



**Seguimiento de la evolución superficial de cultivos  
industriales en selvas tropicales a partir de datos  
ópticos de satélite. El caso de Campo Ma'an en  
Camerún**

**Autor:** Santiago Ormeño Villajos

**Institución:** Universidad Politécnica de Madrid

**Otros autores:** Marina Marqués Otero (Universidad Politécnica de Madrid); Santiago Ormeño García (PNUD); Diego Satián Arias (Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, Ecuador)

## Resumen

Situado en el sureste de Camerún, el parque que campo Ma'an y su area circundante (UTO) tiene una extension de 771 668 ha de las cuales 264.064 están dentro del parque nacional. Dividido entre la banda costera y el interior, el area forma parte del macizo forestal de 180 millones de Has de la Cuenca del rio Congo, segunda extension de selva del mundo, después de la Amazonia. Debido a la riqueza y variedad de su biodiversidad, Campo Ma'an se encuentra entre las 33 areas protegidas prioritarias de RAPAC (Red de Areas Protegidas del Africa Central) y de las 13 areas prioritarias a nivel mundial de la red de WWF (World Wide Fund). El area presenta diversas situaciones de ocupación del suelo, con la presencia de agro industrias, bosques comunitarios y explotaciones forestales. Del mismo modo, grandes proyectos de transporte, energía y minería están siendo puestos en marcha en la zona. Las principales amenazas para la biodiversidad incluyen la sobreexplotación de recursos fáunicos, las malas prácticas de explotación forestal, la conversión de bosques por la extension de la agroindustria, la presión demográfica y la urbanización del litoral.

En este proyecto se plantean los principales desafíos ambientales de la zona y se muestran los cambios producidos, en la cubierta vegetal, a través del tiempo. Se han utilizado imágenes obtenidas por los satélites Landsat en el intervalo óptico. La selección de imágenes del citado tipo y en esta zona, presenta particular dificultad, debido a las características de su cobertura nubosa. Las imágenes utilizadas abarcan un periodo de unos 30 años y, a partir de ellas, puede observarse la progresión de cultivos industriales de palma para aceite (*elaeis guineensis*) y árbol del caucho (*hevea brasiliensis*).

La metodología utilizada presenta indudables ventajas respecto de otras posibilidades alternativas.

**Palabras clave:** teledetección espacial; selvas tropicales; cultivos industriales;

## 1. Resumen

Situado en el sureste de Camerún, el parque nacional de Campo Ma'an (264 064 Ha) fue establecido en el año 2000. Junto con su área circundante (UTO, Unidad Técnica Operacional) tiene una extensión de 771 668 Ha, donde están presentes múltiples usos de suelo.

Dividido entre la banda costera y el interior, el área forma parte del macizo forestal de 180 millones de hectáreas de la Cuenca del Río Congo, segunda extensión de selva del mundo, después de la Amazonia. Debido a la riqueza y variedad de su biodiversidad, Campo Ma'an se encuentra entre las 33 áreas protegidas prioritarias de RAPAC (Red de Áreas Protegidas de África Central) y de las 13 áreas prioritarias a nivel mundial de la red WWF (World Wide Fund).

El área presenta diversas tipologías de ocupación del suelo, con la presencia de agro industrias, bosques comunitarios y explotaciones forestales. Del mismo modo, grandes proyectos de transporte, energía y minería están siendo puestos en marcha en la zona. En la actualidad las principales amenazas para la integridad de este ecosistema incluyen la sobreexplotación de recursos forestales, la caza furtiva, la conversión de bosques por la extensión de la agroindustria y el aumento de la presión demográfica y la urbanización del litoral.

En este proyecto se exponen los principales impactos ambientales de la zona y se muestran cambios producidos, en la cubierta vegetal, a través del tiempo. Se han utilizado imágenes obtenidas por los satélites Landsat en el intervalo óptico. La selección de imágenes del citado tipo y en esta zona, presenta particular dificultad, debido a la nubosidad de las imágenes. Las imágenes utilizadas abarcan un periodo de unos 30 años y, a partir de ellas, puede observarse la progresión de cultivos industriales de palma para aceite (*Elaeis guineensis*) y árbol del caucho (*Hevea brasiliensis*).

## 2. Características del medio físico



La República de Camerún es un estado litoral situado en África Central, en el litoral del Golfo de Guinea. El país tiene fronteras con Chad, Nigeria, República Centroafricana, Congo y Guinea Ecuatorial.

Ubicado en el extremo Suroeste de Camerún, el Parque Nacional de Campo Ma'an presenta geográficamente forma de S y se encuentra integrado dentro de un complejo paisajístico denominado UTO (Unidad Técnica Operativa) cuya extensión completa es de 771 668 Ha.

Tiene contacto directo con la costa atlántica y su contigüidad con la reserva de Rio Campo en Guinea Ecuatorial le confiere gran importancia como [área protegida transnacional. El Parque Nacional ocupa aproximadamente 264 064 Ha, aproximadamente el 16% de la Región del Sur, una de las provincias en las que se divide el país africano de Camerún.

La República de Camerún está dividida en 4 biomas<sup>1</sup>: el Sahel en el extremo norte del país, la sabana Sudanesa-guineana en el resto de la parte norte del país, bosque tropical de tierras bajas Guineano-congolés en el centro y en el Sur y el área agro-tropical del monte Camerún y las tierras altas al oeste.

En la zona de estudio la población está integrada por grupos bantúes costeros y de interior, pigmeos Bagyeli y poblaciones alógenas del Oeste y del Norte.

En la zona que nos ocupa el clima es tropical húmedo que se caracteriza por temperaturas altas y constantes durante todo el año, además de lluvias abundantes y regulares.

La selva del sur posee vastas reservas de madera, que cubren un el 37% del territorio. Sin embargo, grandes áreas son de difícil acceso. Se estima que la industria maderera, operada por empresas extranjeras, provee al gobierno de US\$ 60 millones al año<sup>2</sup>. Aunque la ley estipula que su explotación debe ser segura y sostenible, es en la práctica una de las industrias menos reguladas del país<sup>3</sup>.



Selva original de Camerún  
Fuente. Los autores

Camerún posee grandes reservas de recursos minerales, pero no se extraen ampliamente. La explotación del petróleo ha caído desde 1985, pero sigue siendo un sector substancial que ha tenido un fuerte impacto en la economía del país.

En efecto, debido a su ubicación geográfica. Camerún tiene muchos recursos turísticos, sin embargo la actividad tan solo constituye un porcentaje del 2,5 % del PIB (2013)<sup>4</sup>.

### 3. Problemática ambiental

El Parque Nacional de Campo Ma'an es un sitio prioritario para la conservación de la biodiversidad, por su riqueza biológica y especies endémicas<sup>5</sup>. Uno de los objetivos de su fundación es la protección de la biodiversidad de la selva costera contra el daño de la deforestación debido a la construcción del oleoducto Chad-Camerún.

<sup>1</sup> <http://www.africanbirdclub.org/countries/Cameroon/ibas>

<sup>2</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Camer%C3%BAn>

<sup>3</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Camer%C3%BAn>

<sup>4</sup> <file:///C:/Users/User/Downloads/cameroon2014.pdf>

<sup>5</sup> <https://www.cameroonvisit.com/campo-maan-national-park/>

Se trata de una reserva de biodiversidad que cuenta con más de 15000 especies de plantas (45 endémicas), 80 especies de grandes mamíferos (incluyendo especies en peligro de extinción como el elefante, gorila y chimpancé), 302 aves y 122 reptiles.

Del mismo modo los recursos forestales, incluyendo la vida silvestre, industria maderera y productos forestales no maderables son fuentes de alimentación e ingresos para la población local, y la renta nacional.

La proximidad del parque a la reserva natural de Guinea Ecuatorial Rio Campo permite la conectividad de hábitats para la vida silvestre y movilidad para especies como elefantes, gorilas, chimpancés y búfalos.



Chimpancés con uno de los autores  
Fuente. Los autores

La biodiversidad e integridad de los ecosistemas de Campo Ma'an está bajo fuertes presiones ambientales, ligadas a la deforestación y conversión forestal. Entre 1990 y 2000 Camerún, perdió una media de 220 000 Ha de bosque. Entre 2000 y 2005 la tasa de deforestación anual paso del 0,9 % al 0,99 %<sup>6</sup>.

Además la caza furtiva ha puesto una enorme presión sobre las poblaciones de vida silvestre, incluyendo especies en peligro de extinción como gorilas y chimpancés.

La minería creciente se suma a los factores de degradación de los bosques en Camerún.

En la zona, los principales impactos ambientales generadores de deforestación en los últimos años son el Oleoducto Chad-Camerún, las prácticas no sostenibles de explotación forestal, la agricultura itinerante, y la extensión de las plantaciones agroindustriales de caucho y palma.

En 2000 se empezó la construcción de más de 1000 Km de oleoductos para transportar el petróleo producido en el sur de Chad (Cuenca del Doba) hacia Kribi, en la costa Atlántica de Camerún, siendo el proyecto de infraestructura más importante en el África subsahariana hasta entonces.

Camerún y Chad, no tenían ninguna experiencia en la realización y el seguimiento de estudios de impacto ambiental y social de proyectos de tal envergadura. Y a pesar de que la opinión pública internacional le prestó especial atención al proyecto debido a las controversias que rodearon las etapas de preparación y aprobación, se pudo constatar que las medidas de mitigación social y ambiental no habían funcionado como previsto, y que esas fallas habían ocasionado impactos negativos, a veces no previstos pero desde entonces irreversibles<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> <http://rainforests.mongabay.com/deforestation/archive/Cameroon.htm>

<sup>7</sup> <http://wrm.org.uy/es/articulos-del-boletin-wrm/seccion1/infraestructura-desarrollo-y-recursos-naturales-en-africa-algunos-ejemplos-de-camerun/>

A pesar de ya ser un enorme proyecto de infraestructura en sí mismo, el oleoducto Chad-Camerún es apenas la columna vertebral de una vasta red de oleoductos que se construirán progresivamente en torno al lago Chad para transportar el petróleo del interior del país hasta el Océano Atlántico. Esa es la razón por la cual el oleoducto entre Chad y Camerún es de gran interés estratégico: permite fomentar la búsqueda y la explotación de petróleo en todas las regiones situadas a una distancia razonable de su recorrido.



Deforestación en selvas tropicales  
Fuente. Los autores

Las selvas tropicales son los ecosistemas más productivos del planeta y los de mayor biodiversidad. La cantidad de precipitaciones y la temperatura hacen que su principal factor limitante sea la luz. Se extienden por América Central y del Sur, África central, Malasia e Indonesia principalmente. Los bosques tropicales son un pulmón para el planeta debido al intercambio de gases con la atmósfera, regulan el clima del planeta, el ciclo hidrológico, generan suelo lo protegen del fenómenos

La vegetación dominante es arbórea. Los árboles de troncos altos y sin ramas bajas integran la mayoría del paisaje. Hay pocas plantas herbáceas. El carecer de clima frío la mayoría de plantas conservan sus hojas todo el año.

La explotación comercial es uno de los mayores riesgos para la integridad de los bosques de la zona. La mayor amenaza para los bosques tropicales ya que la posibilidad de llevar a cabo una gestión forestal sostenible es muy difícil. La mayoría de la tala se hace de forma ilegal<sup>8</sup>.

Muchas de estas actividades ilegales pasan por cortas ilegales, cortas por encima de la marca autorizada, cortas en áreas protegidas por su interés ambiental. Por ser espacios de pueblos indígenas, cortas por especies no incluidas en la autorización y así un largo etcétera. Dependiendo de las zonas, el porcentaje de madera extraída y transportada ilegalmente está entre el 20 y el 80%<sup>9</sup>.

Una de las amenazas para la cubierta forestal de la zona es la proliferación de la agricultura de rozas y la necesidad continuada de la demanda de terrenos agrícolas ligada al incremento de la demanda de productos agrícolas (i.e. mandioca) como consecuencia del incremento de la población.

El aceite de palma se utiliza para cocinar y producir jabones y cosméticos y cada vez más se promueve como un biocombustible que 'respete el medio ambiente' como alternativa a los combustibles fósiles.

Típicamente, una plantación nueva de palma de aceite requiere que se talen todos los árboles y se transforme el bosque en una zona de monocultivo.

Los impactos ambientales del monocultivo de palma tienen como consecuencia directa la pérdida de bosques en numerosas zonas tropicales del mundo. El macizo forestal del

<sup>8</sup> <http://www.monografias.com/trabajos11/trabajajeia/trabajajeia.shtml>

<sup>9</sup> <http://www.monografias.com/trabajos11/trabajajeia/trabajajeia.shtml>

Congo es una de las zonas en las que más expectativas hay para el incremento de la producción mundial de palma, dado el aumento sostenido de la demanda mundial y la incapacidad de los productores del Sudeste Asiático para abastecer la demanda mundial<sup>10</sup>.

Las empresas productoras tienden a apuntar hacia los bosques densos, maduros, de cubierta vegetal para sus plantaciones. Los trabajadores de las plantaciones de palma de aceite proceden de fuera del área de la plantación, lo que produce un incremento de la presión demográfica en la zona. El asentamiento de Nyete se ha desarrollado en torno a la actividad agro-industrial, y constituye uno de los principales focos de demanda de productos forestales y de presión antrópica sobre la biodiversidad del parque nacional de Campo Ma'an<sup>11</sup>.

La suma de todo ello y la explotación insostenible de los recursos forestales ponen en peligro a la población local que depende de ellos y esto a su vez la contribución potencial de este sector para el desarrollo nacional.

La zona de Campo Ma'an se encuentra incluida en diversos programas que se detallan a continuación:

- a) RAPAC (Red de Áreas Protegidas de África Central). <http://www.rapac.org/>  
Algunos de los países de África Central que se incluyen son Camerún, Congo, Guinea Ecuatorial, Centroáfrica y Gabón, entre otros. Este programa tiene como misión el desarrollo de un sistema de información con el fin de contribuir a la creación del observatorio de los bosques de África central así como la definición de normas para el desarrollo de los planes de actuación y un intercambio de experiencias para la gestión hombre-vida silvestre.
- b) PSFE (Programme Sectoriel Foret Environment), cuyo acrónimo en francés son las siglas de Programa Sectorial Forestal y del medio ambiente) <http://www.cameroun-foret.com/>  
Para hacer frente a las amenazas sobre el medio ambiente, el Gobierno de Camerún con el apoyo técnico y financiamiento de la agencia alemana de cooperación internacional GIZ configura el Programa Sectorial Forestal y el Programa de medio ambiente, que desarrolla herramientas de planificación para gobernanza en el sector. Su objetivo es la gestión adecuada de los recursos forestales con el fin de maximizar la contribución del sector forestal al desarrollo nacional.
- c) Programa REDD+ en Camerún  
Camerún, ha iniciado los trámites REDD (Reducción de Emisiones Ligadas a la Deforestación y Degradación Forestal). Está siendo desarrollado y gestionado a través de tres organismos la ONU (Organización de las Naciones Unidas); la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), el PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) y el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y a través del Partenariado para el Carbón Forestal del Banco Mundial

<sup>10</sup> <http://www.rainforestfoundationuk.org/files/Seeds%20of%20Destruction,%20February%202013.pdf>

<sup>11</sup> [http://wwf.panda.org/who\\_we\\_are/wwf\\_offices/cameroon/index.cfm?uProjectID=CM0876](http://wwf.panda.org/who_we_are/wwf_offices/cameroon/index.cfm?uProjectID=CM0876)

En conclusión la zona de Campo Ma'an está afectada por numerosos factores. Este estudio se centra en desarrollar una metodología procedente del ámbito de la teledetección espacial - obtención de información a partir de sensores remotos – como una herramienta para el seguimiento y análisis evolutivo de los problemas ambientales presentes en áreas de alta presión degenerativa.

#### **4. Imágenes utilizadas. Características.**

Las imágenes utilizadas en la presente comunicación proceden del programa Landsat. El motivo de utilizar éstas se debe a diferentes circunstancias. Landsat presenta el mayor rango temporal de todos los satélites de observación de la Tierra de media resolución espacial y las bandas espectrales que ofrece son idóneas para los objetivos pretendidos (Palomo, 2012). Su resolución geométrica (30 m) es adecuada para realizar el análisis con suficiente grado de aproximación (Ormeño et al., 2008).

Los sensores utilizados han sido Thematic Mapper (TM) y Operational Land Imager (OLI) de los satélites Landsat 4, 5 y 8, adquiridas, respectivamente el 12-12-1984, 26-04-2001 y 24-05-2014.

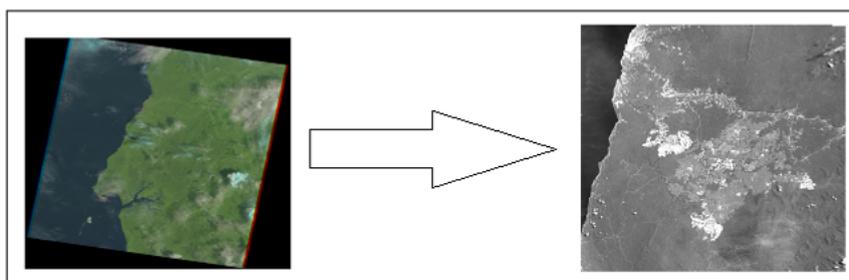
#### **5. Objetivos del estudio**

Se plantea como objetivo fundamental de este trabajo el analizar la evolución temporal de los tipos de cubiertas vegetales a través de la información que se obtiene de las imágenes de satélite. Para ello se utilizaron tres imágenes en un intervalo temporal de 30 años. La zona de estudio comprende zonas declaradas de interés protegido debido a la existencia de Parques Nacionales como el de Campo Ma'an en el que conviven flora y fauna, además de diversas especies en peligro de extinción.

#### **6. Metodología**

El primer paso, en el procesamiento, fue la conversión de formato de las imágenes obtenidas, de cada época, ya que todo el procesamiento de imágenes del presente estudio se ha realizado en el software de análisis de imágenes digitales SOV V1.0. (Ormeño, 2006).

Una vez obtenidas se procedió a cortar las imágenes con el fin de obtener el área de estudio concreta (Imagen 1). Los parámetros utilizados fueron los siguientes: Xmin. 592 000; Xmax. 642 970; Ymin. 227 030; Ymax. 331 000, sistema UTM. Y una dimensión en píxeles de: 1 800 columnas y 1 700 filas.



**Imagen 1.** Recorte del área de estudio  
**Fuente.** Los Autores

## Modelos cuantitativos de vegetación (NDVI)

Dentro de los análisis que se pueden realizar mediante la utilización de imágenes de satélite, se puede encontrar el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés). Se basa en la diferencia entre la máxima absorción de radiación en el rojo a causa de los pigmentos clorofílicos y la máxima reflexión de radiación en el infrarrojo próximo debido a la estructura celular de la hoja y al hecho de que el suelo desnudo, carente de estos mecanismos, no muestra una diferencia espectral tan dramática (Ormeño, 2006).

Para obtener el NDVI se cargó la imagen a analizar, luego se realizó una aritmética de bandas ya que de acuerdo con Rouse (1974), el NDVI se define como:  $NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$ .

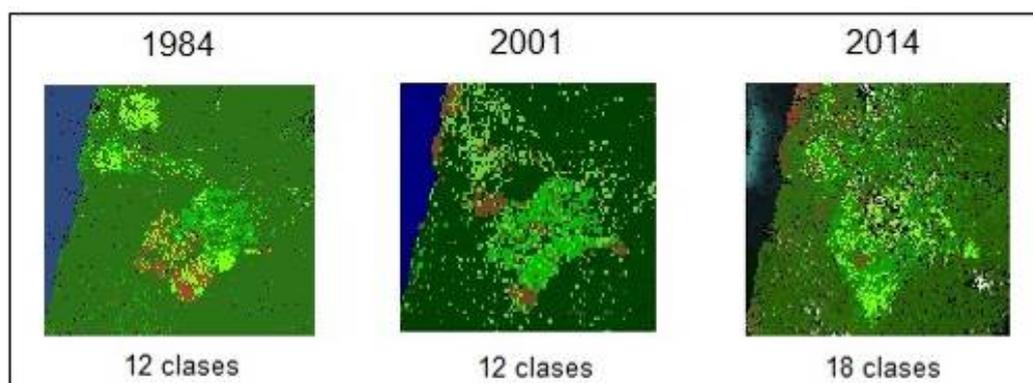
En donde TM4 representa la banda 4 del sensor Thematic Mapper u OLI de Landsat y el parámetro TM3 corresponde la banda 3.

Los resultados (para las 3 fechas) se muestran en el apartado correspondiente.

Mediante el algoritmo bayesiano óptimo se clasificó la imagen en “n” clases, asignando un nuevo valor digital en función de los valores digitales medios obtenidos en la fase de entrenamiento.

Se realizaron pruebas de clasificación variando el número de clases desde 6 hasta un máximo de 18 clases; para luego de cada proceso, analizar la coincidencia de la clasificación con base en el coeficiente de aceptación Kappa. El proceso para la imagen de 1984 y la del 2001 finalmente se realizó utilizando 12 clases (Imagen 2), para luego realizar una reclasificación de las mismas.

En cuanto a la imagen del año 2014, debido a la alta nubosidad y humedad de la misma, la clasificación fue realizada con un total de 18 clases. (Imagen 2)



**Imagen 2.** Imágenes clasificadas

**Fuente.** Los Autores

Dentro de este proceso se aplicó un filtro a las imágenes con la finalidad de eliminar los píxeles aislados que más adelante causarían inconvenientes en la reclasificación de las imágenes.

Finalmente para dar paso al análisis diacrónico fue necesaria una reclasificación de las imágenes. Para este caso en particular se utilizaron 5 nuevas clases.

## 7. Discusión de resultados y conclusiones

Se realizó una clasificación no supervisada de la imagen recortada. Inicialmente se partió de 12 clases para las imágenes de los años 1984 y 2001; para el caso de la imagen del 2014 se tuvo que utilizar una base de 18 clases debido a la alta confusión de clases. Se reclasificaron las imágenes, obteniendo como resultado final 5 clases bien reconocibles: cultivo I (Clase 1), suelo desnudo (Clase 2), cultivo II (Clase 3), selva original (Clase 4) y agua (Clase 5).

En la tabla 1, se detalla la reclasificación obtenida de los diferentes años analizados:

**Tabla 1.** Clasificación y reclasificación de imágenes  
**Fuente.** Los Autores

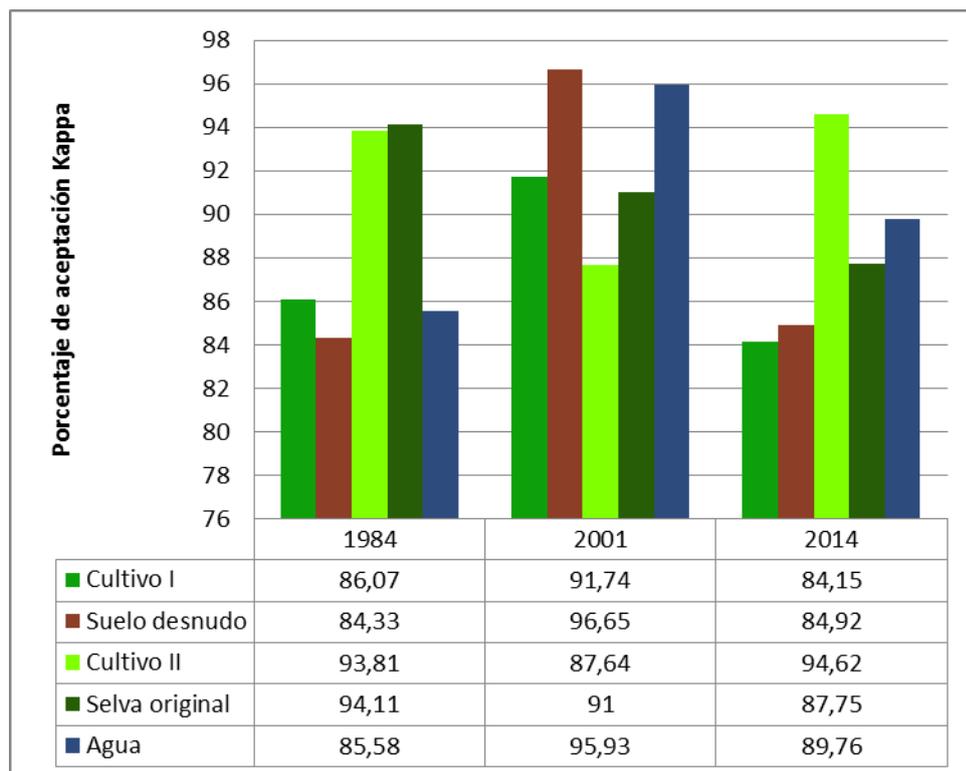
Clases Iniciales	Clases Finales		
	1984	2001	2014
Clase 1	Agua	Cultivo I	Agua
Clase 2		Suelo desnudo	
Clase 3		Agua	
Clase 4	Selva	Cultivo II	Selva
Clase 5		Agua	N.A.
Clase 6		Selva	Agua
Clase 7			
Clase 8		Suelo desnudo	Agua
Clase 9	Agua	N.A.	
Clase 10	Cultivo II	Agua	Cultivo II
Clase 11	Selva original		
Clase 12	Cultivo I	Selva	Agua
Clase 13	No se clasificó		Cultivo I
Clase 14			N.A.
Clase 15			N.A.
Clase 16			Selva
Clase 17			
Clase 18			Suelo desnudo

Dentro del proceso de clasificación de cada una de las imágenes, la que presento mayores problemas al momento de obtener las clases necesarias fue la imagen del año 2014. Con una alta presencia de nubes en la captura (38,5 %), así como la gran humedad ambiental, la información se hace difusa y no permite realizar una clasificación muy rigurosa.

Por la razón anterior, se extendió el rango de clases a un total de 18, de manera que el margen de error se redujo y se obtuvo mejores resultados en el reconocimiento de las clases principales. Aquellas clases con el nombre de N.A., son las que forman parte de las nubes e información que no fue incluida en ninguna clase por la falta de similitud y baja correlación con alguna de las clases principales. Esto se ve representado dentro de la imagen 5, en la cual aquellas clases toman colores que no pertenecen a la leyenda adjunta a la misma.

La reclasificación de la imagen se la realizó partiendo de la obtención de las curvas de valores digitales, de cada clase, y con base en criterios estadísticos proporcionados por el análisis de las mismas. Dicho análisis se realizó partiendo de la imagen del año 2001, ya que presentaba las condiciones necesarias para una buena discriminación de clases principales y además brindó una alta similitud en el comportamiento espectral de las mismas.

El coeficiente de aceptación Kappa fue un parámetro de análisis importante al momento de determinar con precisión la clasificación realizada. Así de esta manera se obtuvieron valores representativos para cada una de las clases, los mismos se encuentran representados en el gráfico 1.



**Gráfico 1.** Promedio porcentual del coeficiente de aceptación Kappa.  
**Fuente.** Los Autores

De manera que dentro del estudio esto asegura con un mínimo del 84,15 % y un máximo del 96,65 %, la eficiencia de la clasificación realizada a las 3 imágenes. Generando un

error máximo del 16 % dentro de la zona de estudio que posee una extensión de 275 400 hectáreas.

La distribución del área para cada clase se encuentra tabulado en la tabla 2, en donde se observa cómo se modificó el uso y ocupación del suelo:

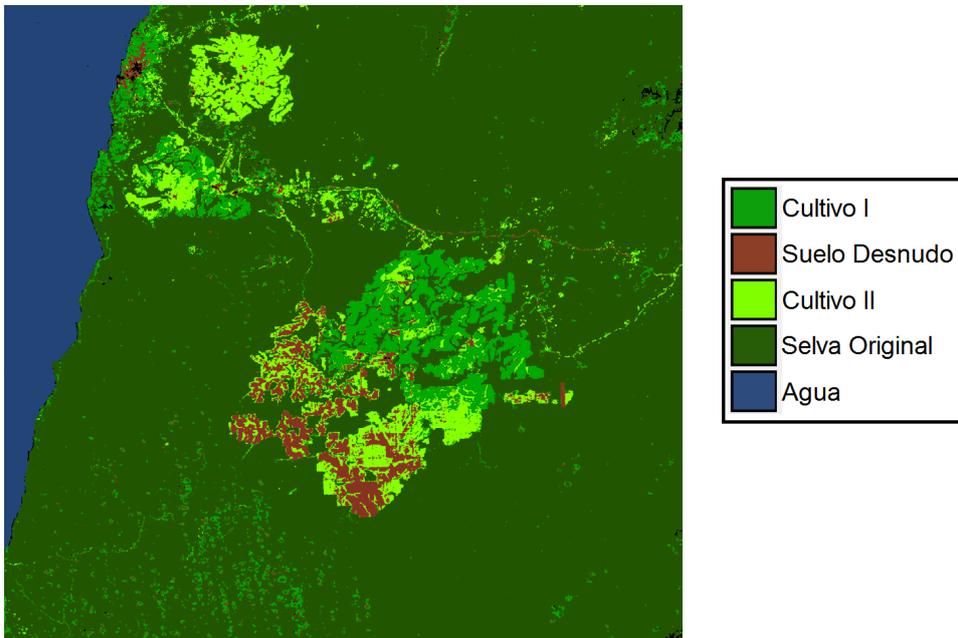
**Tabla 2.** Área total para clase  
**Fuente.** Los Autores

Clases	Área (Ha.)		
	1984	2001	2014
Cultivo I	17 465,4	17 819,7	49 157,9
Suelo desnudo	7 524,3	2 814,2	17 754,7
Cultivo II	14 331,8	29 588,8	0
Selva original	209 824,5	199 855,7	148 447,7
Agua	25 337,2	25 006,7	23 262,9

En la clase “Cultivo II” se puede observar la desaparición de la misma. Este es uno de los casos anómalos provocados por la alta presencia de nubes, causando de esta manera una confusión en el reconocimiento de las clases determinadas al principio del estudio. Lo cual desencadenó la total desaparición de la clase antes mencionada.

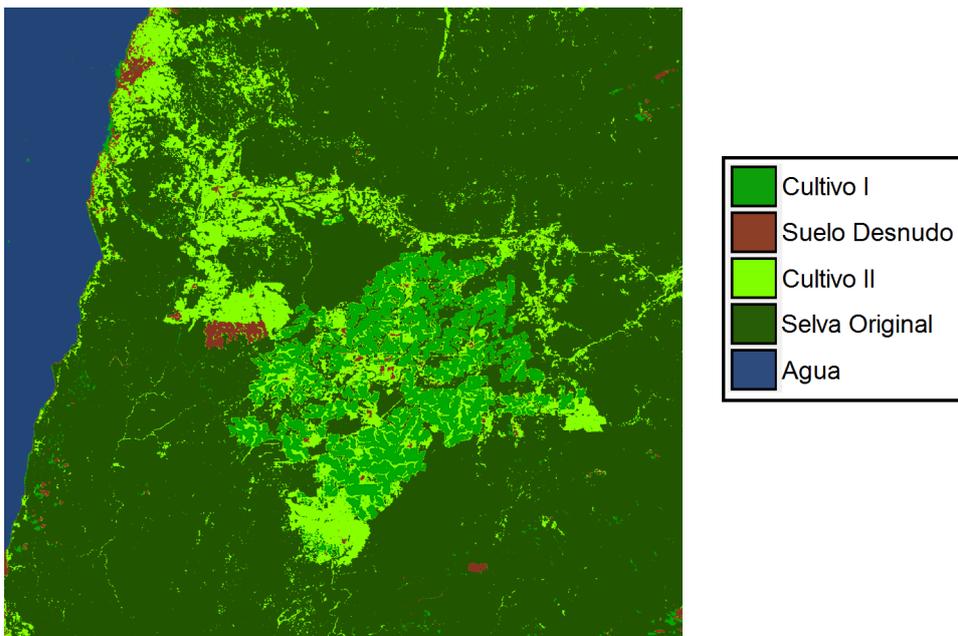
De igual manera se habla de la clase “Selva original”, en donde se encuentra una disminución pronunciada de la misma. Se aprecia que el área de selva original que se ha perdido entre los años 2001 y 2014 es de aproximadamente 51 408 Ha. Mientras que la pérdida dada en la época desde 1984 al 2001 presenta un área total de 9 968,8 Ha. Dada la cantidad de años transcurrida en cada época de análisis, 17 y 13 años respectivamente, no se espera que disminuya de esa manera.

Razón por la cual los investigadores atribuyen ese error al 16 % de error máximo a cometer dentro del presente estudio. A continuación se presentan las imágenes de cada época, en donde se puede evidenciar el avance de los cultivos y el retroceso de la selva original.



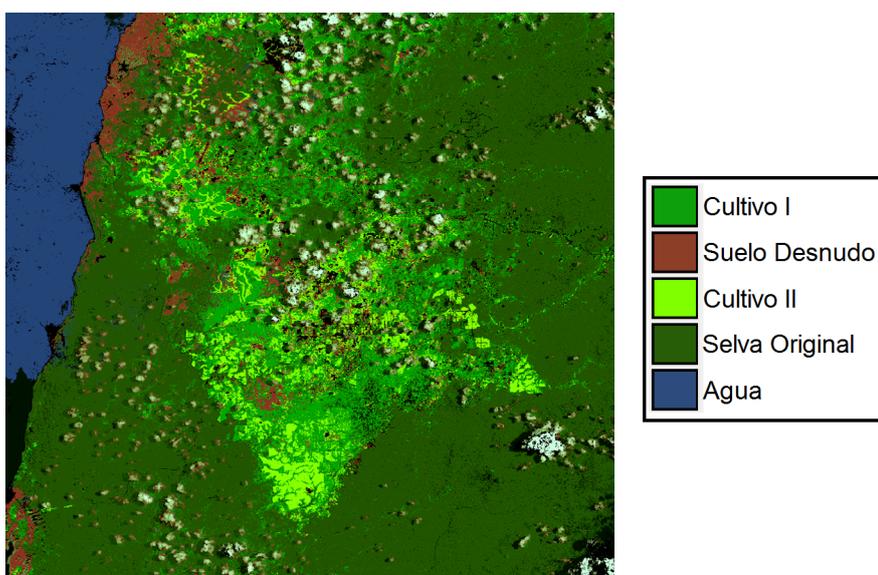
**Imagen 3.** Imagen clasificada 1984.  
**Fuente.** Los Autores

Dentro de la imagen 3, se puede observar que existen grandes extensiones de cultivos a lo largo de la zona. En donde actividades realizadas con anterioridad han dejado como resultado alrededor de 7 524,3 hectáreas de suelo desnudo lo que podría desembocar en el inicio de procesos de pérdida de suelo por erosión, debido a que el suelo carece de protección vegetal.



**Imagen 4.** Imagen clasificada 2001.  
**Fuente.** Los Autores

La imagen 4, correspondiente al año 2001, presente una menor cantidad de superficie considerada como “Suelo desnudo” pero al mismo tiempo la superficie de los cultivos, considerando las clases “Cultivo I” y “Cultivo II”, muestra un aumento del 49,10 % en un lapso de 17 años. Lo que evidencia un aumento en la ocupación del suelo para la industria agrícola.

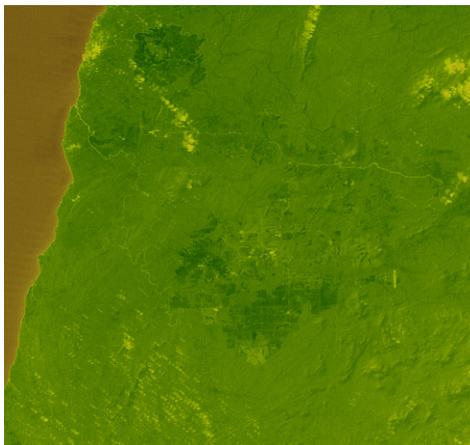


**Imagen 5.** Imagen clasificada 2014.

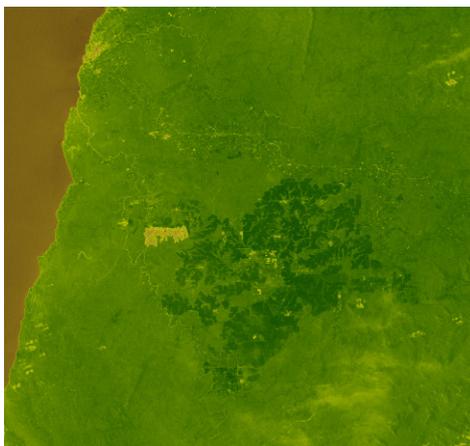
**Fuente.** Los Autores

Los análisis del NDVI se muestran en las imágenes 6, 7, 8. Se puede discriminar los cambios de tonalidades y relacionarlas con las clases planteadas anteriormente, así por ejemplo los suelos desnudos presentan un tono amarillo-verdoso, que es comparable con las áreas clasificadas como “Suelo desnudo” dentro de las imágenes correspondientes a los años 1984 y 2001. La imagen del año 2014 sigue presentando graves inconvenientes en el reconocimiento de las diferentes clases, y dentro del análisis del NDVI no brinda un aporte significativo.

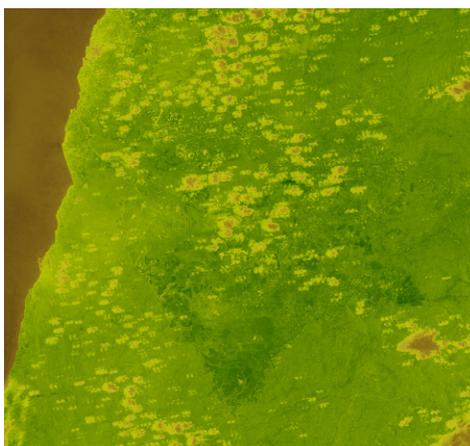
Por otro lado se muestra en un tono verde oscuro las zonas de cultivos, que de igual forma vienen a representar el 11,55 % y el 17,21 % del área total de estudio, para los años de 1984 y 2001 respectivamente.



**Imagen 6.** Análisis NDVI 1984.  
**Fuente.** Los Autores



**Imagen 7.** Análisis NDVI 2001.  
**Fuente.** Los Autores



**Imagen 8.** Análisis NDVI 2014.  
**Fuente.** Los Autores

## **Bibliografía**

Angelsen, A. con Brockhaus, M., Kanninen, M., Sills, E., Sunderlin, W. D. y Wertz-Kanounnikoff, S. (eds.). (2010). La implementación de REDD+: estrategia nacional y opciones de política. CIFOR, Bogor, Indonesia.

Angelsen, A., Brockhaus, M., Sunderlin, W.D. y Verchot, L.V. (eds.). (2013). Análisis de REDD+: Retos y opciones. CIFOR, Bogor, Indonesia.

DeFries, R.S., Rudel, T., Uriarte, M. and Hansen M. (2010). Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. *Nature Geoscience* 3: 178–181.

Dkamela, G. P. (2010). The context of REDD+ in Cameroon: drivers, agents and institutions. CIFOR Occasional Paper. CIFOR, Yaounde.

Ministère des Forêts et de la Faune, (2006). Plan D'Amenagement du Parc National de Campo-Ma'an et de sa Zone Périphérique, Gobierno de Cameroon, Cameroon.

Nguiffo, S. (CED-AT Cameroon) (2014), Infraestructura, desarrollo y recursos naturales en África: Algunos ejemplos de Camerún.

Ormeño Villajos, S. (2006) Teledetección Fundamental - 3ª edición. Servicio de publicaciones de la U.P.M. Madrid.

Ormeño Villajos, S., Ormeño García, S., Palomo, M., Rincón, J., Fabisin, G., (2012) Utilización de imágenes de satélite para el estudio de cambios del litoral en espacios naturales. El tramo Londji-Grand Batanga en Camerún. XI Congreso Nacional de Medio Ambiente, Madrid.

Palomo Arroyo, M. (2012) Modelización del cálculo de indicadores ambientales, a partir de sensores ópticos de alta resolución temporal a bordo de satélite. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

Rouse, J. W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. & Harlan, J.C. (1974). Monitoring the vernal advancements and retrogradation (Greenwave Effect) of nature vegetation (371 pp). NASA/GSFC Final Report. Greenbelt, MD: NASA.

Sayer, J.A., C.S. Harcourt, and N.M. Collins. (1992). The Conservation Atlas of Tropical Forests: Africa. IUCN and Simon & Schuster, Cambridge.