atributos. Esto ayuda en el logro de los objetivos de un estudio de la tierra que involucran el conocimiento de las diferentes clases de coberturas, para lo que es necesaria su clasificación. Se logra resaltando algunos atributos para su diferenciación por medio de diferentes transformaciones a las imágenes. Para esto debe recurrirse a la aplicación de transformaciones que resalten los atributos de la imagen utilizando índices de transformación como los índices de vegetación, *Tasseled Cap* y composiciones en falso color.

2.4.2.2.1 Aplicación de índices de vegetación. Los Índices de Vegetación (IV) están definidos en el tutorial del software ENVI 4.3 (2006), como combinaciones de la reflexión de una superficie en dos o más longitudes de onda, diseñadas para resaltar una propiedad particular de la vegetación con base en las diferencias espectrales del follaje de las plantas. Se han publicado en la literatura científica más de 150 índices de vegetación, sin embargo ENVI utiliza tan sólo 27 índices para detectar la presencia y abundancia relativa de pigmentos, agua y carbono como una expresión del espectro óptico de reflexión solar (entre 400 nm y 2500 nm).

Según Schowengerdt (1997) uno de los índices de vegetación más comúnmente utilizado es el **Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada o NDVI**. Este índice se usa extensamente para monitorear la vegetación a escalas globales y continentales con el uso de datos satelitales AVHRR (Townshend y Justice, 1986; Tucker y Sellers, 1986; Justice *et. al.*, 1991, citados por Schowengerdt, 1997). Este índice parece ser un pobre indicador de la biomasa de vegetación si la cobertura del suelo es baja, como en las regiones áridas

y semiáridas (Huete y Jackson, 1987, citados por Schowengerdt, 1997). La transformación del índice de vegetación utiliza los niveles digitales de la imagen satelital en la longitud de onda del infrarrojo cercano, en la cual se resalta altamente la actividad fotosintética de la vegetación y por lo tanto se hace mayor la reflexión de la luz, en comparación con el comportamiento de la vegetación en la longitud de onda del rojo, región en la que la luz es absorbida en mayor proporción, que se representa como lo muestra la Ecuación 1.

$$\text{NDVI: } \rho\text{NIR} - \rho\text{R} / \rho\text{NIR} + \rho\text{R} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

ρNIR : Niveles digitales de la banda del espectro óptico que corresponden a la longitud de onda del infrarrojo cercano.

ρR : Niveles digitales de la banda del espectro óptico que corresponden a la longitud de onda del rojo.

El **Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)** es un índice más usado para los ambientes de cobertura vegetal baja (Huete, 1988, citado por Schowengerdt, 1997). La expresión que lo calcula está dada en la Ecuación 2.

$$\text{SAVI: } (\rho\text{NIR} - \rho\text{R} / \rho\text{NIR} + \rho\text{R} + \text{L}) (1+\text{L}) \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde:

L: constante empíricamente determinada para minimizar la sensibilidad del índice de vegetación a la variación de la reflexión del fondo del suelo, si este valor es cero el SAVI es el mismo NDVI. Para rangos de cobertura intermedia, L está normalmente alrededor de 0.5 y el valor del SAVI está entre -1 y 1.

El **EVI o Índice de Vegetación Mejorado** es uno de los índices más comunes, similar al SAVI, calculados a partir de las observaciones satelitales para el seguimiento de la vegetación. Está directamente relacionado con el índice de área foliar (IAF) porque se basa en la propiedad espectral de la vegetación verde de absorber diferencialmente la radiación fotosintéticamente activa. El EVI calcula la diferencia normalizada de la reflexión entre las longitudes de onda del rojo e infrarrojo cercano, e incorpora una tercera longitud de onda (azul) que minimiza la influencia del suelo y la atmósfera (Oyarzabal, *et. al.*, 2008). Se calcula con base en la expresión de la Ecuación 3 y sus valores deben estar entre -1 y 1:

$$\text{EVI: } 2.5 (\rho\text{NIR} - \rho\text{R} / \rho\text{NIR} + 6 \rho\text{R} - 7.5\rho\text{B} + 1) \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Donde:

ρNIR : Niveles digitales de la banda del espectro óptico que corresponden a la longitud de onda del infrarrojo cercano.

ρR : Niveles digitales de la banda del espectro óptico que corresponden a la longitud de onda del rojo.

ρB : Niveles digitales de la banda del espectro óptico que corresponden a la longitud de onda del azul.

El **NDII o Índice de diferencia Normalizada del Infrarrojo**, es una medida de la reflexión que es más sensible a los cambios en el contenido de agua del dosel de las plantas. El NDII usa una fórmula de diferencia normalizada en lugar de una razón simple, cuyo valor aumenta con el incremento del contenido de agua, porque relaciona las medidas de reflexión en las longitudes de onda de Infrarrojo medio (1.649 nanómetros) donde la absorción de humedad de las hojas es la mayor y se compara con la longitud de onda del Infrarrojo cercano (819 nanómetros) donde esta medida es moderada (Ecuación 4). Las aplicaciones incluyen el manejo de cultivos, monitoreo del dosel del bosque y la detección de estrés de la vegetación.

$$\text{NDII} = \frac{\rho_{819} - \rho_{1649}}{\rho_{819} + \rho_{1649}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

ρ_{1649} : Niveles digitales de la banda del espectro óptico que corresponden a la longitud de onda del infrarrojo medio, en la fracción de 1649 nanómetros.

ρ_{819} : Niveles digitales de la banda del espectro óptico que corresponden a la longitud de onda del infrarrojo cercano, en la fracción de 819 nanómetros.

Cuando se comparan los resultados de diferentes IV en una clase específica y se correlacionan con las condiciones de campo medidas en un lugar, se puede evaluar cuales índices en una categoría en particular hacen el mejor trabajo en la modelación de la variabilidad en dicho escenario (Schowengerdt, 1997).

2.4.2.2 Transformación Tasseled Cap. El desarrollo de esta transformación se dio para hallar un conjunto de valores espaciales que representaran las propiedades físicas de los cultivos en crecimiento. Con la combinación de las bandas 1 a 5 y la banda 7 del Landsat, se logra una imagen con distintas bandas que corresponden al verdor (greenness), brillo (brightness) y humedad (wetness) (Schowengerdt, 1997). El modelo utiliza una matriz de transformación de los niveles digitales como se expresa en la Ecuación 5.

$$\text{TC} = \text{WTC} \times \text{DN} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

TC: Es la matriz con los datos de niveles digitales de la transformación

WTC: Pesos dados a las bandas según el atributo que se quiera resaltar en la transformación (brillo, verdor, humedad)

DN: Niveles digitales de cada banda.

2.4.2.3 Composiciones en falso color. Se refieren a la combinación de bandas para obtener arreglos que brindan mayor información sobre las diferentes coberturas de la tierra. ENVI (2006) permite realizar esta transformación a partir de un simple criterio, los niveles digitales de una banda pueden hacerse pasar por cualquier canal de la pantalla rojo, verde o azul (RGB). Es por esto que la combinación en color verdadero (321) permite observar a los cuerpos que reflejan el color rojo (en el terreno) de color rojo (en la

pantalla), lo que reflejan el azul se ven azules y los que reflejan el verde se visualizan de color verde. La combinación en falso color (432) que aplica las bandas del infrarrojo cercano, rojo y verde por los canales RGB, resulta en la visualización en pantalla de la vegetación vigorosa como los bosques y cultivos densos, con un realce en rojo de la banda del infrarrojo cercano; finalmente la combinación en falso color mejorado (453) que usa las bandas infrarrojo cercano, infrarrojo medio y rojo por los canales RGB, permite la visualización más llamativa de los bosques y cultivos densos en colores naranjas y en azules oscuros a los cuerpos de agua. A cada imagen es necesario aplicarle un realce de contraste para resaltar los atributos de interés.

2.4.2.2.4 Clasificación de Imágenes Satelitales

De acuerdo con la metodología definida por DANE, IGAC y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (2002), para realizar un análisis de conflictos de uso de la tierra es necesario conocer previamente las coberturas e interpretarlas en términos de uso de la tierra. Esto es posible con la identificación de las diferentes clases o tipos de coberturas en el territorio por medio del SIG. Pero como se referencia en los párrafos anteriores, debe iniciarse con unas transformaciones que ayuden a diferenciar las clases, además de la experticia del intérprete.

Una vez aplicadas las diferentes transformaciones, éstas deben compararse entre sí para determinar en cuál de ellas se diferencia en mayor grado las clases que se tendrán en cuenta durante la clasificación. Este paso se logra con un análisis de separabilidad de unas categorías preestablecidas por el usuario, en cada una de las transformaciones. Este análisis se aplica a cada una de las transformaciones por pares de clases, con el fin de obtener el valor del Índice de Jeffries-Matusita y el Índice de Divergencia Transformada. Los valores mayores a 1.9 de estos dos índices indican que el par de clases tienen buena separabilidad o pueden diferenciarse claramente. Para valores más bajos se debería mejorar la separabilidad editando las áreas o utilizando una transformación diferente, pero para los valores menores que 1 es recomendable unir las áreas en una única región de interés (Richards, 1999 citado en ENVI, 2006). Cuando esto está resuelto se procede a la afinación de las clases o regiones de interés, para finalmente realizar la clasificación de la imagen.

Regiones de Interés. Estas áreas poseen los niveles digitales de cada cobertura de la tierra que el intérprete considere. Estas regiones de interés o ROI deben tener un tamaño superior a un pixel o de acuerdo al número de bandas, se requiere seleccionar un mínimo de $p+1$ pixeles por categoría, siendo p el número de bandas que integran el análisis, aunque debe superarse en alto grado este límite mínimo (Schowengerdt, 1997). Varios autores recomiendan utilizar entre $10p$ y $100p$ por categoría (Jensen, 1986; Mather, 1987; citados por Chuvieco, 1990). Debe evitarse seleccionar pixeles en los límites de cambio entre una clase y otra para evitar la auto-correlación espacial, además debe preferirse seleccionar aleatoriamente un gran número de regiones de tamaño pequeño que unas pocas áreas de gran tamaño.

2.4.2.2.5 Clasificación de las Imágenes. Existen varios métodos de clasificación supervisada de imágenes, es decir, que requieren la definición de regiones de interés por el usuario, como el método del Paralelepípedo que usa una regla simple de decisión, la que forma una clasificación de n dimensiones definidas sobre la desviación estándar de la media según la clase seleccionada. El método de la distancia mínima usa los vectores de la media de cada clase y calcula la distancia euclidiana de cada pixel desconocido en dicha clase, asignando el valor según la mínima distancia. Otro de los métodos de clasificación más usados es el método conocido como Maximum Likelihood o del vecino más probable, que debe tener en cuenta todas las bandas de la imagen satelital y su expresión se calcula con el modelo de Richards (1999):

$$g_i(\mathbf{x}) = \ln p(w_i) - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_i| - \frac{1}{2} (\mathbf{x}-\mathbf{m}_i)^t \Sigma_i^{-1} (\mathbf{x}-\mathbf{m}_i)$$

Donde:

i: Clase (1, ..., m con m el número de regiones de interés).

x = valor digital de n dimensiones (vector donde n es el número de bandas).

$p(w_i)$ = probabilidad de que la clase correcta para un pixel X sea w_i .

$|\Sigma_i|$ = determinante de la matriz de covarianza de los datos en la clase w_i .

Σ_i^{-1} = es la matriz inversa.

\mathbf{m}_i = vector de la media.

Según ENVI (2006), este método asume que las estadísticas para cada clase en cada banda están normalmente distribuidas y calcula la probabilidad de que un pixel dado llegue a estar en una clase específica. El usuario al menos debe definir un umbral de probabilidad entre 0 y 1, para que todos los pixeles sean clasificados. Cada pixel es asignado a la clase que tiene la más alta probabilidad, este es el vecino más probable. Si esa probabilidad es más pequeña que el umbral que se especifica, los pixeles quedan sin clasificación.

Para realizar la clasificación puede tenerse en cuenta las siguientes claves para el nombramiento de coberturas de la tierra, como lo describe IGAC (2005).

Cultivos de Palma africana: En la imagen satelital pueden observarse estos cultivos en grupos con figuras geométricas y trazados con una gran cantidad de caminos internos e irregulares. También es posible observar en detalle las copas en forma de estrella, así que para su delimitación deben tenerse en cuenta estas características, como también el color y la intensidad con que brillan en la composición de falso color 453. Esta composición muestra un color particular de las superficies que resulta de la combinación de las bandas 4, 5 y 3 del espectro electromagnético, que corresponden a las longitudes de onda del Infrarrojo cercano, Infrarrojo medio y rojo respectivamente, que resaltan en colores naranjas o rojos con gran intensidad todos aquellos cultivos de Palma adulta, los cultivos de Palma joven se notan más opacos y en colores más claros.

Bosques y rastrojos: Estas coberturas suelen confundirse con cultivos muy densos por la similitud en su comportamiento espectral. En las composiciones de falso color, todas aquellas coberturas boscosas con gran actividad fotosintética se observan en tonos naranjas o rojos con alta intensidad del color, mientras que los rastrojos poseen menor intensidad en estos colores o se observan más brillantes. En cuanto a su ocupación en el

territorio se les suele encontrar como bosques riparios alrededor de ríos y quebradas, como pequeños conjuntos o fragmentos irregulares y de texturas moteadas.

Pastos: Las coberturas del suelo que se encuentren dispersas en la imagen satelital, en figuras irregulares y normalmente con cultivos inmersos o rodeados de rastrojos, vegetación arbustiva y por ríos, normalmente de tonos verde amarillentos corresponden a pastos que dependiendo de la intensidad del color, pueden ser manejados o naturales. En la composición 453 se observan en colores naranja claro o verde amarillo.

Otros Cultivos: Estos han de corresponder a los cultivos permanentes y transitorios que sean hallados. Se necesitan para hacer comparaciones por década respecto a lo que debería existir o se halló en otra época como cultivos comerciales de gran importancia para el país, respecto a la ocupación de estas áreas con Palma africana. En la composición 453 se observan los cultivos permanentes en tonos naranjas oscuros, cafés y vino tinto o a veces violeta cuando son cultivos de inundación. Los cultivos transitorios normalmente poseen las mismas características y en ocasiones se les encuentra en suelos descubiertos por estar en etapa de labranza de la tierra, para tal caso se consideran los suelos desnudos como una categoría aparte que podrían corresponder a cultivos transitorios.

Ríos y Cuerpos de Agua: Son superficies que se identifican fácilmente por las curvaturas en su forma como los meandros, porque normalmente se les observa franjas de vegetación riparia y en las composiciones de falso color como la 432 no poseen brillo, mientras en la composición 453 se notan en colores azul oscuro o azul violáceo. Dependiendo del grado de eutroficación de las aguas estas pueden notarse en la composición 453 en tonos entre naranjas y fucsias.

Áreas Urbanas: Estas normalmente son excluidas por el Índice de Vegetación y por lo tanto no son clasificadas, pero pueden servir como referencias para la ubicación de los cultivos, cuerpos de agua y otras coberturas. Son fácilmente reconocibles porque sus trazados generalmente se presentan en cuadrículas, en la composición de falso color 432 se observan en colores azules claros y en la composición 453 se notan en tonos de azul claro, lila y verde claro.

Eriales: Todos aquellos suelos descubiertos y resecos, normalmente arenosos y pedregosos son los eriales que en composición de falso color (453) se observan en tonos azul celeste muy claro a casi blanco.

Suelos desnudos: Estos incluyen los cultivos transitorios y en ocasiones algunos suelos removidos por movimientos en masa. Se observan en tonos verde amarillo y verde oliva con intensidad de claro a oscuro, dependiendo de la inundación pueden verse en tono azul petróleo más claro que el de los cuerpos de agua.

2.4.2.3 Procesamiento Post-Clasificación

Una vez se ha realizado las transformaciones de la imagen satelital y posteriormente la clasificación, deben aplicarse una serie de funciones que mejoren la visualización y la presentación de la información clasificada.

2.4.2.3.1 Corrección geométrica de las imágenes clasificadas

Según Hammer y Henderson (1991), en un análisis que utilice las superposición de datos de imágenes satelitales, es necesario que éstas presenten la misma ubicación geográfica, pero en caso de incumplir este requisito, debe recurrirse a una corrección de las medidas de la imagen. Como lo explica el tutorial del ENVI (ENVI, 2006) esta corrección es posible con el uso de puntos estratégicos de coordenadas planas o geográficas conocidas, que se hayan obtenido en campo o de alguna fuente cartográfica o fotográfica. Para empezar debe georreferenciarse adecuadamente la imagen más reciente con base en puntos de control obtenidos en campo. Los puntos de control deben ser sitios fácilmente reconocibles en el terreno como cabeceras urbanas, cruces de ríos y carreteras o puentes, cultivos fácilmente identificables, minas, entre otros. Posteriormente se utiliza una función de georreferenciación de Imagen a Imagen para que todas coincidan para cada época. Si el tamaño de pixel fuera diferente a la imagen de referencia, se deben aplicar funciones que permitan el cambio de la resolución o del número de filas y columnas, para cambiar el tamaño de la imagen.

2.4.2.3.2 Aplicación de filtros

Posterior a las correcciones geométricas, es necesario aplicar un filtro que elimine los pixeles individuales y aislados que generan ruido en la imagen clasificada, además que homogenicen las diferentes clases. Esto es suficiente con la aplicación de un filtro de mediana con *kernel* o cuadrícula de tamaño 3X3, que permite homogenizar las clases, elimina el aspecto moteado e impide la pérdida de gran cantidad de información en la imagen. El principio de este filtro es asignar a un pixel en el cuadro (3 pixeles por 3 pixeles) el valor del nivel digital del pixel del centro del mismo (Schowengerdt, 1997).

2.4.2.3.3 Verificación de la clasificación

Para verificar la información hallada en las imágenes satelitales, debe realizarse un análisis de precisión de la clasificación. Esto se logra comparando las clases resultantes del proceso de clasificación con unas clases reales, que se delimitan a partir de datos obtenidos en campo o en su defecto de la cartografía básica o temática existente para la zona de estudio. Como lo explica ENVI (2006), un método común para este análisis es la obtención de una *Matriz de Confusión*, que permite calcular el Coeficiente de Kappa, la precisión total, la exactitud del usuario y del producto. El Coeficiente de Kappa es una medida del porcentaje de acierto en la clasificación digital, al comparar un resultado de la clasificación con una región verdadera; la exactitud del producto se refiere a la probabilidad porcentual de que el clasificador haya etiquetado correctamente un pixel de la imagen en una clase real dada; la exactitud del usuario indica la probabilidad porcentual de que una cobertura de una clase particular coincida con la realidad (Figura 3). Estos índices expresan una mayor precisión en la clasificación entre más cercanos se encuentren a un valor de 1.

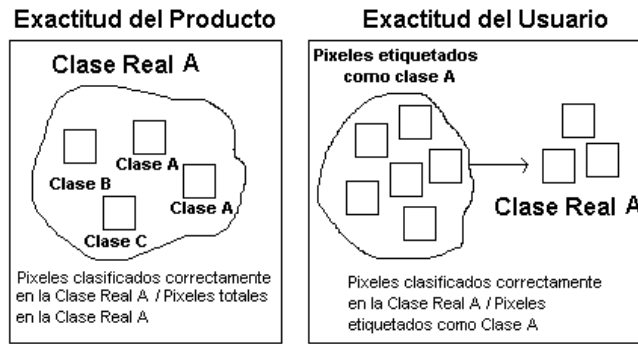


Figura 3. Diferencias entre Exactitud del Producto y Exactitud del Usuario

2.4.2.4 Análisis multitemporal de imágenes satelitales

Consiste en analizar comparativamente dos o más imágenes de la misma zona para épocas diferentes. Tiene muchas aplicaciones en el estudio de los Recursos Naturales, una de las cuales es la detección de los cambios que sufren las diferentes coberturas vegetales por la intervención del hombre en una determinada área, permitiendo así un monitoreo continuo sobre áreas de interés y la interpretación de los posibles conflictos por uso de la tierra (Correa y Múnera, 2003). Los *Análisis de detección de cambios* como el que ofrece ENVI (2006), permiten identificar, describir y cuantificar las diferencias entre dos imágenes de una misma zona en diferentes épocas o bajo distintas condiciones, generando una tabla multitemporal de cambios.

3 METODOLOGÍA

La revisión de los conceptos sobre el cultivo de la Palma africana en Colombia y en el Departamento del Cesar, así como los criterios definidos por la legislación ambiental en el país sobre los recursos suelo, agua y flora, permiten seleccionar una metodología aplicable a la determinación de los conflictos de uso de la tierra en torno al cultivo de la palma, a partir de datos espaciales contenidos en imágenes satelitales de diferentes épocas. En la Figura 4 se muestra la metodología general del proceso que hace referencia a los métodos enunciados en el capítulo 3 de esta investigación.

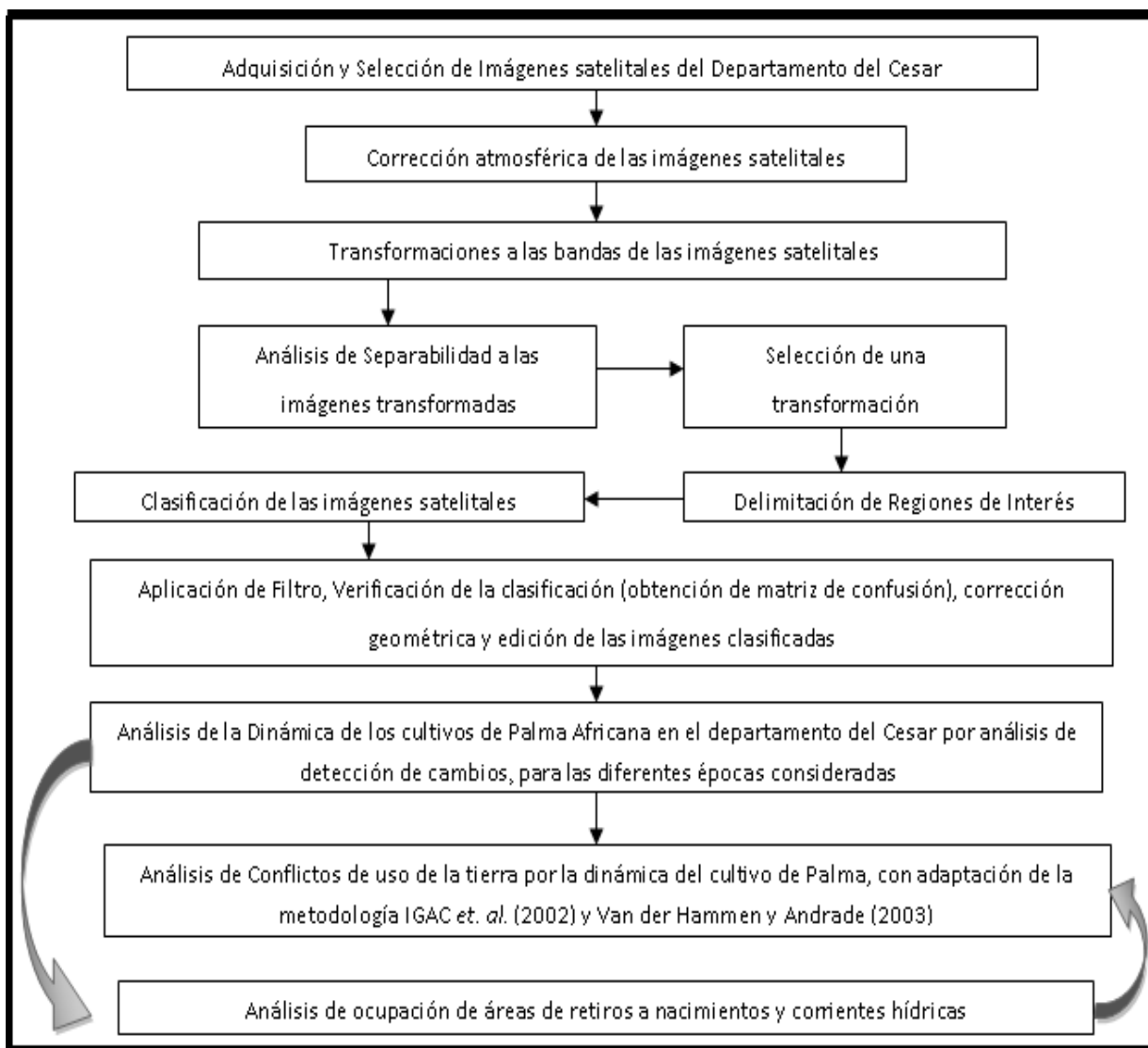


Figura 4. Diagrama de flujo de la metodología aplicada en la investigación

3.1 Materiales y Equipos

En el Anexo 1 y Anexo 2 se muestra el listado de imágenes utilizadas para el desarrollo de esta investigación, así como la cartografía básica y temática, el software y equipos necesarios para la obtención y procesamiento de los datos. Acá están incluidas sólo las imágenes satelitales útiles, que corresponden a las que poseen la mínima nubosidad, es decir aproximadamente entre el 0 y el 5% del área total de la imagen. En el Anexo 2 se indican dos tipos de imágenes que se diferencian por su resolución. Las imágenes Landsat Thematic Mapper (TM) y Enhanced Thematic Mapper (ETM+) tienen resolución de 30m, las imágenes Landsat Multispectral (MSS) tienen resolución de 80m.

3.2 Preprocesamiento de Imágenes Satelitales

Como se mencionó en el capítulo 3, en la etapa del preprocesamiento de las imágenes satelitales se hace la corrección de los márgenes negros con las funciones del ENVI 4.3, a las imágenes satelitales que los poseían, aplicando una máscara para eliminar los niveles digitales con valores iguales a cero. Para esto se utilizó el comando *Masking* del menú *Basic Tools* donde el parámetro o valor de la máscara fue 256, que corresponde al nivel digital del blanco. Posteriormente a todas las bandas de las imágenes se les realizó Substracción del Objeto Oscuro con un parámetro igual al valor del mínimo nivel digital de cada banda. Esto se logró con ayuda del comando *Preprocessing* del menú *Spectral*.

3.3 Procesamiento de Imágenes Satelitales

Siguiendo la metodología explicada en el marco conceptual, se realizó la clasificación de las imágenes, pero primero se aplicaron transformaciones para lograr definir adecuadamente las regiones de interés o clases que permitieron la aplicación del método de clasificación.

3.3.1 Transformaciones de las imágenes

Fue necesaria la creación de nuevas bandas sintéticas aplicando varias transformaciones, antes de diferenciar las regiones de entrenamiento en las imágenes satelitales. Se eligieron los índices de vegetación NDVI, EVI y NDII porque son más sensibles a los cambios en la absorción de radiación fotosintéticamente activa y agua, que es un comportamiento similar al de la Palma africana. También se trabajó con la transformación *Tasseled Cap* para obtener bandas de verdor, brillo y humedad.

3.3.2 Análisis de Separabilidad

En el Capítulo 3 se indicó que es necesario elegir un índice de transformación para resaltar los atributos de interés que se requieren durante el proceso de clasificación. Con ayuda del ENVI en cada transformación se delimitaron unas regiones de interés que se sabía a qué tipo de cobertura correspondían, por ser datos georreferenciados en campo. Luego se les realizó un análisis de separabilidad con la función *Compute Region of*

Interest (ROI) Separability, para obtener el índice de Jeffries-Matusita y el índice de divergencia transformada, que explican la separabilidad de las regiones en cada transformación.

3.3.3 Composiciones en falso color

La transformación que brindó la mayor diferenciación entre las regiones de interés o clases, se aplicó como máscara a todas las bandas de todas las imágenes del estudio, con valores mínimo y máximo de 0 y 256 respectivamente, y con un argumento de máscara igual a cero para visualizar solamente lo que resalta la transformación. A esta imagen con máscara se le llamó Grupo 1 y al resto de la imagen se le llamó Grupo 2. Una vez terminó este paso, se combinaron las bandas para obtener composiciones 453, 432 y 321.

3.3.4 Clasificación de las imágenes satelitales

Con ayuda de la función *ROI Tool* del ENVI se dibujaron las regiones de interés con base en el conocimiento de la región, de las coberturas y de su comportamiento espectral en las diferentes composiciones. A cada región se le dio el nombre de una cobertura con base en la guía del IGAC (2005).

Para realizar la clasificación se eligió un método supervisado según los datos fueran ajustables a él o no. Se consideraron todas las bandas y las regiones de interés antes mencionadas.

3.4 Procesamiento post-clasificación.

Como fue necesario mejorar la información resultante de la clasificación, se tuvieron en cuenta los siguientes pasos.

3.4.1 Corrección geométrica de las imágenes clasificadas.

Con ayuda de los puntos de control (Anexo 3), se georreferenció la imagen más reciente, luego se aplicó la función *Georeferencing Image to Image* del ENVI a la demás imágenes clasificadas. Para aquellas que tenían una resolución diferente a la de la imagen de referencia se aplicó previamente la función *Resize Data*.

3.4.2 Aplicación de Filtros.

A cada imagen clasificada se aplicó un filtro de mediana con *kernel* 3X3 para eliminar los píxeles más pequeños.

3.4.3 Verificación de la clasificación.

Con los datos obtenidos en campo (Anexo 4), en cartografía básica (escala 1:500.000) y con los datos de la clasificación se elaboró en ENVI una Matriz de Confusión, que permitió calcular el Coeficiente de Kappa, la precisión total, la exactitud del usuario y del producto.

3.4.4 Edición de las imágenes clasificadas.

Todas las imágenes se cortaron con base en polígonos de las zonas de estudio, es decir los municipios del Departamento del Cesar donde se cultiva Palma africana. Se eliminaron los polígonos pequeños con la función *Sieve* de ENVI, de tal forma que quedaran sólo aquellos polígonos con un área superior a 7200m² (área mínima mapeable para escalas de 1:60.000).

3.5 Análisis de la dinámica de los cultivos de Palma africana en el departamento del Cesar.

Como se explica en el numeral 0, la metodología para los estudios del territorio implica el análisis de los cambios temporales para la identificación de los posibles conflictos y para darles soluciones. Se utilizó la herramienta *Change detection analysis* del ENVI, que genera estadísticas para la estimación del crecimiento de las categorías clasificadas en la imagen, así como las unidades de áreas reemplazadas por las demás categorías. Los resultados más relevantes que se consideraron son los que hacen alusión al reemplazo de otras coberturas por el cultivo de palma, así como el crecimiento o disminución de los cultivos. El análisis de cambio se aplicó por municipio para cada dos épocas, partiendo de un año cero en el que no existían plantaciones de palma, cuando fue posible, para poder estudiar el reemplazo de otras coberturas por parte de este cultivo.

3.6 Análisis de invasión de áreas de retiros a nacimientos y corrientes hídricas con cultivos de Palma africana.

Este análisis se realiza para complementar los resultados de conflictos de uso de la tierra, y por razones consideradas en la legislación ambiental colombiana. Principalmente el Decreto 1449 de 1977 expresa que no se permite el establecimiento de actividades agropecuarias, urbanas, industriales ni comerciales en una franja de 30 metros en las corrientes hídricas y 100 metros a la redonda de los nacimientos de agua. Así también la Ley 99 de 1993 exhorta al respeto a los retiros de las corrientes hídricas y sus nacimientos.

Para este análisis se tuvo en cuenta la cartografía básica a escala 1:100.000 de la red hidrográfica de los municipios del Cesar donde existen cultivos de Palma africana. Con base en ese mapa y los mapas de coberturas de la tierra, se realizó en ArcGis 9.2, un análisis de Selección por atributos y por ubicación de los cultivos de palma, utilizando un buffer o barrera de 30m en las corrientes hídricas y de 100m al rededor de los nacimientos de estas corrientes.

3.7 Análisis de conflictos de uso de la tierra en torno al cultivo de Palma africana en el departamento del Cesar.

Como se referencia en el marco teórico, existe una metodología general usada en Colombia para definir conflictos por uso de la tierra. Pero otros estudios consideran, además de los atributos de esa metodología, un estudio más profundo que involucra el estado de los relictos de bosque y rastrojos. La Figura 5 muestra una adaptación de ambas metodologías, que se logró incluyendo un estudio de ecología del paisaje con el estado de la infraestructura ecológica, a la metodología general para la determinación de conflictos de uso de la tierra. Esta unión de métodos es la que se utilizó en este estudio.

Los usos actuales de la tierra se definieron con base en las coberturas clasificadas, y con ayuda de la guía para la elaboración de Planes Agropecuarios Municipales de la Secretaría de Agricultura y *et. al.* (1993). La superposición de los mapas de uso actual de la tierra (por municipio de interés) y áreas protegidas generaron las áreas en conflicto de uso en áreas protegidas. La superposición de los mapas de uso actual (por municipio de interés) y vocación de uso de la tierra generaron las áreas en conflicto de uso (excluyendo las áreas protegidas ya evaluadas). La Tabla 4 presenta la clave de asignación de conflictos de uso de la tierra y de conflictos en áreas protegidas.

Tabla 4. Clave para la asignación de conflictos de uso de la tierra

COBERTURA	USO ACTUAL	VOCACIÓN DE USO	CONFLICTO DE USO DE LA TIERRA	CONFLICTO DE USO DE LA TIERRA EN ÁREAS PROTEGIDAS
BOSQUE RASTROJO	Y FORESTAL PROTECTOR	Forestal	Uso Adecuado	Uso Adecuado
		Agrícola*	Muy Subutilizado	Uso Adecuado
		Ganadería	Muy Subutilizado	Uso Adecuado
		Agroforestal	Subutilizado	Uso Adecuado
		Cuerpos de agua	Uso Adecuado	Uso Adecuado
		Conservación	Uso Adecuado	Uso Adecuado
CULTIVOS PERMANENTES Y TRANSITORIOS Y SUELOS DESNUDOS (CULTIVOS TRANSITORIOS)	Y AGRÍCOLA	Forestal	Uso Muy Inadecuado	Uso Muy Inadecuado
		Agrícola*	Uso Adecuado o Subutilizado	Uso Inadecuado Uso Adecuado con restricciones en Resguardos Indígenas
		Ganadería	Uso Inadecuado	Uso Muy Inadecuado
		Agroforestal	Uso Inadecuado	Uso Muy Inadecuado
		Cuerpos de agua	Uso Muy Inadecuado	Uso Muy Inadecuado
		Conservación	Uso Muy Inadecuado	Uso Muy Inadecuado
CULTIVOS DE PALMA AFRICANA (CULTIVO PERMANENTE)	Y AGRÍCOLA	Forestal	Uso Inadecuado	Uso Muy Inadecuado
		Agrícola*	Uso Adecuado o Subutilizado	Uso Inadecuado en áreas de Reserva Forestal y en Resguardos Indígenas

Tabla 4. Clave para la asignación de conflictos de uso de la tierra

COBERTURA	USO ACTUAL	VOCACIÓN DE USO	CONFLICTO DE USO DE LA TIERRA	CONFLICTO DE USO DE LA TIERRA EN ÁREAS PROTEGIDAS
		Ganadería	Uso Inadecuado	Uso Muy Inadecuado
		Agroforestal	Uso Inadecuado	Uso Muy Inadecuado
		Cuerpos de agua	Uso Muy Inadecuado	Uso Muy Inadecuado
		Conservación	Uso Muy Inadecuado	Uso Muy Inadecuado
PASTOS	PECUARIO	Forestal	Uso Muy Inadecuado	Uso Muy Inadecuado
		Agrícola*	Subutilizado	Uso Inadecuado
		Ganadería	Uso Adecuado	Uso Inadecuado
		Agroforestal	Uso Inadecuado	Uso Muy Inadecuado
		Cuerpos de agua	Uso Muy Inadecuado	Uso Muy Inadecuado
		Conservación	Uso Muy Inadecuado	Uso Muy Inadecuado

Fuente: adaptación de la clave y nomenclatura utilizada por la Secretaría de Agricultura, et. al. (1993) e IGAC (2007).

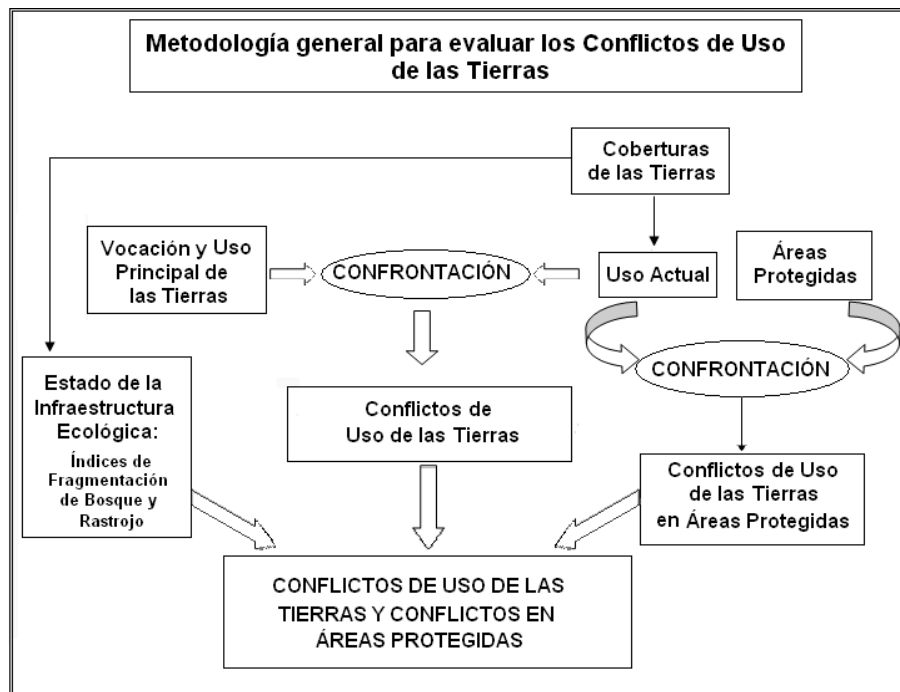


Figura 5. Metodología general adaptada para la determinación de conflictos por uso de la tierra.

Fuentes: DANE, IGAC y Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (2002); Van der Hammen y Andrade (2003)

En la Tabla 4 el asterisco en la vocación de uso Agrícola, significa que se consideró además el nivel de fertilidad de los suelos para definir si la tierra permitiría cultivos más diversos, transitorios y que aporten a la seguridad alimentaria de la población. Ese nivel de fertilidad se tomó de un mapa a escala 1:500.000 elaborado por IGAC en 1978 (Meisel y Pérez, 2002) sobre los diferentes niveles de fertilidad natural de los suelos en Colombia, que van desde el nivel bajo hasta el alto (Anexo 10).

El análisis de fragmentación de bosques y rastrojos en el territorio, se hizo con el programa Fragstats 3.3 (McGarigal y Ene, 2001) citado por Marhs, Holmes y Ene, (2001) y se calcularon: área promedio de parches, densidad de parches, índice del parche mayor e índice de conectividad. Este análisis sirvió de complemento al análisis de conflictos de uso de la tierra en el territorio, en las zonas donde se cultiva Palma africana.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los capítulos anteriores se definió una metodología general para los tratamientos digitales de las imágenes satelitales, que permitieron extraer y manejar los datos contenidos en ellas. A partir de la información que se logró con estos procesos, se realizaron los análisis definidos en el capítulo 4 para obtener el crecimiento del cultivo de palma en el departamento del Cesar, las coberturas que han sido reemplazadas por el cultivo de palma, los conflictos más recientes posibles por uso de la tierra debidos al mismo cultivo, así como la determinación de la ocupación o no de áreas protegidas y áreas de retiros a corrientes hídricas y nacimientos en las zonas donde la palma es cultivada. En este capítulo se presenta la discusión de los resultados obtenidos del procesamiento, tanto de las imágenes como de la información de ellas obtenida.

Como se explicó en el proceso metodológico del capítulo 4, a cada banda de cada imagen satelital se le aplicó una máscara y corrección atmosférica por substracción de objeto oscuro, para evitar que aparecieran niveles digitales iguales a cero que impidieran la aplicación de la corrección atmosférica y segundo para eliminar los efectos aditivos existentes en las imágenes por presencia de partículas atmosféricas que dispersan la luz incidente en el terreno.

4.1 *Procesamiento de imágenes satelitales.*

4.1.1 Transformaciones de las imágenes satelitales.

Como se determinó en la metodología para esta investigación, se aplicaron las transformaciones por índices de vegetación y *Tasseled Cap*, de las que resultaron las imágenes que se muestran de la Figura 6 a la Figura 11. Allí están representadas las transformaciones aplicadas en las bandas de la imagen satelital del año 2001 de la zona norte del Departamento del Cesar, para ensayar los dos tipos de transformación y posteriormente elegir sólo una que se pueda aplicar al resto de las imágenes.

Transformación Tasseled Cap. De la Figura 6 a la Figura 8, se muestra el resultado de esta transformación que corresponde a las bandas del verdor, humedad y brillo.

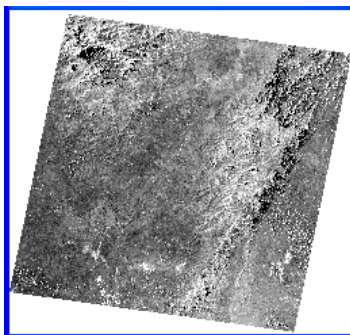


Figura 6. Componente Greenness (verdor) - Transformación Tasseled Cap.

En la Figura 6 puede observarse que el componente greenness resalta las zonas boscosas de las partes bajas de la Serranía del Perijá y de la Sierra Nevada de Santa Marta.

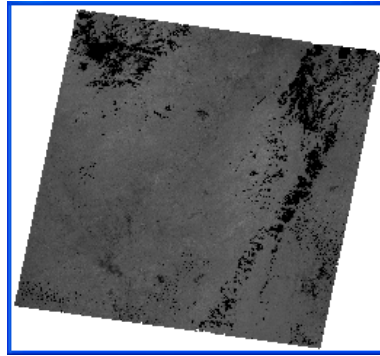


Figura 7. Componente Wetness (humedad) - Transformación Tasseled Cap.

El componente wetness no permite diferenciar adecuadamente las diferentes coberturas vegetales por su contenido de humedad.

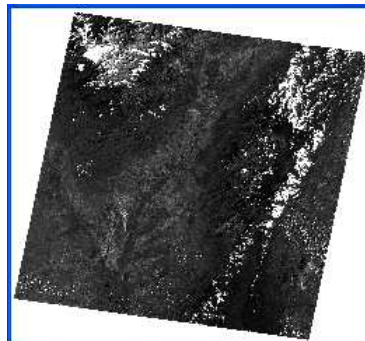


Figura 8. Componente Brightness (brillo) - Transformación Tasseled Cap.

En la Figura 8 se resaltan las zonas donde se presenta nubosidad y algunas partes de zonas nevadas en la Sierra Nevada de Santa Marta. Las otras coberturas que más se resaltan comparativamente son los suelos desnudos y pastos.

Índices de Vegetación. De la Figura 9 a la Figura 11 se presentan las imágenes resultantes de la aplicación de los Índices de Vegetación NDVI, EVI y NDII respectivamente.

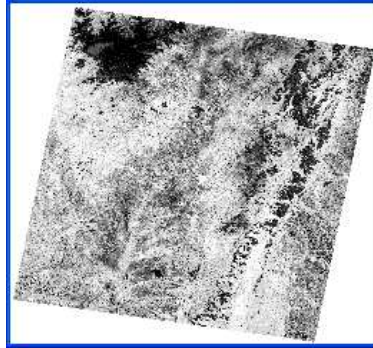


Figura 9. Índice de Vegetación NDVI (Diferencia Normalizada entre las bandas del Infrarrojo Cercano - 4 y Rojo - 3).

En esta figura pueden observarse muy brillantes las coberturas vegetales, aunque con mayor homogeneidad a diferencia de las zonas boscosas que son las que más se resaltan.

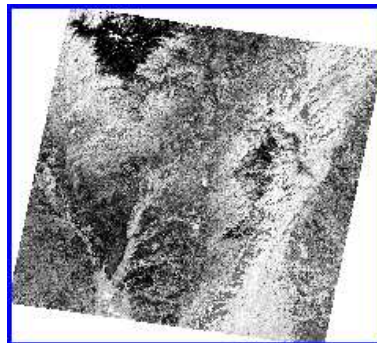


Figura 10. Índice de Vegetación NDII (Índice de diferencia Normalizada del Infrarrojo).

La Figura 10 muestra cómo se resaltan en mayor proporción las zonas boscosas de las partes bajas de la Serranía del Perijá y de la Sierra Nevada de Santa Marta. Las demás coberturas vegetales como pastos y cultivos se observan brillar pero en menor proporción que los bosques y rastrojos. En la aplicación de este índice también logra resaltarse los cuerpos de agua y los cultivos de palma brillan más que el resto de cultivos.

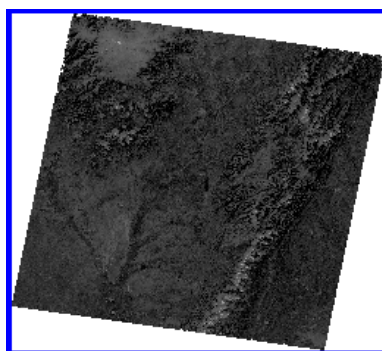


Figura 11. Índice de Vegetación EVI (Índice de vegetación mejorado).

La Figura 11 muestra que el EVI resalta más las áreas donde el suelo está más descubierto que las zonas boscosas, de rastrojos y de cultivos densos. Sin embargo genera gran confusión.

Al observar las transformaciones de la imagen en las anteriores figuras, el NDII se visualiza como el índice que mejor distinción ofrece entre zonas con vegetación y cuerpos de agua y las zonas sin vegetación. Sin embargo, el análisis de separabilidad de las clases en la imagen transformada, es la cuestión determinante para elegir un tipo de transformación y así posteriormente realizar la clasificación de las imágenes. A continuación se muestran los resultados del análisis de separabilidad de las clases en cada tipo de transformación.

4.1.2 Análisis de Separabilidad.

El comportamiento espectral de las diferentes coberturas de la tierra, comparando sus niveles digitales para cada tipo de transformación, está registrado en la Tabla 5 y Tabla 6. En estas tablas se presenta el índice de Jeffries-Matusita, cuyos valores superiores a 1.9 indican que el par de clases tienen buena separabilidad. El índice de convergencia transformada arrojó resultados muy similares.

Tabla 5. Comparación de los niveles digitales entre pares de clases en la imagen transformada por el cálculo de Tasseled Cap

Clase	Índice de Jeffries-Matusita						
	Bosques	Palma joven	Palma adulta	Cultivos	Pastos	Suelo desnudo	Cuerpos de agua
Bosques		1,54004603	0,62200043	1,82106014	1,98225694	1,99994195	1,96528587
Palma joven			1,99545218	1,99976472	1,94522962	1,98934344	1,99970453
Palma adulta				1,74412173	1,99885963	1,99999693	1,98957599
Cultivos					1,99278105	1,99081704	1,92571646

Tabla 5. Comparación de los niveles digitales entre pares de clases en la imagen transformada por el cálculo de Tasseled Cap

Clase	Índice de Jeffries-Matusita						
	Bosques	Palma joven	Palma adulta	Cultivos	Pastos	Suelo desnudo	Cuerpos de agua
Pastos						1,86357741	1,99275129
Suelo desnudo							1,97042403
Cuerpos de agua							

Tabla 6. Comparación de los niveles digitales entre pares de clases en las imágenes transformadas por los Índices de Vegetación

Clase	Índice de Jeffries-Matusita						
	Bosques	Palma joven	Palma adulta	Cultivos	Pastos	Suelo desnudo	Cuerpos de agua
Bosques		1,63844381	0,70930872	1,83654347	1,99881537	2	1,99960457
Palma joven			1,99782987	1,9904716	1,99924131	1,99993612	1,98711539
Palma adulta				1,78956155	1,98552726	2	1,99999872
Cultivos					1,99341363	1,99973873	1,97556034
Pastos						1,98444872	1,95983742
Suelo desnudo							1,88824576
Cuerpos de agua							

El análisis de separabilidad entre clases de coberturas vegetales y no vegetales, muestra buenos resultados con un índice superior a 1,9. Sin embargo, entre las coberturas vegetales como palma y bosques estos análisis indican que la separabilidad no es suficiente, porque presentan índices inferiores a 1, para el caso de la palma y los bosques, o inferior a 1,9 entre palma adulta y cultivos. Esto explica que estas coberturas aún pueden confundirse al momento de realizar la clasificación de la imagen, aunque se haya realizado la transformación. A pesar de esto los mejores resultados con índices un poco mayores, los arroja la transformación por índices de vegetación.

De lo que puede observarse en la Figura 10, el índice que mejor diferenciación ofreció y que resaltó las zonas boscosas y de cultivos densos es el NDII. Este índice también se eligió como transformación por incluir no sólo las coberturas vegetales más vigorosas sino también los cuerpos de agua, lo cual es importante para el resto de los análisis. Pero para reducir la confusión que queda luego de aplicar la transformación, fue necesario separar las clases más susceptibles, así que los bosques se dividieron en bosque y rastrojo.

4.1.3 Composiciones en falso color.

A cada imagen por época se aplicó la transformación con el NDII. Se obtuvieron dos grupos, uno con coberturas vegetales y cuerpos de agua y otro correspondiente al resto de coberturas. Para la posterior clasificación se aplicó a cada grupo, una composición 453 y una adicional, la composición 432, para facilitar el proceso de reconocimiento de las coberturas. En la Figura 12 se muestra un ejemplo de lo que se puede observar con estas transformaciones finales, pero en el capítulo 3 numeral 2.4.2.2.5, se explicó la forma de interpretar la visualización de esta transformación de las imágenes. En la composición 453, los bosques vigorosos se observan en tonos naranjas oscuros, mientras que los pastos se notan entre tonalidades verdes y naranjas claros.

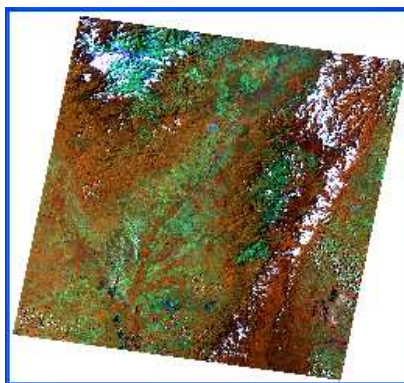


Figura 12. Composición en falso color mejorado de las bandas 453.

La Figura 12 permite diferenciar los cultivos más densos como aquellas coberturas en colores naranjas encendidos, mientras que los bosques se observan en tonos más oscuros. Los pastos presentan coloraciones entre naranja y verde y los suelos desnudos se observan entre verde y azul.

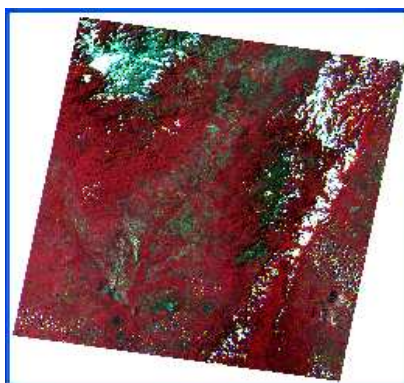


Figura 13. Composición en falso color de las bandas 432.

En la Figura 13 esta composición muestra que los cultivos de palma pueden diferenciarse con colores rojos encendidos más claros que los bosques.

4.1.4 Clasificación de las imágenes satelitales.

Para definir las clases de coberturas se realizó un recorrido de campo previo en la zona de estudio, para realizar un acercamiento a los diferentes tipos de coberturas que fueron definidos como regiones de interés en el proceso de clasificación. De la Figura 14 a la Figura 27 se muestran las coberturas de la tierra identificadas en campo. Así fue posible deducir 12 clases que corresponden a las Regiones de Interés durante la clasificación de las imágenes. Las clases fueron las siguientes: cultivos de palma joven, cultivos de palma adulta, bosques, rastrojos, pastos, cultivos transitorios y permanentes, suelos desnudos, ríos y cuerpos de agua, áreas urbanas, eriales, nieve, nubes y sombras. Las dos últimas se tuvieron en cuenta porque en esas áreas no era posible saber que cobertura existía.

4.1.4.1 Cultivos de Palma africana. Las plantaciones que se observan en la Figura 14 y la Figura 15, se encuentran ubicadas en la Finca Campo Grande. Se pueden diferenciar dos estados del cultivo tanto en las fotografías como en las imágenes satelitales, uno que corresponde a la etapa adulta o senil y otro a la etapa juvenil o primaria. Durante los recorridos de campo se observó la tendencia de los cultivos de palma a ubicarse cerca a las corrientes hídricas.



Figura 14. Cultivos de palma joven (inferiores a un año de edad).

Finca Campo Grande, municipio del Algarrobo, límite entre Magdalena y Cesar. Coordenadas planas: 602.162 E, 1.126.932 N.



Figura 15. Cultivos de palma adulta (superior a 6 años).

Finca Campo Grande, municipio de Algarrobo, límites entre Magdalena y Cesar. Coordenadas planas: 601.392 E, 1.128.272 N.

4.1.4.2 Bosques y rastrojos. Los bosques corresponden a aquellos estados maduros con cierto nivel de intervención, que pueden ser bosques primarios, o los que se encuentran en etapas sucesionales finales; también entran en esta categoría por su similitud en el comportamiento espectral, los bosques plantados. Los rastrojos son bosques en etapas de regeneración inicial que en las imágenes satelitales siempre se observan menos densos que los bosques y en tonos más claros, pero normalmente en fragmentos o masas asociadas a pastos y bosques.



Figura 16. Bosque (sucesión tardía).

Municipio de El Copey, Coordenadas planas: 604.504 E, 1.110.365 N.



Figura 17. Rastrojo bajo.

Municipio de El Copey, Coordenadas planas: 609.169 E, 1.114.962 N

4.1.4.3 Pastos. Incluye las zonas más limpias de malezas, árboles y arbustos como los pastos manejados y los pastos naturales o no manejados con presencia de helechos y algunos árboles aislados.



Figura 18. Pasto manejado.

Municipio de El Copey - 603.564 E, 1.110.192 N.



Figura 19. Pasto no manejado.

Municipio de El Copey - 602.029 E, 1.111.677 N

4.1.4.4 Cultivos. Los cultivos permanentes son los que se siembran y que perduran sin remoción de la capa vegetal, mientras que los transitorios presentan frecuentes rozas y remociones del material vegetal y arado de la tierra. En las imágenes satelitales podrían observarse suelos desnudos que corresponden a los cultivos transitorios en épocas de barbecho.

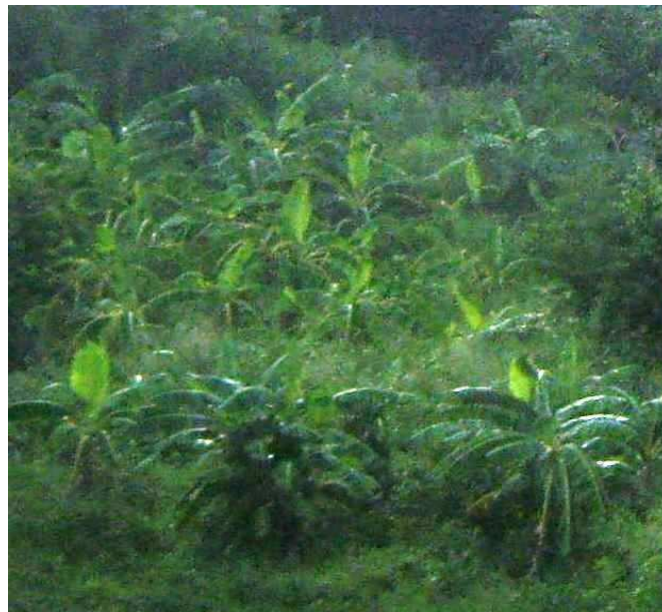


Figura 20. Cultivo permanente (plátano).

Municipio de El Paso. Coordenadas planas: 640.456 E, 1.064.231 N.



Figura 21. Cultivo transitorio (maíz).
Municipio de San Martín – 661.499 E, 889.299 N.



Figura 22. Cultivo transitorio (arroz).
Municipio de El Copey – 601.392 E, 1.117.385 N.

4.1.4.5 Ríos y cuerpos de agua. Son las áreas ocupadas por lagos, lagunas, quebradas y ríos principales, embalses, en general cualquier humedal y cuerpos de agua artificiales.



Figura 23. Cuerpo de agua (humedal).
Municipio de San Martín. Coordenadas planas: 649.206 E, 876.104 N.

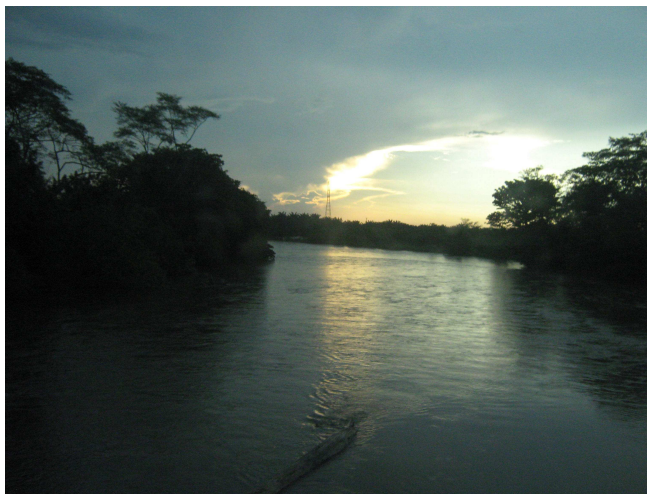


Figura 24. Cuerpo de agua (Río Magdalena).
Municipio de El Copey. Coordenadas: 600.206 E, 1.114.982 N.

4.1.4.6 Áreas urbanas. Corresponden a los cascos urbanos y otras construcciones que se hallen aglomeradas o muy cercanas entre sí.

4.1.4.7 Eriales. Estas son las áreas que normalmente presentan algún tipo de desecación y movimiento de tierras. Algunas zonas mineras presentan estas características.



Figura 25. Zona erosionada

4.1.4.8 Suelos desnudos. Estos son las zonas donde se presentan cultivos transitorios pero en su etapa no productiva cuando se está arando la tierra para la siembra. Incluye también las áreas deforestadas para la siembra de cultivos permanentes o transitorios.



Figura 26. Suelo desnudo (preparación del terreno para cultivar maíz)

Municipio de El Copey. Coordenadas planas: 601.617 E, 1.112.407 N.



Figura 27. Suelo desnudo (maíz recién plantado).

Municipio de El Copey. Coordenadas planas: 603.343 E, 1.113.144 N.

Luego de definir las regiones de interés con base en las coberturas definidas para el territorio del departamento del Cesar, se graficaron los niveles digitales de cada región por cada banda en un diagrama que indicó distribución normal o muy similar a esta, razón por la que se aplicó el modelo de clasificación *Maximum Likelihood*, que asume este criterio. Resultaron dos grupos de clasificación según lo que resaltó la transformación. El grupo 1 resultó de la clasificación sobre las imágenes a las que se les aplicó como máscara la transformación NDII. El grupo 2 se obtuvo de la clasificación sobre las imágenes que tenían una máscara inversa del mismo índice. Las coberturas que se hallaron en cada grupo fueron:

Grupo 1: clasificación resultante de la imagen transformada donde se resaltan los cultivos de palma, bosques, otros cultivos y cuerpos de agua. En las imágenes de la parte norte del Departamento del Cesar se incluyeron las zonas nevadas, porque en esta se encuentra la Sierra Nevada de Santa Marta. Sin embargo esta cobertura no se tuvo en cuenta al editar cada imagen.

Grupo 2: clasificación que resultó de las partes de la imagen que no se resaltaron con la transformación NDII. En esta aparecen los suelos desnudos, eriales y pastos.

Las imágenes clasificadas y editadas para cada época se muestran desde el Anexo 5 hasta el Anexo 8. En ellas puede observarse la recurrencia del cultivo de palma especialmente en el norte y extremo sur del departamento del Cesar. Los cultivos detectados en el año 1977 se encontraban en los municipios de El Copey, Agustín Codazzi, San Martín y San Alberto, lo que corrobora la información secundaria hallada sobre el crecimiento de los cultivos en el departamento. En el año 1991 los cultivos de palma se extendieron a los municipios de Becerril y La Paz. Entre los años 2001 y 2007 aparecieron en el municipio de Río de Oro.

4.2 Procesamiento post-clasificación.

4.2.1 Corrección geométrica de las imágenes clasificadas.

Los puntos de control tomados en campo para la georreferenciación de la imagen de referencia (la más actual del año 2007) se muestran en el Anexo 3. Con ayuda del ENVI, lo primero que se hizo fue la aplicación de las funciones *resample* y *resize*, para cambiar el tamaño de la imagen (filas y columnas) y el tamaño del pixel, a aquellas imágenes que no tenían la misma resolución y ubicación que la imagen del año 2007. El fin de este proceso fue obtener una idéntica ubicación espacial y tamaño de pixel, para los mismos objetos en las diferentes imágenes. Estas funciones se le aplicaron a las imágenes Landsat MSS que poseen una resolución más baja (80m), así como a las imágenes Landsat TM que tenían una resolución diferente. El paso final fue la georreferenciación de imagen a imagen a través de los puntos de control. Este proceso resultó muy eficiente porque la ubicación y tamaño de los cultivos de palma clasificados, coincidieron en las áreas que se repetían en cada imagen.

4.2.2 Análisis de precisión.

En el Anexo 4 se presentan los puntos de control tomados en campo que fueron considerados dentro del análisis de precisión por *Matriz de Confusión*. Estos puntos sirvieron para dibujar regiones verdaderas de interés, las que se compararon con las regiones clasificadas en las imágenes para determinar la precisión de la clasificación. En la Tabla 7 se presentan los resultados del Coeficiente de Kappa y la precisión promedio para todas las imágenes clasificadas.

Tabla 7. Análisis de precisión de las clasificaciones por matriz de confusión

AÑO	GRUPO	ZONA	PRECISIÓN PROMEDIO (%)	COEFICIENTE DE KAPPA
1977	1	Norte	74,15	0,67
		Sur	84,18	0,79
		Extremo Sur	83,39	0,79
	2	Norte	87,3	0,82
		Sur	94,39	0,9
		Extremo Sur	79,6	0,73
1991	1	Norte	90,47	0,87
		Sur	96,2	0,94
		Extremo Sur	95,22	0,92
	2	Norte	97,42	0,96
		Sur	99,71	0,99
		Extremo Sur	97,08	0,94
2001	1	Norte	80,47	0,75
		Sur	92,5	0,9

Tabla 7. Análisis de precisión de las clasificaciones por matriz de confusión

AÑO	GRUPO	ZONA	PRECISIÓN PROMEDIO (%)	COEFICIENTE DE KAPPA	
2007	2	Extremo Sur	78,02	0,72	
		Norte	94,76	0,93	
		Sur	89,77	0,86	
		Extremo Sur	89,83	0,86	
	1	Norte	66,62	0,59	
		Sur	82,15	0,77	
		2	Norte	85,24	0,8
			Sur	90,8	0,88

Con el análisis de precisión de la clasificación se comprobó que las imágenes clasificadas poseen datos útiles para su procesamiento, porque los niveles de precisión resultaron con valores adecuados (cerca al 100%), especialmente para las clasificaciones del grupo 2 desde 1991 hasta 2007, donde se notó una menor confusión entre clases. El Coeficiente de Kappa, índice que mide la precisión de la clasificación, siendo 0 la menor precisión y 1 la mejor, arrojó valores cercanos a 1. Sin embargo los valores que no estuvieron muy cercanos al 100% o a 1 para el caso del índice de Kappa, indicaron que aún queda confusión entre algunas de las clases consideradas. Esta situación pudo darse entre la palma joven con el rastrojo, lo que el modelo de clasificación no mejoró con nuevas regiones de interés. Por esta razón se debió corregir la clasificación de forma manual, con la modificación de los polígonos con base en las imágenes naturales y en composición en falso color.

4.2.3 Aplicación de filtros.

A cada imagen resultante se aplicó un filtro sencillo para reducir el efecto moteado resultante del proceso de clasificación.

4.2.4 Edición de las imágenes clasificadas.

Se delimitaron las zonas de interés, cortando cada imagen con máscaras que correspondían a cada uno de los municipios donde se identificaron cultivos de Palma africana. Las máscaras fueron imágenes raster de los municipios de Agustín Codazzi, Valledupar, El Copey, Becerril, La Paz, Río de Oro, San Martín y San Alberto. Con el fin de presentar la información a una escala 1/60.000, se aplicó la función *sieve* del ENVI con lo que se eliminaron los grupos de píxeles que representaban polígonos inferiores a 7.200m².

4.3 Análisis de la dinámica de los cultivos de Palma africana en el departamento del Cesar.

A cada uno de los municipios donde existe el cultivo de palma, se realizó un análisis de cambio de las diferentes coberturas, con la función *Change detection analysis* del ENVI. El análisis se realizó por cada par de años, para conocer el cambio en una época definida. Para esto se tuvo en cuenta un año cero (cuando no existía palma) con el fin de averiguar que cobertura reemplazó el cultivo de palma cuando este no se había establecido. En los municipios de Codazzi, El Copey, San Martín y San Alberto, el año cero no se pudo considerar porque en ellos el cultivo se inició antes de 1977 y de esas fechas no se tuvo acceso a imágenes satelitales. En los municipios de Becerril, La Paz y Valledupar, el año cero que se consideró fue 1991, porque en esa época no se detectaron cultivos de palma y para el municipio de Río de Oro, el año cero fue 2001. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 8 y en la Tabla 9. La Tabla 8 presenta las cifras del crecimiento del cultivo de palma para las diferentes épocas. La Tabla 9 indica el reemplazo de los bosques, rastrojos, cultivos permanentes y transitorios, pastos o cuerpos de agua, por el cultivo de palma.

Tabla 8. Crecimiento de los cultivos de Palma africana en el departamento del Cesar

PERÍODO	MUNICIPIO	CRECIMIENTO DEL CULTIVO (Ha)	CRECIMIENTO DEL CULTIVO (%)
1977-1991	BECERRIL	746,05	---
	CODAZZI	116,48	7,60
	EL COPEY	3747,15	709,00
	LA PAZ	1072,17	---
	SAN ALBERTO	3513,55	123,44
	SAN MARTÍN	1128,95	140,47
	VALLEDUPAR	428,95	---
1991-2001	BECERRIL	32,49	242,38
	CODAZZI	1718,48	104,15
	EL COPEY	673,82	15,76
	LA PAZ	399,87	37,30
	RÍO DE ORO	655,00	---
	SAN ALBERTO	282,83	4,45
	SAN MARTÍN	915,08	47,35
	VALLEDUPAR	235,15	54,82
2001-2007	BECERRIL	630,63	63,80
	CODAZZI	244,08	7,25
	EL COPEY	1222,90	24,72
	LA PAZ	30,30	2,06
	RÍO DE ORO	71,31	10,89
	VALLEDUPAR	322,30	48,53

Tabla 8. Crecimiento de los cultivos de Palma africana en el departamento del Cesar

PERÍODO	MUNICIPIO	CRECIMIENTO DEL CULTIVO (Ha)	CRECIMIENTO DEL CULTIVO (%)
CRECIMIENTO TOTAL DE PALMA EN EL CESAR (1977-2007)		18187,53	1643,95

Tabla 9. Análisis de cambio de coberturas debido al establecimiento de cultivos de Palma africana en el departamento del Cesar

PERÍODO	MUNICIPIO	OCUPACIÓN DE OTRAS COBERTURAS POR PALMA (%)						ESTADO FINAL (Ha)
		Bosque	Rastrojo	Cultivos Permanentes y Transitorios	Suelo desnudo	Pasto	Cuerpos de agua	
1977-1991	BECERRIL	0,03	1,06	----	0,83	0,83	----	746,05
	CODAZZI	0,10	0,05	----	1,01	0,20	----	1650,00
	EL COPEY	3,00	5,00	----	0,35	7,00	----	4275,93
	LA PAZ	0,05	0,96	----	0,87	1,74	----	1072,17
	SAN ALBERTO	0,65	20,99	----	0,49	7,28	----	6360,00
	SAN MARTÍN	0,59	0,34	----	0,07	1,79	----	1932,67
	VALLEDUPAR	0,00	0,08	----	0,08	0,22	----	428,95
1991-2001	BECERRIL	0,00	0,02	0,12	0,70	0,12	----	988,43
	CODAZZI	0,25	0,99	1,43	0,80	1,55	----	3368,48
	EL COPEY	0,87	0,05	0,09	0,87	1,06	----	4947,96
	LA PAZ	0,08	0,26	0,92	0,50	0,52	----	1472,04
	RÍO DE ORO	2,19	2,10	0,85	0,00	1,17	----	655,00
	SAN ALBERTO	0,05	3,71	1,86	2,01	7,44	----	6642,82
	SAN MARTÍN	0,42	1,30	1,25	1,87	1,50	0,52	2847,75
	VALLEDUPAR	0,04	0,18	0,32	0,03	0,10	----	664,10
2001-2007	BECERRIL	0,64	0,71	----	0,20	0,63	----	1619,06
	CODAZZI	1,04	0,99	----	0,11	0,44	28,23	3612,56
	EL COPEY	1,82	0,84	----	1,51	2,06	----	6170,86
	LA PAZ	0,20	0,78	----	0,05	0,18	----	1502,34
	RÍO DE ORO	0,09	0,88	0,14	0,05	0,52	----	726,31
	VALLEDUPAR	0,36	0,08	0,00	0,02	0,10	----	986,40
TOTAL REEMPLAZADO POR PALMA EN EL CESAR (1977-2007)		12,46	41,37	35,21	12,40	36,44	0,52	52669,86

En la Tabla 8 puede observarse que el mayor crecimiento lo tuvieron los cultivos de Palma en los municipios de El Copey, San Martín y San Alberto en el año 1991, cuando superó el doble de su tamaño original en el 77, así como en el municipio de Agustín Codazzi en el año 2001.

Como lo indica el análisis de cambio en la Tabla 9, la mayor ocupación de la tierra con el cultivo de Palma africana en el departamento del Cesar, desde el año 1977 hasta 2007, se presenta en el municipio de San Alberto con 6.642ha para el año 2001, seguido por el municipio de El Copey con 6.170ha a 2007, valores que en ningún caso llegan a ocupar la cuarta parte del área total de los municipios. El reemplazo significativo de otras coberturas por el cultivo de Palma se ha presentado principalmente en los municipios de San Alberto entre 1977 y 1991, periodo en el que se desplazó de forma notoria a los rastrojos preexistentes (20% de su área total), al igual que en el municipio de Agustín Codazzi en el año 2007, cuando se reemplazó un cuerpo de agua en la plantación, no obstante, este pudo ser un pozo diseñado para la captura de agua para el cultivo.

Como constante se presenta el reemplazo de coberturas de pasto (cantidades superiores al 7%) y suelos desnudos que en cada época pudieron dedicarse a la siembra de cultivos transitorios o permanentes, pero también han desplazado fracciones de áreas de cultivos establecidos (inferiores al 1%). Sin embargo los bosques maduros no han sufrido efectos significativos porque se han reemplazado tan sólo entre el 1-2% de su extensión en las diferentes épocas analizadas. En general se observó que cuando el cultivo se incrementó en mayor proporción, lo hizo reemplazando de manera importante áreas de pastos (>7%), rastrojos (>4%) y bosque (>2%).

4.4 Análisis de invasión de áreas de retiros a nacimientos y corrientes hídricas con cultivos de Palma africana.

Se consideraron los valores reglamentados en el Decreto 1449 de 1977, para las franjas de retiros a las corrientes hídricas y los nacimientos como se mencionó en el capítulo 4. Desde el Anexo 12 hasta el Anexo 19 se representa la invasión de estas áreas con palma. Como interés conocer la situación más reciente, el análisis se hizo sólo para el año 2007 y para el año 2001 en los municipios de San Alberto y San Martín, de los cuales no se posee la imagen completa del año 2007. El análisis en este proceso se complementó con la información de un mapa de humedad climática. Este mapa contiene la distribución de la humedad en todo el departamento del Cesar y sirve para analizar que tan importantes son las áreas donde existen cultivos de Palma, según las zonas de humedad. En el Anexo 11 se muestra la ubicación de los cultivos de Palma según la zona de humedad climática en el departamento del Cesar.

Con base en informaciones generadas por Jaramillo (2004) sobre humedad climática, se halló que los cultivos de palma se ubican en zonas secas en los municipios de Valledupar, El Copey, La Paz y Agustín Codazzi, pero también en zonas húmedas en los municipios de Becerril, Río de Oro, San Martín y San Alberto (Anexo 11).

Como puede observarse desde el Anexo 12 hasta el Anexo 19, en el año 2007 y 2001 el cultivo de Palma se ubicaba en los retiros de fuentes hídricas en todos los municipios considerados en el análisis, resaltando que por la escala de información a la que está

dada la hidrografía (1:100.000) estas corrientes pueden corresponder a ríos y quebradas principales, así por ejemplo el Río Tucuy en Becerril, Río Fernambuco y afluentes del Río Sicarare y Casacará en Agustín Codazzi, Arroyo Fernández y retiro del Río Ariguaní en El Copey, Río Fernambuco y afluentes del Río Cesar en La Paz, Río San Alberto en San Alberto, Río Ovejas y Badillo en Valledupar, así como caños en cada municipio y cercanía a las Ciénagas como en el municipio de San Martín, con una distancia mínima aproximada de 1.800m. Además el cultivo de palma ocupaba áreas de retiro de los nacimientos de fuentes hídricas en los municipios de San Alberto y San Martín en el año 2001.

Como es notorio en este análisis, el cultivo de Palma ha estado irrespetando las áreas de retiros a las corrientes hídricas y nacimientos donde se ubican, lo que puede acarrear impactos negativos en la oferta hídrica de las zonas donde se ubican, por tratarse en su mayoría de zonas secas donde los cultivos deben recibir constantemente agua proveniente de sistemas de irrigación. No obstante la ley no es permisiva con la invasión de las áreas de retiros, sino que deben ser declaradas como áreas de manejo especial, y administradas por las Corporaciones Autónomas Regionales de manera adecuada, alertando a los propietarios de los predios sobre la reubicación de sus actividades agropecuarias.

4.5 Análisis de conflictos de uso de la tierra en torno a los cultivos de Palma africana en el departamento del Cesar.

Siguiendo la metodología descrita en el capítulo 4, se tomaron como base los mapas de coberturas de la tierra que resultaron del proceso de clasificación (Anexo 5 - Anexo 8). A estos mapas, por municipio de interés, se les adicionó y relacionó un atributo llamado uso actual de la tierra, que permitió reclasificar la información de coberturas para ajustarla a las clases del mapa de vocación de uso. Luego de incluir esta información, cada mapa se superpuso con un mapa de áreas protegidas de la región del Cesar del año 2009 (Anexo 9), y con un mapa de vocación de uso de la tierra del año 2002. Se asumió que la vocación de uso de las tierras no cambia en cortos periodos de tiempo, por ser el uso que puede soportar la tierra de acuerdo a las condiciones físicas y químicas. Sólo se realizó la superposición de mapas para el año 2007, que es la época más cercana a la fecha del mapa de áreas protegidas, para cada municipio. La información obtenida en este análisis resultó incompleta para los municipios de San Martín y San Alberto porque las imágenes satelitales de esa fecha, no cubrieron la parte sur del departamento en su totalidad.

Utilizando la clave para asignación de conflictos (Tabla 4), se comparó la información de usos actuales de la tierra (en el año 2007), la vocación de uso de la tierra y las áreas protegidas, y se obtuvo un nuevo atributo con la información de los conflictos por uso de la tierra, tanto en áreas protegidas como no protegidas.

Al realizar el análisis de superposición entre el mapa de áreas protegidas y de usos de la tierra, resultó que alrededor del 10% del área de los cultivos de palma en el municipio de El Copey, en el año 2007, se encontraban en una zona de Reserva Forestal, área que permite el establecimiento de usos forestales para la protección y producción forestal. En estas zonas el cultivo de palma generó un conflicto por uso inadecuado, porque es un cultivo con prácticas agrícolas más intensivas que las actividades que requiere un bosque

protector – productor, uso que es permitido en las reservas forestales. En el año 1991 existía pasto en la fracción de Reserva forestal que en 2007 estaba ocupando el cultivo de palma. A pesar de que esos pastos como cobertura son menos benéficos que el cultivo de la palma, era prudente permitir el crecimiento de la vegetación nativa o la instauración de un sistema forestal protector-productor que es el uso permitido en estas reservas forestales.

En la Tabla 10 se indican los conflictos de uso de la tierra por el cultivo de Palma africana, mientras que en la Tabla 11 se presentan los resultados de los conflictos de uso de la tierra en general, en cada uno de los municipios en el año 2007.

Tabla 10. Conflictos de uso de la tierra por el cultivo de Palma africana (Año 2007)

MUNICIPIO	ÁREAS EN CONFLICTO Y USO ADECUADO (%) POR CULTIVO DE PALMA AFRICANA			ÁREA TOTAL MUNICIPIO (Ha)
	SUBUTILIZADO	INADECUADO	MUY INADECUADO	
BECERRIL	1,16	0,14	0,01	123.734
AGUSTÍN CODAZZI	1,78	0,15	0,09	175.527
EL COPEY	6,58	0,14	---	97.854
LA PAZ	0,36	---	0,97	112.153
RÍO DE ORO	1,51	---	---	48.012
SAN ALBERTO	2,32	---	---	24.748
SAN MARTÍN	4,52	---	0,01	84.028
VALLEDUPAR	0,23	---	---	419.405

Tabla 11. Conflictos de uso de la tierra en las zonas de estudio (Año 2007)

MUNICIPIO	ÁREAS EN CONFLICTO Y USO ADECUADO (%)					
	ADECUADO	USO ADECUADO CON RESTRICCIONES	INADECUADO	MUY INADECUADO	SUBUTILIZADO	MUY SUBUTILIZADO
BECERRIL	50,34	4,65	9,81	20,32	7,10	5,28
AGUSTÍN CODAZZI	62,41	0,17	0,10	28,35	4,85	3,80
EL COPEY	53,52	0,00	0,16	22,24	11,01	12,88
LA PAZ	51,36	0,00	4,78	26,86	12,43	4,38
RÍO DE ORO	28,56	0,00	2,19	26,03	37,50	5,73
SAN ALBERTO	48,77	0,00	0,18	9,61	27,00	14,44
SAN MARTÍN	22,73	0,00	0,25	6,56	60,03	8,99
VALLEDUPAR	35,83	0,88	3,78	32,44	20,52	5,28

Como está indicado en la Tabla 10, en cada municipio objeto de análisis se presentaron conflictos por subutilización de la tierra. Los valores oscilaron alrededor del 1% y hasta el 7% del área de los municipios. Esta situación resultó como consecuencia de la plantación de palma en áreas que son aptas para usos agrícolas más intensivos. El resultado por subutilización de la tierra es más considerable en los municipios de El Copey (6,58%) y San Martín (4,52%). También se dio un uso inadecuado en el año 2007, alrededor del 0,1% del área de los territorios de Becerril, Agustín Codazzi y El Copey, por actividad agrícola en áreas de Reserva Forestal o con vocación forestal.

El uso muy inadecuado de la tierra fue más significativo en el municipio de La Paz, aunque en pequeña proporción (menor al 1% del área del municipio), por el uso agrícola de la palma en zonas que deberían estar dedicadas a la conservación.

Los resultados mostrados en la Tabla 11 indican el panorama que se observa en el Departamento del Cesar, en los municipios donde se ha establecido el cultivo de Palma africana. La subutilización del suelo hacia la parte sur ha ocupado más del 50% de la superficie del municipio de San Martín, conflicto en el que se ha hecho partícipe el cultivo de la palma. En Becerril, Valledupar, Río de Oro, y La Paz el uso adecuado del suelo fue sobresaliente, pero los conflictos por uso inadecuado fueron más altos (entre 3% y 9%). Así también el uso muy inadecuado por la producción agrícola en zonas para la conservación o en áreas protegidas, fue altamente significativo, con valores superiores al 20% o al 30% como sucedió en Valledupar.

El problema del establecimiento del cultivo de Palma sobre zonas en conflicto por subutilización de la tierra, puede probarse con la información sobre la fertilidad de los suelos en esos lugares (Anexo 10). Hacia la parte sur del departamento, donde se presentaban conflictos por subutilización de la tierra debidos al cultivo de palma, la fertilidad de los suelos resulta ser de las mejores (nivel moderado), aunque algunos cultivos no representan un conflicto mayor por estar en zona de fertilidad muy baja. Igualmente ocurre en las zonas de cultivos de palma en los municipios de la parte norte del Departamento, la fertilidad está entre moderada y alta, sin embargo los conflictos por otros usos de la tierra son principalmente inadecuados.

4.5.1 Análisis de la fragmentación de bosques maduros y secundarios y repercusiones del establecimiento del Cultivo de Palma africana.

El análisis de conflictos de uso de la tierra por la intervención del cultivo de Palma africana, requiere el análisis de los efectos en la estructura del paisaje, específicamente en los bosques. Para esto se obtuvieron estadísticos que indican el nivel de fragmentación de los bosques en el año 2007, y el año 2001 para los municipios de San Alberto y San Martín, de los cuales no se posee la imagen completa del año 2007.

La información obtenida en el análisis de fragmentación de bosques y rastrojos, sirvió para complementar el análisis de cambio de coberturas y conflictos de uso de la tierra por el establecimiento de la palma, considerando si el cultivo influyó en la fragmentación de bosques en esa época. En la Tabla 12 y en la Tabla 13, se presentan los resultados de los índices de fragmentación de los bosques y rastrojos.

Tabla 12. Índices de fragmentación de bosques en los municipios donde existe el cultivo de Palma africana. Años 2007 y 2001

AÑO	MUNICIPIO	DENSIDAD DE PARCHES (Parches/100ha)	ÍNDICE DEL PARCHÉ MAYOR (%)	ÍNDICE DE CONECTIVIDAD (%) a 300m	ÍNDICE DE CONECTIVIDAD (%) a 1000m
2007	BECERRIL	4,72	1,06	0,07	0,21
	AGUSTÍN CODAZZI	6,46	1,08	0,07	0,06
	EL COPEY	6,16	0,77	0,07	0,34
	LA PAZ	12,36	0,78	0,06	0,12
	RÍO DE ORO	6,19	0,91	0,09	0,61
	VALLEDUPAR	9,58	0,88		
2001	SAN ALBERTO	6,21	0,52	0,11	0,58
	SAN MARTÍN	7,67	0,93	0,05	0,35

Tabla 13. Índices de fragmentación de rastrojos en los municipios donde existe el cultivo de Palma africana. Años 2007 y 2001

AÑO	MUNICIPIO	DENSIDAD DE PARCHES (Parches/100ha)	ÍNDICE DEL PARCHÉ MAYOR (%)	ÍNDICE DE CONECTIVIDAD (%) a 300m	ÍNDICE DE CONECTIVIDAD (%) a 1000m
2007	BECERRIL	7,69	0,24	0,06	0,26
	AGUSTÍN CODAZZI	9,47	0,23	0,32	0,06
	EL COPEY	9,34	1,73	0,32	0,3
	LA PAZ	11,71	1,81	0,05	0,14
	RÍO DE ORO	6,37	6,53	1,66	0,6
	VALLEDUPAR	4,58	0,1		
2001	SAN ALBERTO	10,28	0,06	0,09	0,41
	SAN MARTÍN	16,99	0,1	0,04	0,27

La fragmentación de los bosques aunque es alta en los municipios objeto de análisis, no ha sido inducida de forma significativa por el cultivo de palma, porque éste ha reemplazado pequeñas porciones de la cobertura en bosque maduro. Sin embargo la situación cambia cuando se trata de los rastrojos, que son importantes como ecosistemas para el crecimiento de la vegetación nativa y para la protección de suelos y cauces de agua. En los municipios donde el cultivo de palma ha presentado un mayor repunte, San Alberto, El Copey y San Martín, la fragmentación de los bosques en crecimiento es mayor en comparación con los bosques maduros, e igualmente sus áreas y conexión entre parches son mínimas (Tabla 12 y Tabla 13).

En los municipios de La Paz, Agustín Codazzi y San Martín donde se ha presentado conflicto por uso inadecuado del suelo en las zonas cultivadas con palma, la densidad de parches de bosque es mayor en comparación con los demás municipios, excepto por Valledupar que posee una cifra mayor que San Martín y Agustín Codazzi. Sin embargo este indicador individualmente no expresa el estado de la fragmentación, la separación entre parches y su tamaño es lo que la determinan.

El municipio de La Paz posee parches de bosque de área pequeña (menor al 0,78% del área total del municipio), baja conexión (0,03% de los parches se conectan en una distancia de 300m y aumenta con la distancia) y agrupación de parches de densidad baja (12 parches en 100ha), porque en su mayoría los parches son pequeños y separados, es decir, poseen un área promedio de 2,1ha y una separación aproximada de 4ha. Los parches de rastrojo se comportan de forma similar al bosque, sin embargo aún se conserva una masa de bosque y rastrojo de tamaño considerable (30% del área total del municipio) en la zona de la Serranía del Perijá.

El municipio de Agustín Codazzi posee parches de bosque de área pequeña (menor al 1,08% del área total del municipio), conexión adecuada (0,07% de los parches se conectan en una distancia de 300m y aumenta si disminuye su distancia) y agrupación de parches de densidad baja (6,46 parches en 100ha), es decir, un área promedio de 1,0459ha y una separación aproximada de 14ha. Los parches de rastrojo se comportan de forma similar al bosque, pero está menos fragmentado porque en su mayoría los parches son grandes y poco separados, esto es, con un área promedio de 12,3ha y por lo tanto una separación menor a 0,01ha (9,5 parches en 100ha). En todo caso aún se conserva una masa de bosque y rastrojo de tamaño considerable (27% del área total del municipio) en la zona de la Serranía del Perijá.

El municipio de San Martín posee parches de bosque de área pequeña (menor al 0,93% del área total del municipio), conexión baja (0,05% de los parches se conectan en una distancia de 300m y aumenta con la distancia) y agrupación de parches de baja densidad (7,7 parches en 100ha), es decir, con un área promedio de 0,4 ha y una separación aproximada de 31ha. Los parches de rastrojo se comportan de forma similar al bosque.

En los tres municipios la fragmentación es considerable porque la mayor parte de los parches son pequeños (menor al 1% de sus territorios) y con baja conectividad, además los fragmentos suelen ser poco densos, sin embargo en Agustín Codazzi y en La Paz, aún se conserva una masa continua de bosque en la Serranía del Perijá. Aunque la palma reemplaza pocas coberturas de bosque y rastrojo, al generar un conflicto por uso inadecuado del suelo en estos municipios que poseen bosques con alta fragmentación, puede repercutir negativamente en la salud de los parches existentes.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los métodos para el tratamiento digital de imágenes satelitales son muy adecuados y confiables al observar que los resultados arrojados presentan una gran similitud con la realidad, a pesar que no se pueda evitar completamente la confusión durante el proceso de clasificación, especialmente en el caso de las imágenes que poseen un nivel medio de resolución como las obtenidas por el sensor Landsat TM, ETM y MSS. Sin embargo el entrenamiento del intérprete para definir adecuadamente los atributos del terreno incrementa el nivel de confianza y reduce las dificultades en estos procesos de interpretación de imágenes satelitales.
- La metodología de esta investigación puede convertirse en una técnica útil y de frecuente consulta para diferentes intervenciones de la Gestión Ambiental en los estudios territoriales, mucho más cuando se cuente con recursos mínimos y posiblemente con la necesidad de una investigación en zonas distantes y poco accesibles. Su aplicación durante la realización de este estudio y en cualquier otro estudio de este tipo, explica cómo puede cuestionarse el desarrollo en un territorio, indicando los puntos a favor o en contra de una actividad económica, en un espacio común tanto para quienes obtienen beneficios económicos como para los que hacen parte de los medios natural y humano que los rodean.
- El cultivo de Palma africana en el Departamento del Cesar se ubica principalmente hacia el sur en el municipio de San Alberto, en cercanías a su río principal, el Río San Alberto.
- En la época comprendida entre el año 1977 y 1991, el cultivo de palma tuvo un incremento súbito (mayor al 50% de su área inicial) en los municipios de El Copey, San Martín y San Alberto. Esta época coincide con una de las etapas de mayor inversión e incentivos económicos para la plantación de esta especie en el país.
- Entre los años 1977 y 1991 el cultivo de palma desplazó significativamente coberturas de rastrojo en el municipio de San Alberto (alrededor del 20% de su área).
- Durante las diferentes épocas de estudio, los pastos y suelos desnudos, como cobertura destinada para el establecimiento de cultivos transitorios, permanentes y otros pastos, fueron reemplazados en menor proporción pero en cantidades importantes (superior al 7% del área total). Los bosques padecieron en un grado mínimo esta situación (1% - 2% de su área).
- El principal conflicto por uso de la tierra que el cultivo de palma ha generado en el Departamento del Cesar, es la subutilización de algunas áreas productivas o con vocación para usos agrícolas más intensos, que presentan principalmente niveles moderado y alto de fertilidad de los suelos.
- La plantación de Palma africana ha producido un mínimo conflicto por uso inadecuado de la tierra en los municipios de La Paz, San Martín y Agustín Codazzi, debido a la labranza de la tierra para la instalación de su cultivo, la

necesaria instauración de sistemas de riego y la explotación del recurso, en zonas de vocación para la conservación.

- Los municipios de San Alberto y San Martín, hasta el año 2007 presentaban un conflicto en parte considerable de su territorio (alrededor del 50%) por subutilización de la tierra, conflicto al que ha aportado el cultivo de la Palma africana, en zonas que además poseen un nivel moderado de fertilidad del suelo en su mayor parte.
- La fragmentación del bosque es mayor en el municipio de San Martín, en comparación con los municipios de La Paz y Agustín Codazzi, que son las zonas del Departamento donde el cultivo de palma ha creado conflicto por uso inadecuado de la tierra en áreas para la conservación. Es por esto que en San Martín los relictos de bosque y rastrojo están más expuestos a los efectos de la actividad productiva de los cultivos de palma.
- La población asentada en los municipios donde el conflicto por subutilización de la tierra es mayor, puede ver vulnerada su seguridad alimentaria si no están protegidos por algún tipo de mercado externo. En el municipio de San Martín esta situación tiene el agravante de poseer uno de los cultivos de palma más grandes, que son fuertemente fomentados y subsidiados por el gobierno nacional, lo que deja en desventaja a los pequeños productores para plantar diferentes especies para autoconsumo o comercializables.
- El cultivo de palma en el departamento del Cesar está quebrantando la norma (Decreto 1449 de 1977) que especifica que las áreas de retiro a corrientes hídricas y nacimientos deben ser respetadas.
- En el año 2007 los cultivos de palma de los municipios de Agustín Codazzi, Valledupar y La Paz que invadían áreas de retiros a las corrientes hídricas y nacimientos, se encontraban en zonas secas. Estos municipios se hallan en zonas con los más bajos niveles de humedad atmosférica del Departamento.
- Para reducir el conflicto por subutilización del suelo, debe ser posible la investigación y aplicación de estudios existentes sobre diferentes sistemas agroforestales, donde se favorezca tanto el establecimiento de otros cultivos agrícolas, comercializables y de sustento alimentario de la población, así como el de la palma.
- La Corporación Autónoma Regional del Cesar, debe apersonarse de las medidas correctivas para que los propietarios de predios donde se cultiva palma, replanteen el área de los cultivos que invaden áreas de manejo especial como los retiros a las corrientes hídricas y sus nacimientos, que como tales deben estar declaradas o propuestas en los Planes de Ordenamiento Territorial de los municipios.
- En la actualidad existen estudios sobre algunas especies nativas diferentes a la palma para la obtención de aceites o biocombustibles, como el caso de la Higuera y la especie *Jatropha curcas*. Sin embargo es necesario continuar con el desarrollo de investigaciones futuras sobre diversas especies adaptables a las condiciones ambientales del departamento, que puedan brindar protección al suelo y a las aguas, a la vez que puedan abastecer parte de la agroindustria de aceites y biocombustibles.

- Esta investigación debe continuar con estudios futuros en la totalidad del país, sobre los conflictos de uso de las tierras por el cultivo de palma. Pero prioritariamente debe considerar un estudio sobre los impactos del cultivo en el recurso hídrico en el departamento del Cesar, en vista de la tendencia del establecimiento de la palma cerca o en el interior de los retiros a las fuentes de agua.
- Es necesario replicar este estudio con fotografías aéreas anteriores al año 1977 para investigar si el cultivo de palma reemplazó coberturas importantes de bosque y así concluir en mayor profundidad sobre las implicaciones del cultivo en la fragmentación actual de bosques y sus repercusiones.
- Si en el futuro se aplica esta investigación para todo el país, sería adecuado también realizar una modelación de la expansión del cultivo por el incremento en producción de biodiesel.
- Es necesario un estudio financiero en detalle sobre la rentabilidad del cultivo de palma para los productores y la sociedad en general, comparada con la rentabilidad de otros cultivos de inmediata disponibilidad para consumo local y para comercialización, para mejorar la información de esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ O., *et. al.* (2007). Eficiencia en el uso del agua en una plantación de Palma de aceite, importancia económica de su optimización. En Revista Palmas 28(2): 11-22

AGUILERA M. (2002). Palma africana en la costa Caribe: un semillero de empresas solidarias. En Documentos de trabajo sobre economía regional, Boletín No. 30. Bogotá: Banco de la República

ANNUAL ENERGY REVIEW. (2008). Energy information administration. Office of Energy Markets and End Use. Washington DC. 446p

ASAMBLEA DEPARTAMENTAL DEL CESAR. (2008). Plan de desarrollo sostenible para el Departamento del Cesar 2008 – 2011: Ordenanza N° 000008 del 23 de Mayo de 2008

BARREDA, A. (2007). Los Agrocombustibles no resuelven nada, Estados Unidos es un adicto al petróleo. En: Revista Biodiversidad 54(8): 56-60

BERNAL F. (2005). El cultivo de la Palma de aceite y su beneficio. Guía general para el nuevo palmicultor. Fedepalma - Cenipalma. Bogotá, D.C.

BUITRÓN R. (2001). El caso de Ecuador: ¿el paraíso en siete años? El amargo fruto de la palma aceitera, Capítulo 2. Publicado por la Red Internacional World Rainforest Movement. Montevideo – Uruguay. 74 p

CHUVIECO, E. (1990). Fundamentos de Teledetección Espacial. Ed. Rialp S.A. Madrid. 449 p

CONGRESO DE COLOMBIA. (1993). Ley 99 DE diciembre 22 de 1993. Diario Oficial No. 41.146, de 22 de diciembre de 1993

----- (1994). Ley 138 Del 9 de junio de 1994. Diario Oficial No. 41.389, junio 14 de 1994

CORPES DE OCCIDENTE E INCOPLAN – PARSONS. (1999). Ordenamiento Físico - Portuario y Ambiental de los Litorales Colombianos. Capítulo 5: Caracterización regional ambiental de los litorales colombianos. 17 p

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CESAR – CORPOCESAR - (2007). Plan de Acción Trienal 2007 – 2009. Valledupar

CORREA, D. y A., MÚNERA. (2003). Procesamiento digital de imágenes satelitales aplicado a la masificación del cambio en las coberturas vegetales. Departamento de Ciencias Forestales. Medellín, Universidad Nacional de Colombia. 170p

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA – DANE, IGAC Y CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA. (2002). Zonificación de los conflictos de uso de las tierras en Colombia. Bogotá, D.C.

DURÁN N., SALAS R. Y C. CHINCHILLA. (1999). Manejo de la Nutrición y Fertilización de la Palma Aceitera en Costa Rica. XI Congreso Nacional Agronómico y III Congreso nacional de Suelos, Conferencia No. 85 p: 305-316. Costa Rica

FAJARDO D. (2002). La Tierra, poder político y reformas agraria y rural. Cuadernos Tierra y Justicia, No 1. Bogotá. Pág 4

FEDERACIÓN NACIONAL DE PALMICULTORES - FEDEPALMA. 2000. Visión y estrategias de la Palmicultura colombiana: 2000-2020, Lineamientos para la formulación de un plan indicativo para el desarrollo de la Palma de Aceite. Capítulo 2 p: 49-70 y Capítulo 6 p: 207-209. Bogotá

----- (2008). Anuario estadístico 2008. Publicaciones Fedepalma, Oficina de Comunicaciones. Bogotá, 161 p

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION – FAO. (1997). Zonificación Agroecológica. Guía General. Boletín 73

FRY, J. (2004). Biodiesel: how will it affect the fuel and oilseed markets? En: Palmas (Colombia) Número Especial (1): 315-322

GAMARRA, J. (2005). La economía del Cesar después del algodón. En Documentos de trabajo sobre economía regional No. 59. Banco de la República. Bogotá, 116p:

GLENNON R., *et. al.* (2006). Arcmap tutorial. Environmental systems research Institute – ESRI. United States. 58p

GOBERNACIÓN DEL CESAR. (2007). Diagnóstico Estratégico del Cesar. Documento preliminar de discusión y retroalimentación para el proceso de Formulación participativa del Plan Estratégico Cesar 2017. Valledupar. 72p

HAMMER A. Y G. HENDERSON. (1991). Geographic information system for soil survey and land use planning. En: Soil science society of America journal (28): 243-270

HENSON I. (2004). ¿Puede la palma de aceite sustituir el bosque húmedo tropical? En: Palmas (Colombia) 25(1): 95-105

INSTITUTO COLOMBIANO PARA EL FOMENTO DE LA EDUCACIÓN SUPERIOR. (1983). Encuentro Nacional de Investigadores sobre la Orinoquía. Memorias de la serie: Eventos científicos colombianos. Orocué, Ed. Guadalupe Ltda. (12): 323p

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI – IGAC. (1969). Estudio semidetallado de suelos para fines agrícolas del sector plano del municipio de Valledupar. En: Revista Instituto Geográfico Agustín Codazzi 5 (13). Subdirección Agrológica. Bogotá – Colombia

----- (1970). Subdirección Agrológica. Estudio semidetallado de suelos del sector plano y general del área quebrada de los municipios de Río de Oro y González. En: Revista Instituto Geográfico Agustín Codazzi 6 (3). Bogotá – Colombia

----- (1982). Estudio general de suelos de los municipios de Codazzi, Manaure, La Paz, San Diego y Becerril. Subdirección Agrológica. Bogotá – Colombia

----- (2005). Interpretación Visual de Imágenes de Sensores Remotos y su Aplicación en levantamientos de cobertura y uso de la Tierra. Centro de investigación y desarrollo de información geográfica. Bogotá: 156p

----- (2007). Subdirección de Agrología Estudio semidetallado de las coberturas terrestres. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia. 250 p

-----, ----- Subdirección de Agrología Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Antioquia. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia. 992 p

ITT CORPORATION. (2006). Environment for visualizing images – ENVI. ENVI Tutorial

JARAMILLO, D. (2004). El recurso suelo y la competitividad del sector agrario colombiano. Universidad Nacional de Colombia, Escuela de Geociencias. 26 p

LE DU, H., F. MINELLI Y F. MINGORANCE. (2004). El Cultivo de la Palma africana en el Chocó, legalidad ambiental, territorial y derechos humanos. Human Rights Everywhere y Diócesis de Quibdó. Quibdó, Ed. Códice: 180p

MARHS B., HOLMES C. Y E. ENE. (2001). Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Software fragstats 3.3. User guidelines

MEISEL, A. Y G. PÉREZ. (2006). Geografía física y poblamiento en la Costa Caribe Colombiana. En Documentos de trabajo sobre economía regional No. 73. Banco de la República. Cartagena, 82p

MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL *et. al.* (2009). Mapa de áreas protegidas. Fundación Pro-Sierra Nevada de Santa Marta

MORENO R. (2000). En Biosíntesis, boletín informativo No. 21 del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Santafé de Bogotá. 4 p

OYARZABAL, M., *et al.* (2008). Propuesta de un Sistema de Seguimiento y Alerta para la Gestión de Espacios Protegidos: el Caso del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar (Almería, España). En: Ecosistemas 17(3): 98-107

Palma y ganadería extensiva: binomio que incuba hambre. Boletín No. 746 de 2009. Disponible en: <http://www.agenciadenoticias.unal.edu.co/nc/detalle/article/palma-y-ganaderia-extensiva-binomio-que-incuba-hambre/>. Unimedios. Bogotá. [Consultado 02 de noviembre de 2009]

PASCUAS, R. Y J. GONZÁLEZ. (1981). La Palma africana en el departamento del Meta. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. Geografía: 127p

POLANCO A. (2009). Compensaciones económicas ante conflictos de uso del suelo. Cuadernos de Economía, 28(50). Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Antioquia. Colombia. 47p

POVEDA J. (2006). Evaluación Agropecuaria del Departamento del Cesar. Sistema de Información Agropecuaria del Cesar - SIACESAR. 76p

PRADA, A. (1997). Sabanas, vegas y palmares, el uso del agua en la Orinoquía Colombiana. Primera parte: la razón de ser del instituto de la Orinoquía. Villavicencio, Universidad Javeriana e Instituto Mayor Campesino CIPAV: 331p

PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA. (1974). Decreto 2811 de diciembre 18 de 1974. Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente

----- (2007). Decreto 2629 de 2007. Disposiciones para promover el uso de biocombustibles en el país. Ministerio de Minas y Energía. Bogotá D.C.

QUATTROCHI, D. Y M. GOODCHILD. (1997). Scale in remote sensing and GIS. Lewis Publishers. United States of America. 406 p

RICHTERS E. (1995). Manejo del uso de la tierra en América Central: hacia el aprovechamiento sostenible del recurso tierra. Colección Investigación y Desarrollo/IICAA No. 28. San José de Costa Rica. 440p

SCHOWENGERDT, R. (1997). Remote Sensing: Models and methods for image processing. Academic Press. Tucson, Arizona: 522

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, *et. al.* (1993). Metodología para la elaboración del programa agropecuario municipal – PAM. Capítulo 5: Metodología del diagnóstico para la formulación del PAM. Ediciones Gráficas Ltda. Medellín. p 9-37

SOKOUDJOU, H. (2001). El caso de Camerún: las plantaciones de Palma aceitera ¿una nueva amenaza para los bosques de Camerún? El amargo fruto de la palma aceitera, Capítulo 2. Publicado por la Red Internacional World Rainforest Movement. Montevideo – Uruguay. 74p

SORIANO, F., *et al.* (2001). Empleo de imágenes satelitales para la estimación de la superficie cultivada con Tabaco en la provincia de Tucumán. En: Avance agroindustrial (Argentina) 22(3): 13-16

SUR GLOBAL. (2007). La Geopolítica de los Agrocombustibles - Manifiesto Por El Desarrollo: El Camino Que Proponemos Desde El Sur. Documento de posición del Sur Global sobre Soberanía Alimentaria, Soberanía Energética y la transición hacia una sociedad post-petróleo. En Acción Ecológica. Ecuador. 20 p

VAN DER HAMMEN T. Y G. ANDRADE. (2003). Estructura ecológica principal de Colombia. Primera aproximación. Elaborado para el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

WALKER R. Y E. CÁRDENAS. Evaluación del estado de conservación de la fauna en el municipio de Murillo, Tolima. Boletín Científico del Museo de Historia natural de la Universidad de Caldas. 2(8): 29p