

ESTUDIO DE DEFORESTACION POR CULTIVOS ILICITOS EN EL DEPARTAMENTO DEL META

DEFORESTATION STUDY FOR ILLICIT CROPS IN THE DEPARTMENT OF META

Edna Hurtado Díaz
Ing. Catastral y Geodesta., Profesional Universitario
Unidad de Restitución de Tierras, Bogotá, Colombia
ephurtado@gmail.com

RESUMEN

La deforestación considerada como la pérdida de cobertura forestal, es un fenómeno que durante los últimos treinta años ha afectado de manera considerable el territorio nacional en especial las zonas de bosques naturales, una de las principales causas de este fenómeno es la presencia de cultivos ilícitos en áreas cada vez más pequeñas y en zonas dispersas y alejadas que no permitan su fácil identificación y posterior destrucción, siendo la zona de la Amazonia una de las más afectadas por este fenómeno, el presente trabajo está orientado a analizar los cambios de área de as coberturas terrestres y en especial la zona de bosque del Parque Natural La Macarena y sus alrededores en un periodo de tiempo de 25 aproximadamente, a través del análisis de imágenes satelitales landsat, realizando la identificación de los usos existentes en la zona, una clasificación supervisada seleccionando muestras en las imágenes de cada una de las coberturas analizadas y con los resultados obtenidos, establecer las áreas totales y los cambios presentados a través de este periodo de tiempo.

Palabras clave: Deforestación, Cultivos ilícitos, Clasificación supervisada, análisis multitemporal.

ABSTRACT:

The Deforestation considered the loss of forest cover, is a phenomenon in the last thirty years has significantly affected the country in special areas of natural forest , one of the main causes of this phenomenon is the presence of illicit crops increasingly small and scattered and remote areas that do not allow easy

identification and subsequent destruction areas , being the area of the Amazon one of the most affected by this phenomenon , this paper is aimed to analyze the changes in area as hedges especially land and forest area La Macarena National Park and its surroundings in a time period of about 25, through analysis of Landsat satellite images , making the identification of existing uses in the area, supervised classification by selecting samples images of each of the analyzed results and the cover , set the total areas and changes introduced by this time period .

Keywords: Deforestation, Illegal crops, supervised classification, multitemporal analysis.

INTRODUCCION

La deforestación es un proceso provocado por la acción del hombre, alterando o reduciendo la cobertura forestal de zonas en donde la presencia de bosques es bastante importante, una de las principales causas que originan este fenómeno es la expansión de ganadería extensiva, cultivos ilícitos, así como tala y minería ilegal.

La región más afectada es la amazonia en donde se concentra el 46% de la pérdida del bosque del país que representa 87 mil hectáreas de bosque, a pesar de que se ha reducido la tasa de deforestación en un 39% menos que el periodo comparado entre 2005 – 2010, esto se debe en gran parte a los múltiples análisis realizados a través del tiempo sobre este tema y a los esfuerzos institucionales de control a este fenómeno.

El parque Nacional natural la macarena ha sido catalogada como un lugar excepcional para el desarrollo y la evolución de la vegetación y la fauna presente en la zona, es un ecosistema estratégico prioritario en razón a que es depositaria del patrimonio natural más representativo de la biodiversidad colombiana, sin embargo su importancia no lo ha hecho inmune a este fenómeno afectándolo directamente con la tala indiscriminada de áreas aunque pequeñas si constantes y dispersas a través del territorio de la zona de estudio.

El presente trabajo tiene como propósito realizar un análisis multitemporal en un periodo aproximado de 25 años, con el fin de verificar los cambios presentes en la cobertura de bosques, comparando tres imágenes de diferentes fechas y determinar de esta forma si aumento o disminuyo la cobertura vegetal de bosques densos y sus posibles causas.

1. MATERIALES Y METODOS

Con el fin de analizar la influencia de los cultivos ilícitos en la deforestación que se presenta en el territorio nacional, se propone un proceso metodológico que comprende cinco grandes fases y que se definen en:

1.1. Metodología:

Las fases en las que se desarrolla el presente estudio, se muestran a continuación, en la figura No. 1.

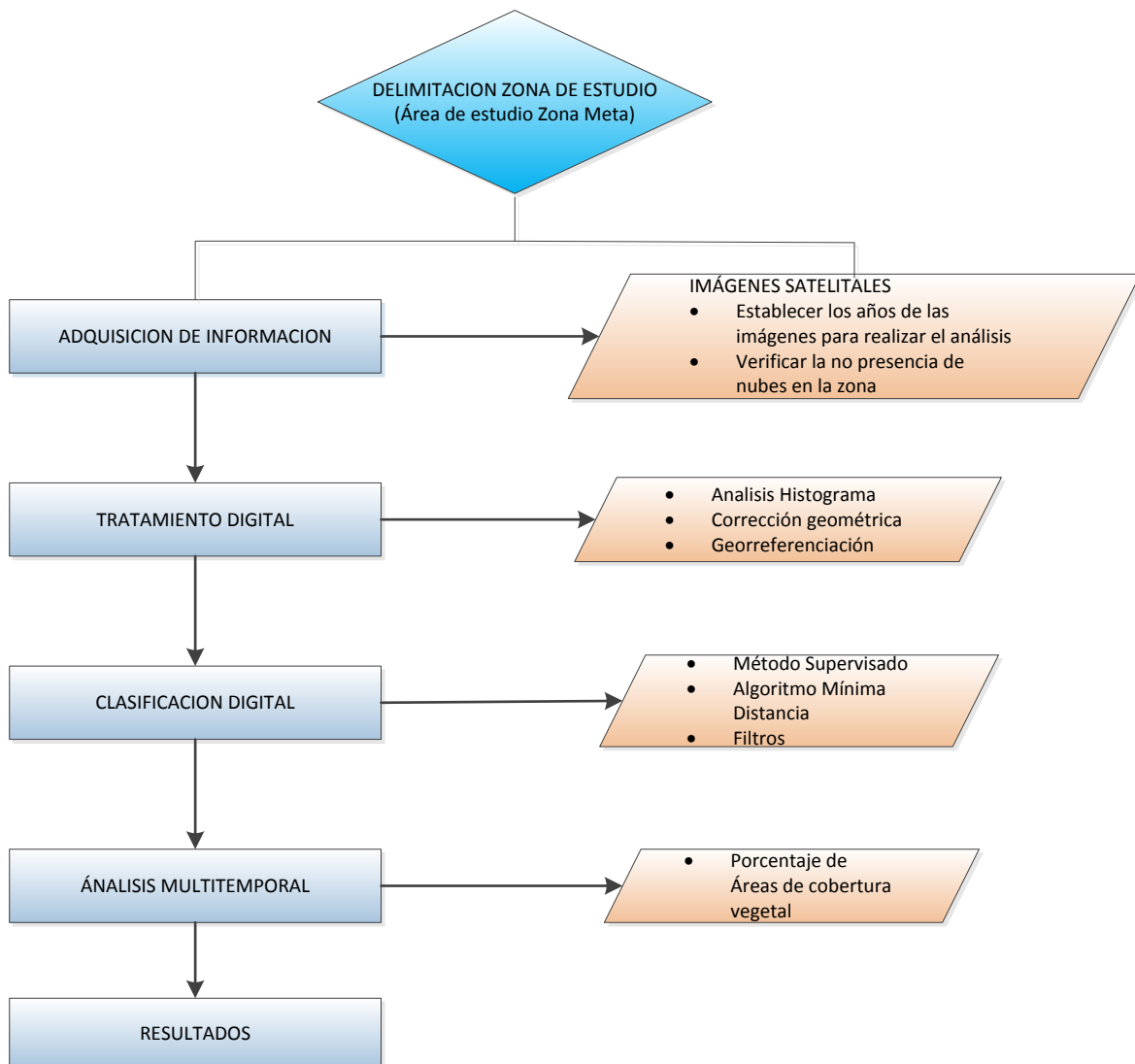


Figura 1. Metodología

Fuente: Autor

A continuación se realiza una descripción breve de cada una de las etapas anteriormente señaladas.

1.2. **Delimitación de la zona de estudio**, para este caso la zona del Parque Nacional Natural La Macarena y sus alrededores. (Figura 2).



Figura 2. Área de Estudio

Fuente: Autor

1.2.1 Descripción del área de Estudio

El área de estudio se encuentra localizada en el departamento del Meta, dentro de esta área es importante resaltar que se encuentra ubicado el parque nacional natural la macarena, ubicado en los municipios de La Macarena, Mesetas, Vista Hermosa, San Juan de Arama y Puerto Rico, cuenta con una extensión de 629.280 hectáreas, fue declarado área de manejo especial desde el 1 de septiembre de 1989. (Figura 3).

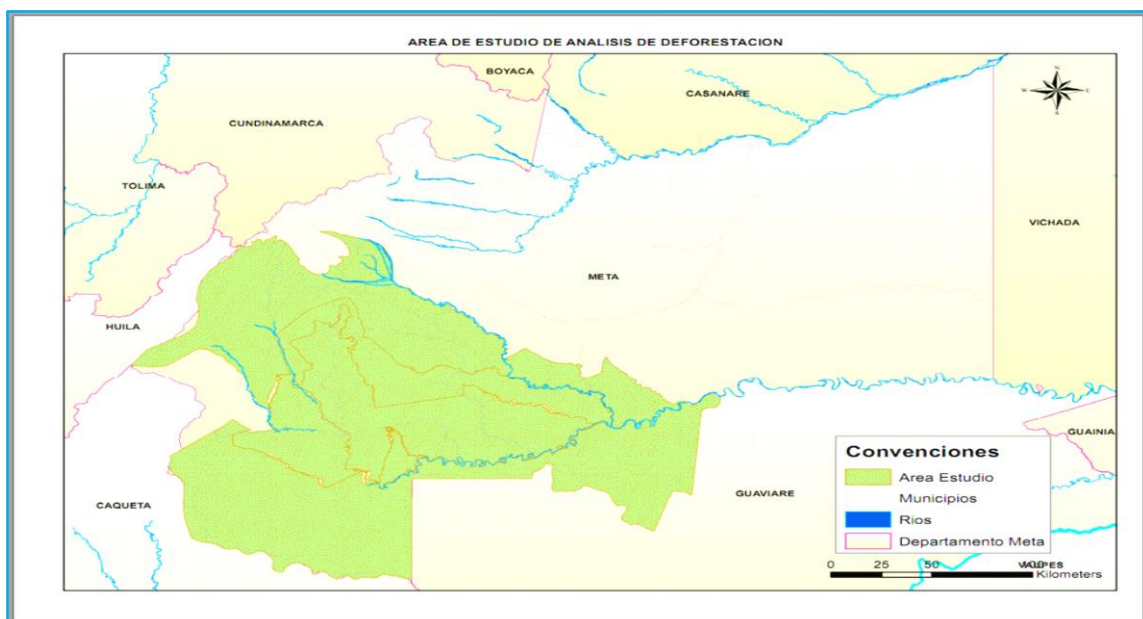


Figura 3. Área de Estudio

Fuente: Autor

1.2.2. Tiempo Análisis

El estudio se realiza en un periodo de aproximadamente 25 años, el boom de la presencia de cultivos ilícitos a gran escala fue en la época de los años 90, por lo que la idea es mostrar cómo se encontraba la zona antes de la presencia de estos cultivos, durante este proceso por lo que también se analiza una imagen de 2001 y como se encuentra recientemente en 2011, luego de las múltiples acciones realizadas por parte del estado para frenar la presencia de estos cultivos en la zona.

1.3. Adquisición de imágenes satelitales

El objetivo principal del presente estudio es la determinación de cambio de áreas de la cobertura de bosques en una zona específica del país, estudio que se realiza a través de imágenes satelitales de diferentes fechas de toma, para este caso se analizaran imágenes de 1988, 2001 y 2011.

Las herramientas utilizadas para la descarga de imágenes se detallan a continuación:

- ESDI. Earth Science Data Interface, Herramienta utilizada para la descarga de imágenes satelitales: Landsat 4 TM – 1988 y Landsat 7 ETM+ -2001
- Glovis. USGS Global Visualization visor, herramienta para la búsqueda y adquisición de imágenes de sensores remotos: Landsat 7 ETM – 2011.
- Se tomó en cuenta la fecha de la toma de la imagen para de esta forma garantizar una mejor interpretación al analizar las imágenes, para este caso fue el primer trimestre del año, tiempo seco.
- Selección de imágenes: se realizó una verificación de las imágenes que se utilizaron para el presente proceso, identificando aquellas imágenes en donde la presencia de nubosidad fuera mínima, con el fin de permitir una fácil identificación de las coberturas existentes, como se observa en la imagen 1.

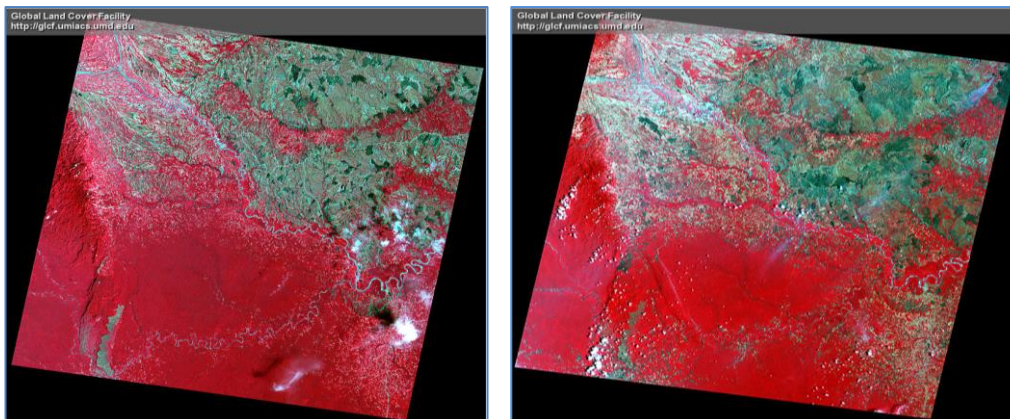


Imagen 1. Imágenes Satelitales Meta

Fuente: GLCF

- Descripción de las Imágenes, a continuación se presenta la información de cada imagen utilizada. Tabla 1.

Tabla 1. Información Imágenes

SATELITE	SENSOR	TAMAÑO PIXEL	FECHA DE TOMA IMAGEN
LANDSAT 4	TM	30 x30	1988-01-11
LANDSAT 7	ETM+	30 x30	2001-03-03
LANDSAT 7	ETM+	30 x30	2011-03-15

Fuente: Autor

1.4. Fase De Pre-Procesamiento

Procedimiento necesario para preparar adecuadamente las imágenes satelitales para ser procesadas y utilizadas en el análisis a realizar.

- Formato: El formato en el que se encuentran los archivos de imágenes descargados son BSQ y GEOTIFF.
- Se debe realizar una corrección geométrica consistente en el cambio de posición geográfica, con el objeto que la imagen resultante se pueda superponer a mapas temáticos o cualquier información que nos permitan realizar el análisis multitemporal, se realizó a través de la toma de puntos de control identificables en cada una de las imágenes a trabajar.
- Una vez consolidada cada una de las bandas que conforman las imágenes satelitales en tres archivos, se realiza un mejoramiento de la imagen a través de la técnica de realce, con el objetivo de mejorar la interpretación de las imágenes, mejorando la identificación de las coberturas existentes en las mismas, a través del nivel mínimo y máximo de los valores de gris o ND. Figura 4.

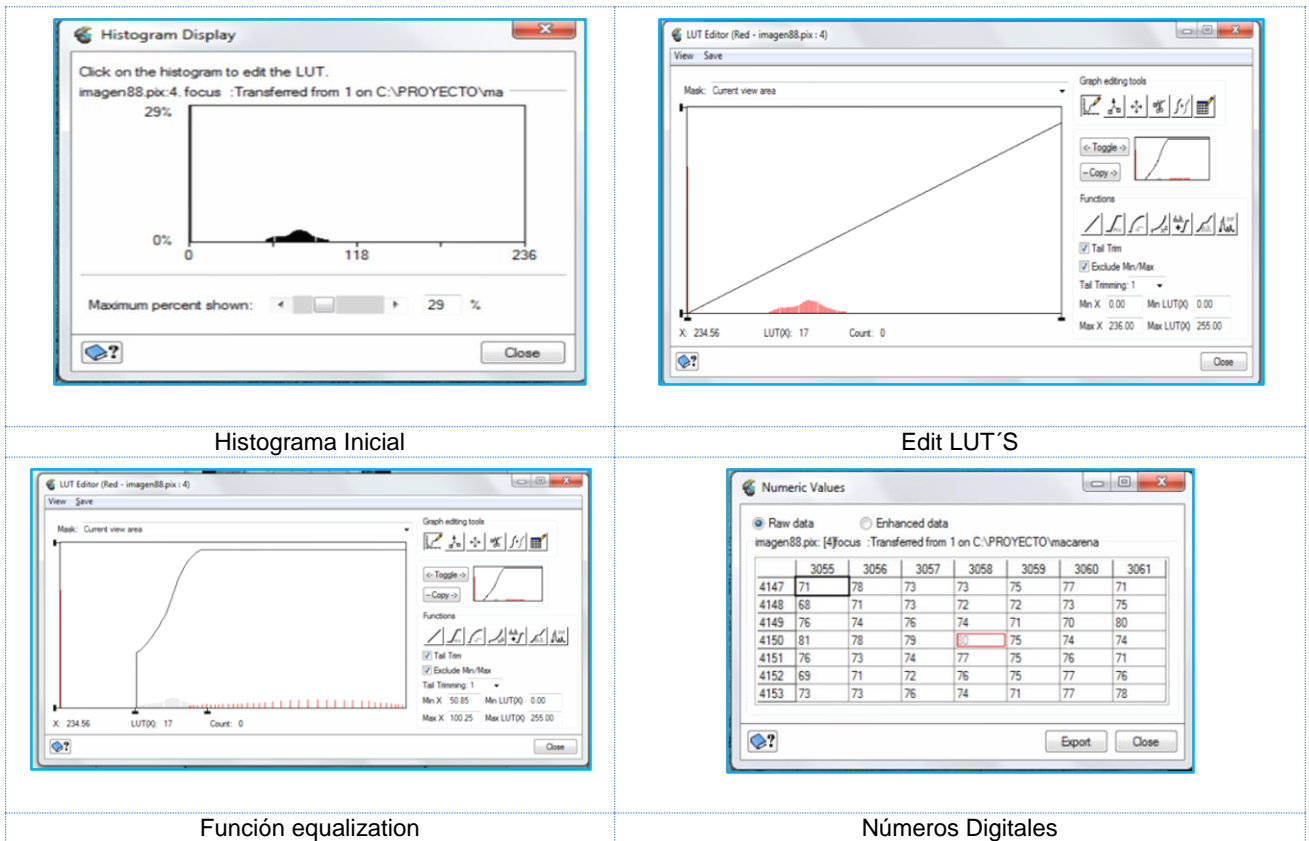


Figura 4. Histogramas
Fuente: Autor

1.5. Clasificación digital

En esta etapa el objetivo es establecer a partir del conjunto de pixeles que conforman las imágenes, clases o rangos definidos para la identificación de las coberturas a analizar.

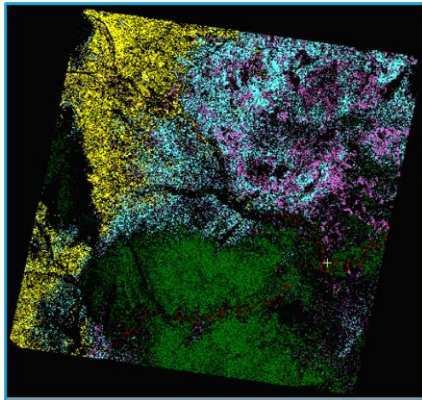
1.5.1 Clasificación Supervisada

Teniendo un conocimiento muy general de la zona, se realiza la toma de muestras de cada una de las seis coberturas que se están analizando, tratando de tomar muestras puras (valores de pixeles muy similares) con el objetivo de que al momento de aplicar a toda la imagen el software permita identificar de manera precisa y así mismo asignar los valores respectivos por cada cobertura analizada.

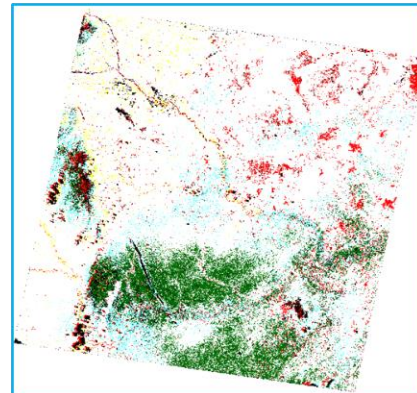
1.5.2. Algoritmo Mínima Distancia

Se busca que cada pixel sea asignado a una clase respecto a la cual su distancia sea mínima, se ha escogido este algoritmo ya que al revisar la información resultante de los algoritmos: máxima probabilidad y

paralelepípedos, se observaba que habían áreas que se encontraban sin clasificación y quedaban con espacios en negro, como se observa en Imagen 2, de igual manera este algoritmo clasifica toda la información encontrada en la imagen y es la que más se acerca en la determinación de las coberturas analizadas.



Algoritmo máximo likelihood



Algoritmo paralelepiped

Imagen 2. Algoritmos Clasificación Supervisada

Fuente: Autor

1.6. Análisis multitemporal

En el presente estudio se evalúa los cambios a través del tiempo de la cobertura vegetal existente en la zona (bosques) por la presencia de cultivos o pastos, lo que se quiere analizar es si hay aumento o pérdida de área en esta cobertura y si efectivamente es a causa de cultivos ilícitos o ganadería extensiva, predominante en esta zona.

El cambio en cobertura se analiza verificando pixel por pixel y la variación en cada uno de los números digitales de cada una de las imágenes analizadas.

Realizando este tipo de estudios y analizando sus resultados, es posible establecer obras o acciones para frenar este tipo de fenómenos que terminan por acabar con la flora y fauna de la región a beneficio de unos pocos.

2. ANALISIS DE RESULTADOS

Una vez aplicada la metodología inicialmente planteada, a continuación se presentaran los resultados de cada uno de los procesos realizados, esto con el fin de identificar cualitativa y cuantitativamente las diferencias de área resultantes de cada una de las coberturas identificadas.

2.1. PROCESAMIENTO DIGITAL

En esta fase se utiliza la información digital (imágenes) para la extracción de información específica para el objetivo final.

2.1.1 Pre procesamiento

En esta fase se realizaron las correcciones geométricas y radiométricas de la imagen, se utilizaron tres imágenes satelitales landsat 4 y 7 a las cuales se les realizó la interpolación a través del método cúbico en donde el ajuste se realiza a través de la información de los píxeles próximos y el resultado es cada una de las imágenes orto corregidas.

2.1.2. Georreferenciación

Para usar la información y lograr una comparación de cada una de las coberturas existentes en las imágenes, se georreferenciaron con puntos de foto control de áreas comunes en las tres imágenes, logrando que el área a trabajar sea de un 80% de cobertura entre las imágenes.

2.1.3. Minimización de ruidos y áreas con nubosidad.

En el proceso de obtención de imágenes, era contar con información en donde la presencia de nubes fuera nula, sin embargo la presencia de nubosidad en el territorio es bastante difícil, adicional a que las imágenes más recientes de landsat 7 ETM+ (2011) por fallas en el Corrector de Escaneo Lineal (SLC) produciendo la pérdida de información de un 16%, fenómeno que se minimiza en la zona centro de la imagen, y a la cual se le ha aplicado un filtro tratando de mejorar la imagen. Imagen 3.

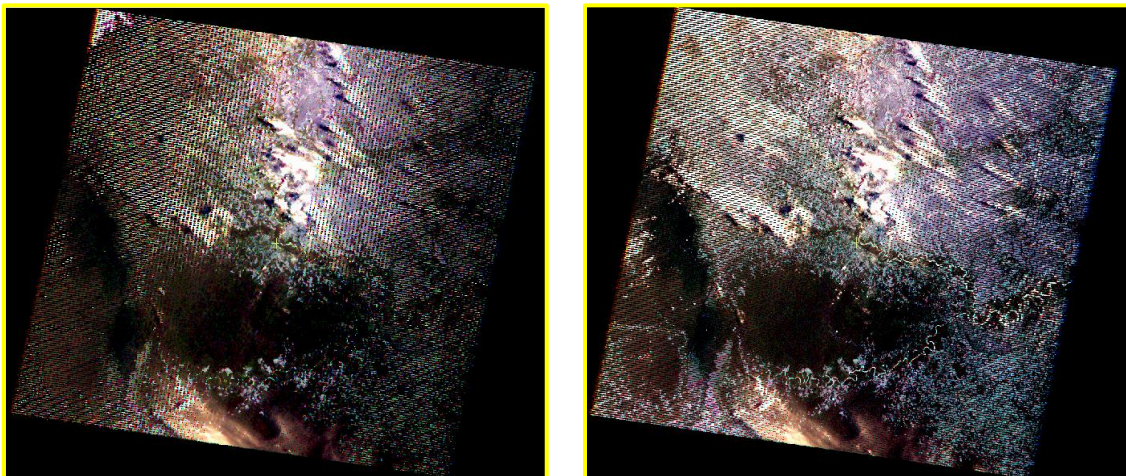


Imagen 3. Mejoramiento de imagen 2011

Fuente: Autor

2.1.4. Mejoramientos

Con el fin de resaltar la zona urbana existente en las imágenes se realizó el realce de cada imagen, facilitando de esta manera la interpretación e identificación visual.

2.1.5. Composiciones a color.

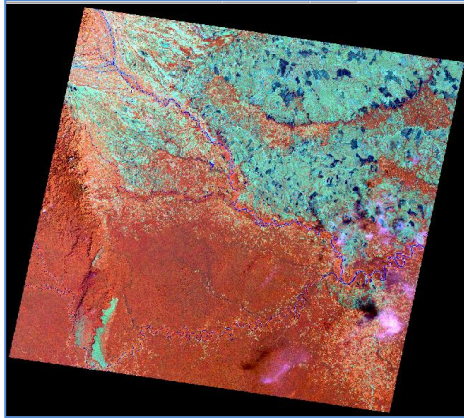
Con el fin de resaltar determinadas características e información de las imágenes, se realizan las diferentes combinación de color mediante la asignación de bandas del espectro electromagnético, las coberturas a identificar en las imágenes son: Bosque densos, bosques galería, cultivos, pastos, ríos y zonas urbanas. Mediante el análisis de los números digitales de cada una de las bandas que componen las imágenes, se tienen en cuenta aquellas bandas que presentan una mayor información respecto de las coberturas analizadas.

Se observa que las coberturas de pastos y cultivos presentan valores altos en la bandas del infrarrojo cercano de cada una de las imágenes, presentes en la alta reflectividad que presentan los suelos. Como se observa en la figura los cultivos se presentan como pequeños lotes que a simple vista y dentro de zonas extensas de bosques pasan casi inadvertibles.

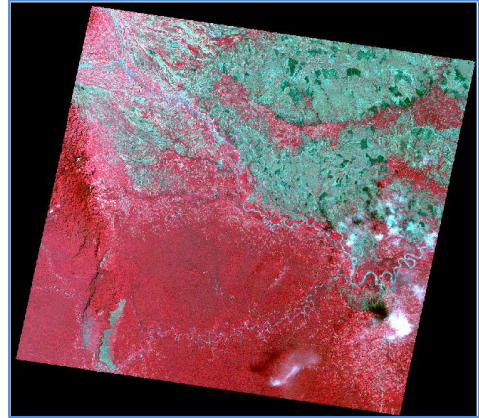
Se realizaron diferentes combinación de color con el fin de resaltar cada una de las coberturas y de esta manera permitir su identificación, así como el análisis de color y textura; Es el caso de bosques densos en donde con una combinación de 4-5-3 se observa de color verde oscuro o combinación 4-3-2 color rojo intenso, por lo que al comparar las tres imágenes se pueden observar los cambios a través del tiempo.

El comportamiento de los números digitales en cada uno de los canales es de bastante similitud con valores menores a excepción de la banda 4 en donde se observa que los números digitales son altos en comparación con las demás coberturas, puede ser por el estado de madurez de la vegetación presente.

A continuación se muestran las combinaciones realizadas a las imágenes. Año 1988, Imagen 4; Año 2001, Imagen 5 y Año 2011 Imagen 6.



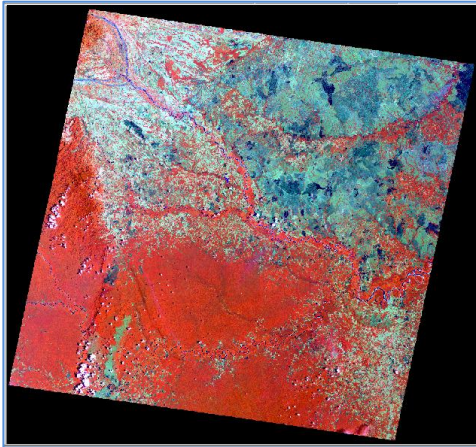
Combinación 453



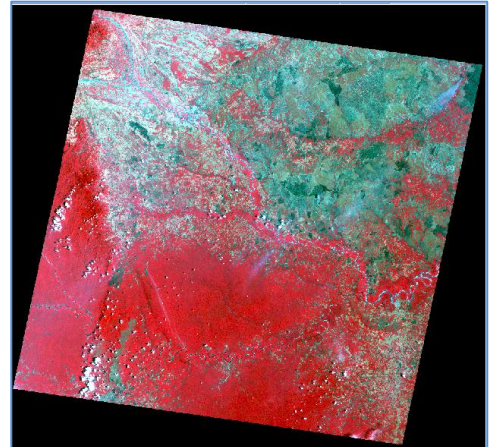
Combinación 432

Imagen 4. Año 1988

Fuente: Autor



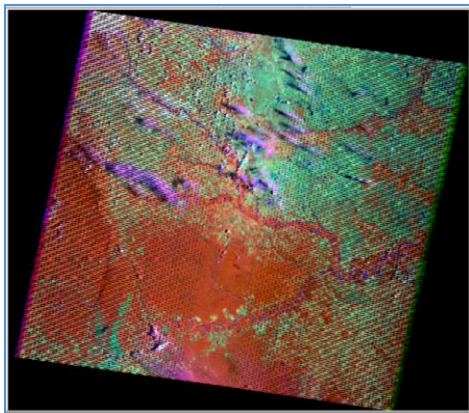
Combinación 453



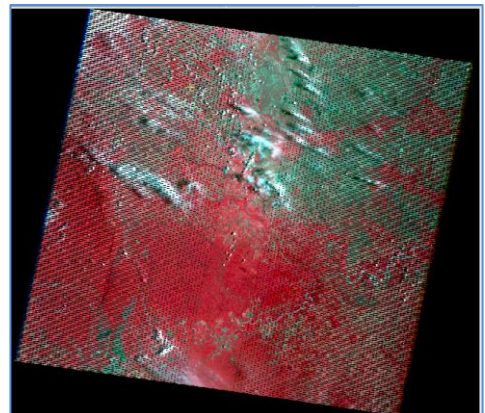
Combinación 432

Imagen 5. Año 2001

Fuente: Autor



Combinación 453



Combinación 432

Imagen 6. Año 2011

Fuente: Autor

2.2. CLASIFICACION DIGITAL

En esta fase se propone dividir el conjunto de píxeles que componen la imagen, en clases o coberturas temáticas previamente definidas para el presente estudio, para este caso el método a utilizar es la clasificación supervisada en donde a través de la selección de muestras en zonas específicas de la imagen permite definir los límites mínimo y máximo de cada una de las clases, asignando de esta manera el mismo valor a píxeles con similares características.

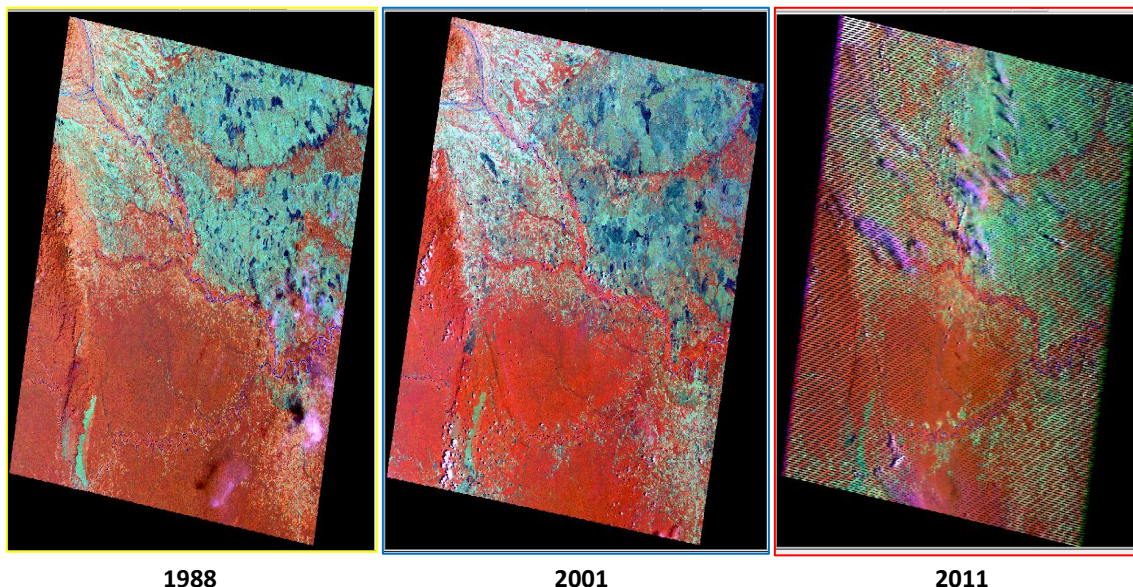
Como se ha indicado anteriormente y con base en el análisis a realizar, se planteó la identificación de coberturas de acuerdo a la clasificación para uso y cobertura de Corine Land Cover utilizada para Colombia 1:100000. Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación Coberturas Corine Land Cover

CODIGO	CLASE COBERTURA	CODIGO	CLASE COBERTURA
1	Bosque	31111	bosque denso alto de tierra firme
5	no bosque	314	bosque de galería y ripario
		111	tejido urbano
		232	pastos arbolados
		242	Cultivos
		511	Ríos
			Nubes

Fuente: IDEAM – Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental

En este proceso se seleccionó la combinación 4 (R) – 5 (G) – 3(B) en donde tomando dos bandas del infrarrojo y una banda visible permite observar con claridad (Imagen 7), la delimitación de cuerpos de agua, agricultura y vegetación, usos del suelo y áreas urbanas al igual que la distribución de áreas en cada imagen.



1988

2001

2011

Imagen 7. Combinación 4-5-3

Fuente: Autor

A través de las dos matrices con las que cuenta PCI geomatics y la visualización de la correlación, se pueden establecer que tan definidas están las áreas de cada cobertura, teniendo en cuenta que hay algunas zonas en donde se presentan traslapos por lo que la calidad de definición puede presentar algunas interferencias que no permiten que la calidad de la imagen sea pura en su totalidad. Esto se observa en la matriz con la presencia de valores inferiores a 2.00000.

Analizando la imagen landsat de 1988, la matriz nos presenta una separación mínima entre las coberturas de bosque denso y bosque galería con un valor de 1.669, a través de estas estadísticas se evalúa la calidad de la toma de muestras realizadas y de esta forma continuar con el proceso de clasificación, como se observa en las figuras 4,5 y 6 de los años 1988, 2001 y 2011, respectivamente.

Hay que aclarar que para la imagen de 1988 la separabilidad fue mayor a lo mínimo aceptado (valor 1,7) como se indicó anteriormente, por lo que se debería volver a realizar la toma de las muestras respectivas, sin embargo y luego de realizar la toma tres veces, en todos los casos se presentaban estos valores y en ningún momento se logro aumentar la separabilidad a un valor de 1,7, estas coberturas en realidad son muy similares ya que es una cobertura de bosques en donde la diferencia es que el bosque galería se encuentra ubicado cerca de fuentes de agua o drenajes naturales y la reflectividad puede ser muy similar, por lo tanto la similitud entre estas dos coberturas.

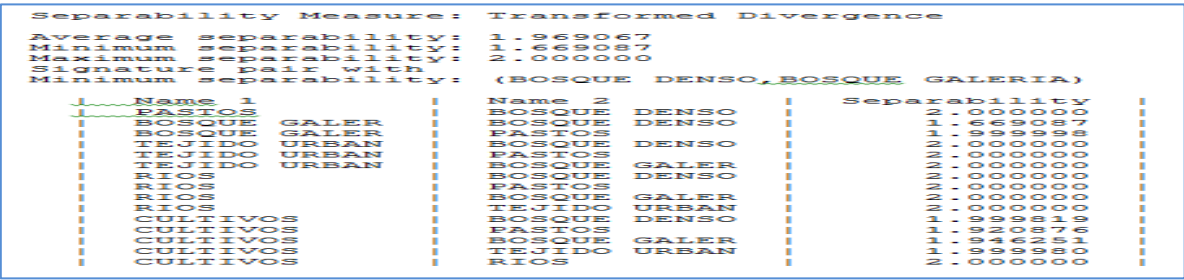


Figura 4. Transformed Divergence – 1988

Fuente: Autor

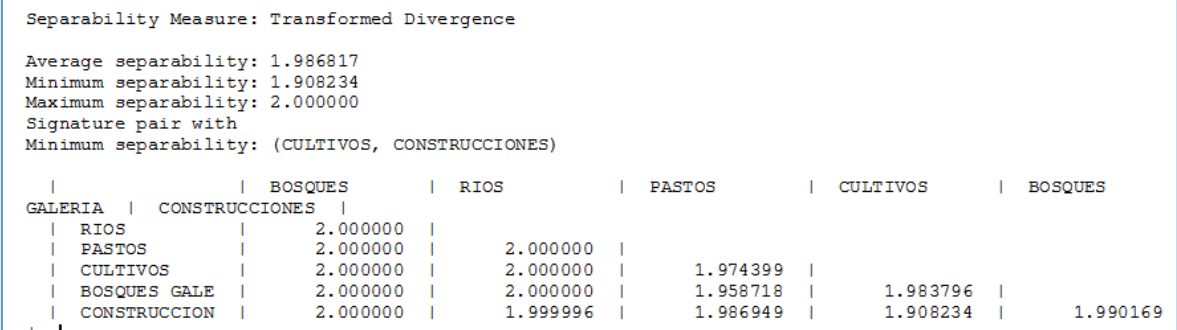


Figura 5. Transformed Divergence – 2001

Fuente: Autor

Separability Measure: Transformed Divergence

Average separability: 1.986817
 Minimum separability: 1.908234
 Maximum separability: 2.000000
 Signature pair with
 Minimum separability: (CULTIVOS, CONSTRUCCIONES)

	BOSQUES	RIOS	PASTOS	CULTIVOS	BOSQUES GALERIA	CONSTRUCCIONES
RIOS	2.000000					
PASTOS	2.000000	2.000000				
CULTIVOS	2.000000	2.000000	1.974399			
BOSQUES GALE	2.000000	2.000000	1.958718	1.983796		
CONSTRUCCION	2.000000	1.999996	1.986949	1.908234	1.990169	

Figura 6. Transformed Divergence – 2011
Fuente: Autor

Posteriormente Se utilizó la clasificación de MINIMA DISTANCIA en donde a cada pixel se le asigna una clase respecto a la cual su distancia sea mínima, se evaluaron de igual forma los algoritmos máximo likelihood, máximo likelihood with null, parallelepiped y parallelepiped with MLC, sin embargo y luego de verificar gráfica y estadísticamente, este es el que presenta una mayor cobertura de clasificación de las imágenes, como se observa en las imágenes 8, 9 y 10, de acuerdo a los años objeto de análisis.

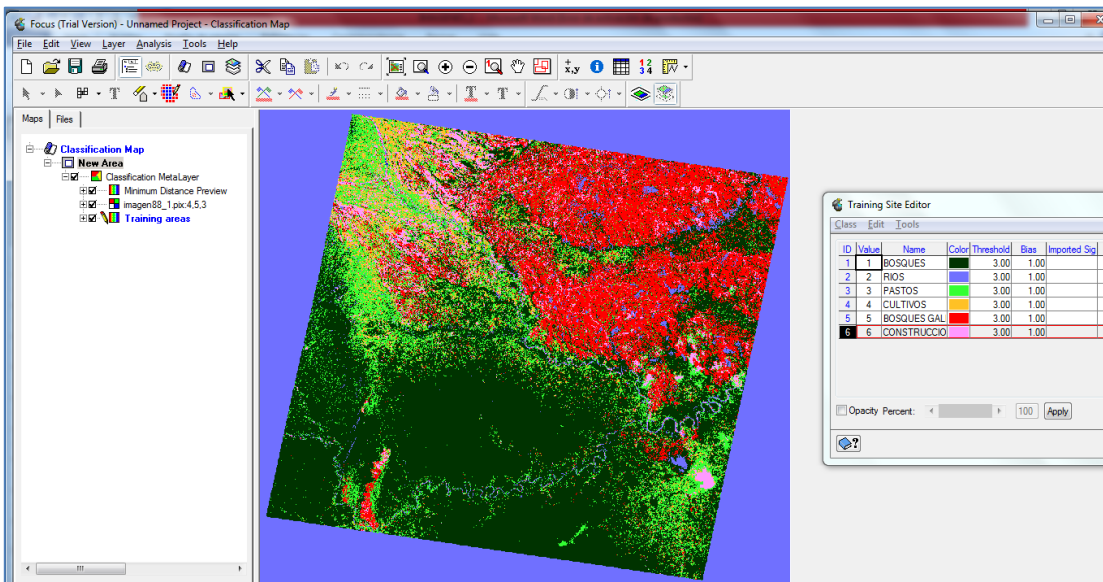


Imagen 8. Clasificación Mínima Distancia- 1988
Fuente: Autor

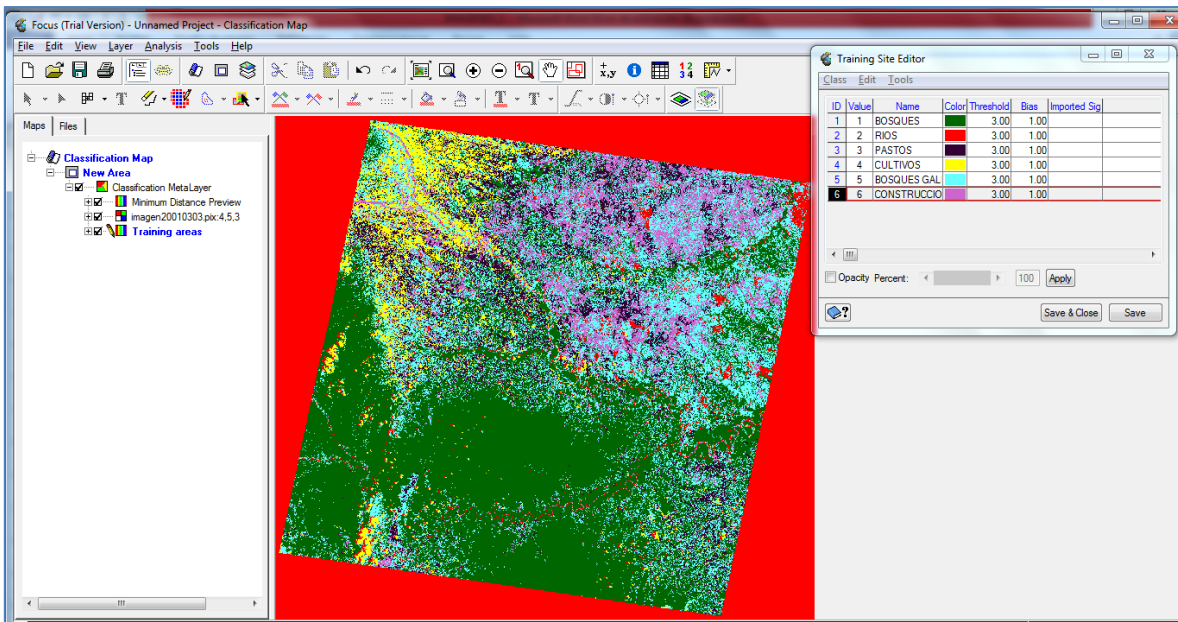


Imagen 9. Clasificación mínima Distancia-2001

Fuente: Autor

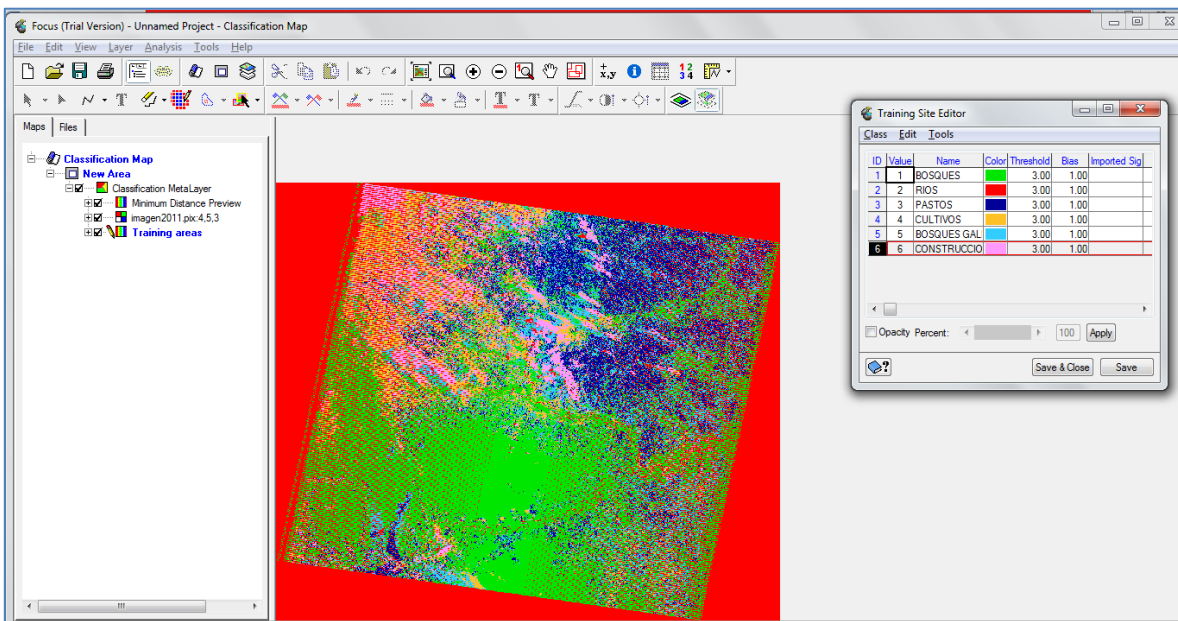


Imagen 10. Clasificación mínima Distancia-2011

Fuente: Autor

Una vez realizada la clasificación, realizamos un filtro con el fin de realizar posteriormente el proceso de vectorización de las imágenes como se observa en Imagen 11.

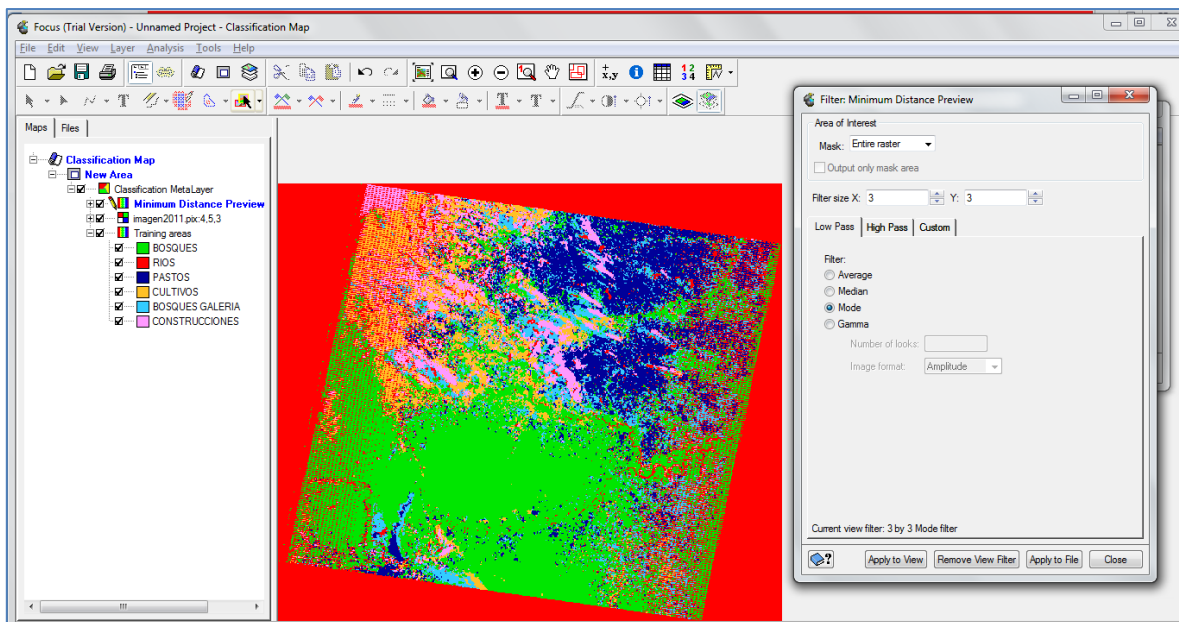


Imagen 11. Realce Filtro de paso bajo

Fuente: Autor

Realizando los procedimientos anteriormente descritos y con el fin de cuantificar las coberturas para el área de estudio, se obtuvo los siguientes resultados. Tabla 3.

Tabla 3. Total Pixeles Utilizados

COBERTURA	PIXELES UTILIZADOS IMAGEN 1988	PIXELES UTILIZADOS IMAGEN 2001	PIXELES UTILIZADOS IMAGEN 2011
BOSQUES	10950159	18842314	14668587
RIOS	87499	16600650	23260638
PASTOS	50380	4572474	5501241
CULTIVOS	106353	2460083	3725024
BOSQUES GALERIA	1348020	9760309	5356209
CONSTRUCCIONES	677	3732618	2655592

Fuente: Autor

Una vez vectorizada cada una de las imágenes (Imagen 12,13 y 14), se analizó la tabla de atributos resultante de este proceso, analizando el área en hectáreas y su porcentaje de cobertura, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Áreas de Cobertura

COBERTURA	1988	2001	2011
-----------	------	------	------

	AREA	%	AREA	%	AREA	%
BOSQUES	16268903210	37,31%	15593782268	34,30%	13247544725	13,34%
PASTOS	4304568558	9,87%	4068921825	8,95%	7932823701	7,99%
CULTIVOS	1558677384	3,57%	5198299425	11,43%	1922956467	1,94%

Fuente: Autor

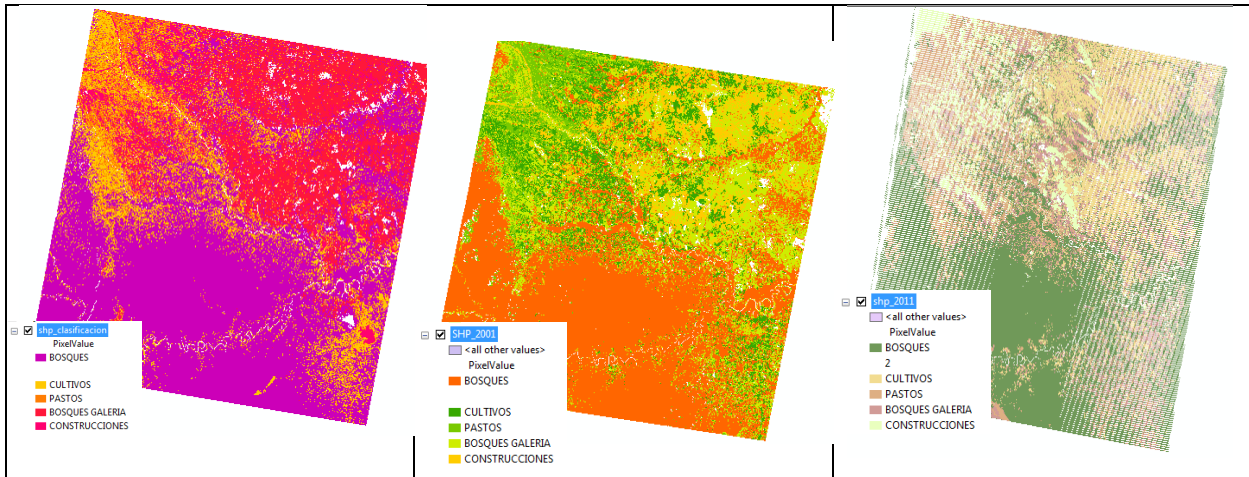


Imagen 12. Vectorización imagen arc gis

Fuente: Autor

Se debe tener en cuenta que para el presente estudio se tomó como referencia las imágenes satelitales indicadas anteriormente, sin embargo hay presencia de nubes, sombras y gaps en la imagen de 2011 que puede incidir directamente en los resultados arrojados en cuanto a áreas, ya que una de las posibles causas sea que el área a analizar dentro de la imagen satelital se vea interferida con la presencia de estos gaps reduciendo el tamaño de la muestra.

En la imagen de 1988 la cobertura bosques densos presenta un 37.31% del total de área analizada, una cobertura pura sin la presencia de cultivos o pastos, para el año 2001 se observa una leve reducción en el área de bosques densos pero se observa un aumento de aproximadamente el doble de área de la que se tenía identificada en 1988 con el 11.43% y a pesar que se observa que para el año 2011 se encuentra un área mucho menor de las indicadas, esta información no es confiable por lo que como se indicó anteriormente hay presencia de gaps y nubes que no permiten realizar un buen análisis, adicional que en esta imagen no se clasificaron todos los pixeles existentes en la misma.

Por lo que se concluye que aunque no es una reducción considerable de área de la cobertura de bosques densos, si se presenta una disminución reemplazada por la presencia de cultivos ilícitos en este caso.

De acuerdo a la información proporcionada por el proyecto SIMCI Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos, en donde se realiza la interpretación de coberturas afectadas por la siembra de cultivos desde el año 2000, informan que se ha mantenido constante el área destinada a cultivos ilícitos, ocupando el Departamento del Meta el octavo puesto en área sembrada por cultivos ilícitos.

3. CONCLUSIONES

- Se identificó gráficamente como estadísticamente que el área de la cobertura de bosques densos (cobertura objeto de análisis) ha sufrido una disminución considerable, en gran parte por la presencia y aumento de cultivos ilícitos en estas zonas.
- Al utilizar la clasificación supervisada para este tipo de análisis, se debe realizar una muestra más grande y en zonas en donde no se presenten varias coberturas, para de esta forma al aplicarse a la imagen completa no se presenten variaciones de información y se pueda clasificar en una cobertura a la que no corresponde.
- Con lo que se identifica en cada una de las imágenes y según la información relacionada con el tema se realizó este estudio, sin embargo y para una mayor precisión es necesario realizar una verificación en terreno de lo obtenido en oficina y de esta forma asegurar que correspondan a las coberturas analizadas.
- Aunque se observa una disminución en áreas de la cobertura de bosques, en imágenes con bastante diferencia de tiempo, es bueno realizar un monitoreo año por año, para de esta forma realizar una cuantificación permanente de que tanto varía el área de cada cobertura.
- Se observa que los cultivos ilícitos se presentan en la mayoría de los casos, cerca de las zonas de ríos.
- El área de los cultivos no superan una hectárea, ya que es más fácil camuflar la presencia de estos en áreas extensas de bosques.
- Se debe tener en cuenta que en algunas zonas las áreas destinadas a cultivos ilícitos no funcionan de manera permanente, han sido abandonados y son reemplazados por pastos, de ahí el incremento en áreas de esta cobertura.
- Se hace necesario a pesar que la calidad de las imágenes es buena, realizar este tipo de análisis con imágenes de sensores remotos con mayor resolución espacial, así como sensores como radar en donde la imagen no presenta la nubosidad que se encuentra en la zona.
- En los últimos años y luego que se ha decretado la Macarena como un Parque Nacional Natural, la presencia y monitoreo de la zona se ha incrementado, lo que conlleva a una disminución en la tasa de deforestación.

4. BIBLIOGRAFIA

1. Chuvieco Emilio. (1990). Fundamentos de Teledetección Espacial, Madrid, España.
2. Chuvieco Emilio. (2000). Teledetección Ambiental, Observación de la Tierra desde el espacio, Madrid, España.
3. Coberturas de las Tierra. (2014). Sistema de Información Ambiental de Colombia, SIAC. Ministerio de Medio Ambiente. En [www. siac.gov.co](http://www.siac.gov.co).
4. UNODC. (2012). Cultivos de Coca estadísticas municipales censo 31 de diciembre de 2011, Proyecto SIMCI II. Colombia.
5. SINCHI. (2009). Sistema de Información Ambiental Territorial de la Amazonia Colombiana, SIATAC.Colombia. En www.siatac.co
6. Centro de Investigación y Desarrollo de Información Geográfica. (2005). Interpretación visual de imágenes de Sensores Remotos y su Aplicación en Levantamientos de Cobertura y Uso de la Tierra. Bogotá, Colombia.