

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**Ciclo Optativo de Especialización y Profesionalización en
Gestión de la Calidad y Auditoría Ambiental**



**ANÁLISIS DE CAMBIO DE COBERTURA
CON IMÁGENES DE SATÉLITE DEL
TRAMO 3 DE LA CARRETERA
INTEROCEÁNICA (IIRSA - SUR) ENTRE
LOS AÑOS 2005 - 2011**

Presentado por:

Denisse López Cabrera

Trabajo de Titulación para optar el Título Profesional de:
INGENIERO FORESTAL

Lima - Perú
2016

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Titulación, sustentado por la Bachiller en Ciencias Forestales, DENISSE LÓPEZ CABRERA, titulado “ANÁLISIS DE CAMBIO DE COBERTURA CON IMÁGENES DE SATÉLITE DEL TRAMO 3 DE LA CARRETERA INTEROCEÁNICA (IIRSA – SUR) ENTRE LOS AÑOS 2005 - 2011 ”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de

En consecuencia queda en condición de ser considerada APTA y recibir el título de INGENIERO FORESTAL.

La Molina, 15 de Enero de 2016

.....
Mg. Sc. Víctor Barrena Arroyo
Presidente

.....
Ing. Juan Carlos Ocaña Canales
Miembro

.....
Ing. Carlos Vargas Salas
Miembro

.....
Ing. Lic. Ethel Rubin de Celis Llanos
Asesor

.....

DEDICATORIA

A Jorge Abel López Méndez, a pesar de no estar físicamente, siempre fue mi motivación.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento

A mi asesora Ing. Lic. Ethel Rubín de Celis Llanos por guiarme en el desarrollo del trabajo de titulación.

A mis profesores miembros del jurado por compartir conocimientos, aportes y recomendaciones brindadas para el trabajo de titulación.

A la empresa Consultores Asociados en Naturaleza y Desarrollo por brindarme información para el desarrollo del trabajo de titulación.

A todas aquellas personas que apoyaron y aportaron al desarrollo del presente trabajo.

RESUMEN

En la presente investigación se muestra el resultado de cambio de cobertura obtenida de la comparación de imágenes de satélite Landsat 5 TM de los años 2005 y 2011, correspondientes al tramo 3 de la carretera interoceánica, desde la ciudad de Puerto Maldonado hasta la ciudad de Iñapari, en donde se analizó un área total de 1 099733,13 ha, área en la cual se realizó la clasificación supervisada con árboles de decisión de dos periodos (2005 – 2011), que equivalen a un periodo de análisis de manera simultánea. El resultado de cambio de uso de cobertura fue de 6 502,50 ha, posterior a ello se analizaron visualmente las zonas de cambio y se obtuvo que 217,87 ha cambiaron de bosque a bosque secundario, representando el 3,4% del total del cambio, concluyendo que el 96,6% del cambio representa el total de deforestación en la zona de estudio.

Imágenes Landsat, Clasificación Supervisada, Árbol de decisión.

ÍNDICE GENERAL

| | Página |
|--|-----------|
| I. Introducción | 1 |
| 1. Generalidades | 1 |
| 2. Objetivos..... | 2 |
| 2.1. Objetivo General..... | 2 |
| 2.1.1. Objetivos Específicos..... | 2 |
| II. Revisión de Literatura..... | 3 |
| 1. Plataforma Landsat..... | 3 |
| 2. Resolución Espacial | 3 |
| 3. Resolución Espectral | 4 |
| 4. Resolución Radiométrica | 4 |
| 5. Resolución Temporal | 5 |
| 6. Pre-procesamiento de imágenes de satélite..... | 5 |
| 6.1. Errores y correcciones..... | 5 |
| 6.2. Realce y clasificación..... | 6 |
| 6.2.1. Realce de imágenes..... | 6 |
| 6.2.2. Clasificación digital de imágenes de satélite | 7 |
| 7. Cambios en la cobertura | 8 |
| 8. Estudios previos sobre cambios de cobertura usando imágenes de satélite..... | 9 |
| III. Materiales y Métodos | 11 |
| 1. Área de estudio | 11 |
| 2. Materiales y Métodos..... | 13 |
| 2.1. Información Digital Básica..... | 13 |
| 2.2. Equipos | 13 |
| 2.3. Software..... | 13 |
| 2.4. Material Cartográfico | 13 |
| 3. Metodología | 14 |
| IV. Resultados y discusión..... | 17 |
| V. Conclusiones..... | 37 |
| VI. Recomendaciones | 39 |
| VII. Referencias bibliográficas..... | 41 |
| VIII. Anexos..... | 45 |

Índice de tablas

| | Página |
|--|--------|
| Tabla 1: Imágenes si georeferenciar Landsat 5TM año 2005 | 13 |
| Tabla 2: Imágenes georeferenciadas Landsat 5TM año 2011 | 13 |
| Tabla 3: Carta Nacional | 14 |
| Tabla 4: Valores mínimos para corrección atmosférica imagen 268 año 2005 | 20 |
| Tabla 5: Errores de georeferenciación | 21 |
| Tabla 6: Leyenda de clasificación | 23 |
| Tabla 7: Leyenda de cambio de cobertura 2005- 2011 | 23 |
| Tabla 8: Superficie de cambio | 33 |
| Tabla 9: Información base año 2005 y año 2011 | 34 |
| Tabla 10: Superficie de cambio natural y cambio antrópico | 34 |
| Tabla 11: Validación de puntos con Google Earth | 36 |

Índice de figuras

| | Página |
|---|--------|
| Figura 1: Área de estudio | 11 |
| Figura 2: Tramo 3 de la carretera interoceánica..... | 12 |
| Figura 3: Flujograma | 15 |
| Figura 4: Selección de imágenes de satélite | 17 |
| Figura 5: Elección de parámetros para descarga de imágenes del INPE | 18 |
| Figura 6: Imagen Satelital Landsat con 6 bandas..... | 19 |
| Figura 7: Corrección atmosférica de imagen 268 año 2005 | 20 |
| Figura 8: Georeferenciación imagen a imagen..... | 21 |
| Figura 9: Resultado de imagen georeferenciada..... | 22 |
| Figura 10: Resultado de la unión de dos imágenes con 6 bandas | 22 |
| Figura 11: Áreas de entrenamiento | 24 |
| Figura 12: Conversión de archivo en formato vector a raster | 25 |
| Figura 13: Creación de extensiones en NLCD | 25 |
| Figura 14: Clasificador See 5 | 26 |
| Figura 15: Resultado de iteración 9 de la imagen 268 | 27 |
| Figura 16: Resultado de evaluación y reclasificación | 28 |
| Figura 17: Resultado de iteración 1 de la imagen 268 | 28 |
| Figura 18: Resultado de iteración 9 de la imagen 268 | 29 |
| Figura 19: Limpieza de pequeñas clases..... | 29 |
| Figura 20: Posición de imágenes | 30 |
| Figura 21: Mosaico de resultados de cambio 2005-2011 | 30 |
| Figura 22: Corte de mosaico | 31 |
| Figura 23: Resultado de cambio de cobertura 2005-2011 en formato vector | 32 |
| Figura 24: Interpretación visual de bosque secundario | 33 |
| Figura 25: Mapa Final de cambio de cobertura 2005-2011..... | 35 |

Índice de anexos

| | Página |
|---|--------|
| Anexo 1 Unión de bandas con Layer Stack..... | 45 |
| Anexo 2 Corrección atmosférica (valores mínimos)..... | 46 |

I. INTRODUCCIÓN

1. GENERALIDADES

El bosque tropical amazónico es reconocido por su gran biodiversidad, riqueza ecológica y por ser uno de los más extensos en todo el planeta. La conservación de la Amazonía es muy importante para mantener el equilibrio del medio ambiente y para poder asegurar la supervivencia de las generaciones futuras.

El departamento de Madre de Dios es uno de los departamentos con mayor biodiversidad en el Perú, cuenta con una superficie total de 8 530 054 ha, ocupando el tercer lugar como departamento con mayor superficie del Perú. (Gobierno Regional de Madre de Dios 2014)

La principal cuenca hidrográfica de la zona es la del río Madre de Dios y sus principales afluentes: Chivile, Azul, Blanco, Inambari, Tambopata y Colorado que tributan por su margen derecha. Además recibe por su margen izquierda a los ríos Manu, Los Amigos y Las Piedras. (Ministerio de Energía y Minas 2009)

En el territorio de Madre de Dios se ubican seis Áreas Naturales Protegidas (ANP) reconocidas por el Estado Peruano que tienen como objetivo preservar una muestra representativa de la diversidad biológica, mantener los procesos evolutivos y el intercambio genético; En conjunto, abarcan 3 784 081 ha que representa el 44,6% del total del territorio (GOREMAD e IIAP, citado por Gobierno Regional de Madre de Dios 2014).

En el año 2004 el Gobierno Peruano promulgó mediante D.S. N° 018 – 2004 - MTC, el carácter prioritario del proyecto Corredor Vial Interoceánico Sur, para la interconexión vial de la ciudad de Iñapari a los Puertos Marítimos del Sur.

Posteriormente a ello a fines de Abril del 2004 se promulgó la Ley 28214, Ley que declara la necesidad pública y de preferente interés Nacional la ejecución del Proyecto Corredor Interoceánico PERÚ – BRASIL – IIRSA SUR. (Zaira 2008).

Dourojeanni (2006), menciona que el impacto de las carreteras en las regiones tropicales húmedas, sobre la vida natural y social sigue siendo un tema de gran preocupación, ya que,

si bien ellas estimulan el crecimiento económico y atenúan tensiones sociales de otras regiones con poblaciones más densas, también contribuyen a la destrucción y desperdicio de un patrimonio natural valioso.

Para determinar los cambios de cobertura, existen diversos mecanismos de medición a través de imágenes de satélite, siendo uno de estos la clasificación digital, ésta representa una serie de ventajas en su implementación como son la obtención de información de una forma rápida, análisis simultáneos de varias bandas espectrales, proceso relativamente objetivo, reproducible y se pueden establecer sistemas de monitoreo muy frecuentes. Una de las modalidades de la clasificación digital de imágenes es la clasificación supervisada, ésta es realizada mediante un operador que define las características espectrales identificadas por el humano en sitios de entrenamiento definidos. Salinas *et al.* (2013).

En tal sentido, el presente estudio buscó determinar y analizar el cambio de cobertura entre los años 2005 y 2011, del tramo 3 de la Carretera Interoceánica Sur, desde la ciudad de Puerto Maldonado hasta la ciudad de Iñapari a través de imágenes de mediana resolución - Landsat, se utilizó la clasificación supervisada y un clasificador basado en arboles de decisiones (See5: C5), en donde se procedió a clasificar las imágenes del año 1 (2005) y el año 2 (2011), esta metodología permitió que el trabajo se realice de forma simultánea garantizando una clasificación directa de los cambios de cobertura del suelo de acuerdo a las categorías previamente establecidas.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Clasificación del cambio de cobertura en imágenes satelitales utilizando la teoría de árboles de decisión en la carretera interoceánica sur, periodo 2005 – 2011.

2.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la superficie de cambio total generada en la zona del tramo 3 de la carretera Interoceánica Sur entre las ciudades de Puerto Maldonado e Iñapari.
- Determinar la superficie de cambio generada por deforestación en el área de influencia del tramo 3 de la carretera Interoceánica Sur entre las ciudades de Puerto Maldonado e Iñapari.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. PLATAFORMA LANDSAT

Fernández *et al.* (2001) mencionan que con el lanzamiento del satélite Landsat 1 en 1972 se abrió una nueva percepción del planeta con una resolución tanto temporal como espectral desconocida hasta entonces. Este satélite dotado de sensores empleados en teledetección fue diseñado con el fin de obtener datos de los recursos terrestres. En base a este objetivo se diseñaron las resoluciones para adaptarse a este fin.

La serie de satélites Landsat, desde el año 1972 dan una de las mayores series históricas de la evolución del planeta.

| | <i>Landsat 1-3</i> | <i>Landsat 4-6</i> | <i>Landsat 7</i> |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Altitud | 907-915 km | 705 km | 705 km |
| Inclinación | 99.2 ° | 98.2 ° | 98.2° |
| Orbita | Polar, Solar sincrónico | Polar, Solar sincrónico | Polar, Solar sincrónico |
| Paso por el Ecuador | 9h30 a.m | 9h30 a.m | 10h00 a.m |
| Periodo de revolución | 103 m | 99 m | 99 m |

2. RESOLUCIÓN ESPACIAL

Pérez (2005) menciona que la Resolución Espacial es la mínima distancia entre dos objetos que puede registrar un sensor en el terreno y posteriormente representarlo en la imagen. En un sistema fotográfico suele medirse la mínima separación a la cual los objetos aparecen distintos y separados en la misma fotografía.

Chuvienco (1990) menciona que este concepto de resolución espacial designa al objeto más pequeño que puede ser distinguido en una imagen.

Sacristán (2006) señala que lo más normal es que un píxel tenga una naturaleza heterogénea, pudiendo englobar en el caso de una zona urbana, a una manzana de casas, un jardín o una autopista. Las diferencias locales se diluirán en la respuesta promedio, y este efecto crea una ilusión sobre la existencia de zonas de transición y zonas de contacto gradual entre distintas unidades de paisaje. Dicho efecto no se manifiesta cuando existe un contraste brusco entre

dos usos del suelo contiguos; por ejemplo, un movimiento de tierras reciente en el interior de un bosque cerrado. La existencia de un contraste brusco puede permitir observar en una imagen objetos cuyas dimensiones sean inferiores a las de un píxel.

3. RESOLUCIÓN ESPECTRAL

Pérez (2005) indica que es el ancho de la banda de un sensor o un número de bandas expresado en longitud de onda. Entre los sensores espaciales la menor resolución espectral corresponde al sistema de detección y RADAR a diferencia de los sensores de óptica electrónica que ofrecen un amplio rango de bandas como es el caso de TM o mapeador temático del sistema Landsat.

Hernández (2001) menciona que los índices de vegetación se construyen como funciones de las reflectividades a distintas longitudes de onda, de manera que dada la diferente respuesta espectral de las superficies naturales, permiten dar información sobre la vegetación, atenuando la contribución del suelo, la iluminación, la atmósfera, así como la influencia de factores meteorológicos como las nubes y el viento, en los valores medidos por el satélite.

Soria y Granados (2005) mencionan que los índices de vegetación se utilizan para discriminar masas vegetales de alta actividad fotosintética de otras coberturas en fases fenológicas iniciales y se basa en el peculiar comportamiento radiométrico de la vegetación. El comportamiento espectral característico de la vegetación sana muestra un alto contraste entre las bandas visibles, especialmente la banda roja (0,6-0,7 μm) y la del infrarrojo cercano (0,7 - 1,1 μm).

4. RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA

Martínez (2005) dice que se refiere a la capacidad para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. En el caso de los sistemas óptico-electrónicos la imagen se presenta en formato digital, gracias a una conversión analógico-digital realizada a bordo del satélite. El número máximo de valores que incluye ese rango es decir el número máximo de niveles digitales de la imagen suele identificarse con la resolución radiométrica del sensor.

Hernández (2001) señala que la resolución radiométrica o sensibilidad radiométrica se refiere al número de niveles digitales empleados para expresar los datos recogidos por el sensor. En general, a mayor número de niveles, mayor es el detalle en la información. Los satélites con mayor resolución radiométrica son preferibles frente a los de menor, ya que

permitirán una mejor interpretación de la imagen. Sin embargo, nuevamente es necesario tener en cuenta la razón señal-ruido a la hora de aumentar la resolución de un sistema. El tamaño de paso de un nivel digital de radiancia al siguiente, no puede ser menor que el nivel de ruido, o de lo contrario, sería imposible discernir si un cambio en el nivel ha sido debido a un cambio real en la radiancia del objeto, o a un cambio en la magnitud del ruido.

5. RESOLUCIÓN TEMPORAL

Pérez (2007) dice que es la frecuencia en el tiempo con la cual el sensor obtiene imágenes de una misma área. La resolución temporal es un elemento importante cuando se estudian cambios en la superficie de la tierra o del océano. Mientras en la superficie de la tierra los cambios se producen en días o en años, en la atmosfera de la superficie del mar se producen en horas. También interesa la hora del día pues, al medio día se eliminan las sombras que constituyen un elemento perturbador para el estudio de vegetación, pero como acentúan el relieve puede favorecer los estudios geológicos.

Sacristán (2006) menciona que el objetivo principal de los estudios multitemporales es encontrar una forma de combinar o integrar en el proceso varias imágenes correspondientes a diferentes fechas, con distintos estados fenológicos en la vegetación, de cara a la obtención de un incremento en la precisión de las clasificaciones. La integración de imágenes de satélite relativas a una misma área pero de fechas sucesivas, se realiza a través de un procedimiento de registro multitemporal de las imágenes. Este proceso consiste, en líneas generales, en obtener la posición de una imagen con respecto a otra que proporciona la máxima correlación en el espacio de los datos radiométricos. El resultado final que se obtiene es una sola imagen que posee tantos canales espectrales como bandas suman las imágenes procesadas.

6. PRE-PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE SATÉLITE

6.1. ERRORES Y CORRECCIONES

García y Consuegra (1997) mencionan que los errores radiométricos son aquellos que modifican el valor real de la energía captada por el sensor del satélite. Entre las causas de los errores radiométricos se encuentran aquellas debidas a la presencia de la atmosfera, a la orografía del terreno, a la propia geometría en la captura de información, a un mal funcionamiento del sensor y a fallos en la transmisión o recepción de las imágenes. Por otro lado los errores geométricos modifican la geometría de la imagen. Siendo estos últimos

debidos a la curvatura de la tierra, a su propio movimiento giratorio, a variaciones en la posición del satélite y a distorsiones provocadas por el sensor.

León (2002) menciona que las correcciones geométricas incluyen la corrección de distorsiones debidas a la diferencia entre el sensor y la geometría de la tierra, y la conversión de los datos a coordenadas de la superficie de la Tierra (p. ej. latitud y longitud). Todas las imágenes de percepción remota están sujetas a distorsiones geométricas. Estas se deben a distintas causas, tanto instrumentales como naturales, como: la perspectiva del sensor, el movimiento del sistema de barrido, el movimiento del satélite, su altura y velocidad, el relieve del terreno, y la curvatura y rotación de la Tierra. Las correcciones geométricas intentan corregir estas distorsiones para que la representación de la imagen pueda ser más real. Muchas de estas variaciones son sistemáticas, es decir, predecibles si conocemos ciertos datos del sensor y la geometría de la Tierra. Pero otras variaciones se deben a errores no sistemáticos o al azar, por lo que debemos realizar la registro geométrico de la imagen a un sistema de coordenadas conocido.

Chuvieco (2006) señala que las correcciones que se realizan sobre las imágenes tienden a eliminar los ruidos causados a la señal que llega al satélite luego de haber atravesado la atmósfera, el efecto de la distorsión de la señal produce errores en la localización como en los Niveles Digitales (ND) de los píxeles. Pueden presentar alteraciones radiométricas y geométricas de forma que no coincida con el tono, posición y tamaño de los objetos. Algunas técnicas, para corregir estos efectos, son incorporadas de modo rutinario por las estaciones receptoras de las imágenes, pero en otros casos se requieren correcciones más detalladas como en los estudios multitemporales o cuando se requiere incorporar información auxiliar.

6.2. REALCE Y CLASIFICACIÓN

6.2.1. REALCE DE IMÁGENES

Según, León (2002) el realce de imagen comprende funciones cuyo propósito es mejorar la visualización de la imagen para ayudar en la interpretación visual y el análisis. A menudo, los métodos estándar de fotointerpretación nos ayudan a clasificar nuestra imagen, sin embargo, existe un gran número de manipulaciones matemáticas que pueden ser aplicadas a la imagen para auxiliar en su interpretación visual. En la imagen original, los valores digitales para cada banda se encuentran concentrados en una pequeña porción del rango de valores digitales. El estiramiento de contraste o estiramiento de histograma cambia los

valores originales de los píxeles para distribuirlos mejor en todo el rango, aumentando así el contraste que percibimos. Un concepto clave es el histograma de la imagen, que no es más que la representación de los valores de radiancia que componen a una imagen en el eje x, junto a su frecuencia en el eje y. Se puede realizar un estiramiento lineal o un estiramiento de histograma ecualizado. Los filtros espaciales también se aplican para resaltar o suprimir características específicas en la imagen. Estos se basan en su frecuencia espacial, o sea, su frecuencia en la imagen. Los filtros espaciales realizan cálculos matemáticos en cada píxel usando los valores de píxeles vecinos.

6.2.2. CLASIFICACIÓN DIGITAL DE IMÁGENES DE SATÉLITE

Chuvieco (2006) señala que el método supervisado pretende definir clases informacionales, mientras que el método no supervisado tiende a identificar las clases espectrales presentes en la imagen. También se puede deducir que ninguno de los métodos proporciona una solución inmediata a todos los problemas que entraña una clasificación digital.

Joseph (2005) refiriéndose a la clasificación supervisada, afirma que el analista, basado en la información previa sobre las características espectrales de estas clases, entrena al equipo para generar límites en el espacio de características dentro de las cuales cada píxel debe caer. En contraste con esto, en la clasificación no supervisada al equipo se le pide agrupar cada píxel en base a las clases espectrales presentes en los valores de la imagen de gris. Algunos criterios de separabilidad determinados estadísticamente son utilizados para tales agrupaciones. Posteriormente, el analista de la imagen determina la clase de cobertura del suelo asociado a cada grupo espectral desde el conocimiento previo.

Farías y Dimundo (2003) señalan que los píxeles son asignados a distintos cluster sin que se sepa nada del área examinada, ni de la existencia de posibles patrones homogéneos en ella. El objetivo es relacionar las clases obtenidas con objetos reales cuya existencia, características y diferencias se pueden comprobar en el campo.

Steininger y Horning (2007) mencionados por Anaya y Zapata (2011) afirman que se puede establecer la captura de información e inferencias en áreas tan extensas y de condiciones tan adversas como son los bosques naturales, eventualmente se podría realizar por medio de las técnicas de teledetección, teniendo en cuenta que, como regla, todos los análisis realizados bajo esta técnica requieren información de campo adicional ó conocimiento del área para la interpretación de las imágenes. También manifiestan que se considera que las técnicas de

teledetección son las únicas herramientas prácticas para estimar la deforestación a nivel pantropical, sin las cuales el reto de los mecanismos REDD sería aún mayor. El uso de esta tecnología es requerida debido a las limitaciones de acceso de muchas áreas en el trópico y lo poco práctico que son los muestreos basados en fotografías aéreas. En el monitoreo de las áreas degradadas, la dificultad gira en torno a la determinación de la alteración del área ocurrida dentro de la matriz boscosa. La complejidad de la determinación radica en la heterogénea composición del bosque degradado, ya que es una mezcla de diferentes tipos de coberturas (vegetación arbustiva, árboles muertos, suelos, sombra) y la firma espectral característica de los procesos de degradación, cambia rápidamente.

7. CAMBIOS EN LA COBERTURA

Dourojeanni (2006) menciona que el impacto que genera la construcción de una carretera en regiones tropicales es alarmante, y si bien las carreteras generan crecimiento económico, también contribuyen a la destrucción y desperdicio del patrimonio, atropellando los derechos de las poblaciones locales, también menciona que los balances entre los aspectos positivos y negativos del uso de las carreteras en el trópico húmedo nunca son positivos en términos ambientales, aunque pueden serlo en términos sociales y económicos.

Según Escobedo y Borasino, (2009), el tema principal del conflicto social y socio ambiental es el aumento de la deforestación, en este caso de un área con aptitud forestal, donde puede extraerse además de madera otros productos que en ninguna otra parte del país pueden encontrar, como es el caso de la castaña. Este conflicto ocurre cuando el concesionario ve que dentro del área de su concesión una familia de agricultores ha talado parte del bosque para hacer su chacra y el problema de la deforestación es que reduce la productividad de la castaña.

Portuguez y Huerta, citados por Benavides (2009) señalan que las principales causas de deforestación se atribuyen a la construcción de carreteras ya que la deforestación por agricultura migratoria y ganadería esta en relación directa con la accesibilidad a los bosques.

Fleck *et al.* (2010), manifiesta que la pavimentación de toda la carretera, bajo el proyecto Carretera Interoceánica Sur (IOS), ha incrementado el proceso migratorio hacia la región. La ocupación desordenada del territorio ha producido una presión sobre los recursos naturales, lo que motiva una gran preocupación en relación a la conservación futura de la región, mientras que el tramo Puerto Maldonado-Iñapari, en comparación con el resto de la

carretera, muestra una realidad distinta, con mucho menor dinamismo, ya que el transporte de carga y de pasajeros es menos intenso. En dicho tramo, es mayor la importancia de las concesiones forestales, tanto para madera como para castaña (*Bertholletia excelsa*). Por su lado, la agricultura y la ganadería son actividades que se realizan con mayor o menor intensidad a lo largo de toda la carretera.

Oliveira *et al.* (2007), mencionan que en estudios en pequeña escala han notado un incremento en los daños en áreas protegidas, la mayoría de los cambios de uso de suelo a agricultura o pastos cerca de asentamientos humanos y riveras de los ríos, asociados a la aproximación de carreteras, programas rurales, acceso al mercado y también al inadecuado planeamiento de uso de suelo por parte del estado.

8. ESTUDIOS PREVIOS SOBRE CAMBIOS DE COBERTURA USANDO IMÁGENES DE SATÉLITE.

Rubín de Celis y Barrera (2003), realizaron un estudio temporal con imágenes de satélite Landsat TM, en el área de La Reserva Nacional Pacaya Samiria, para cuantificar la variación de la actividad antrópica para los años 1987 y 2011, notándose una variación de 23 383,26 ha del año 2011 con respecto al año 1987.

CDC-UNALM, SZF, INRENA (2007) Realizaron un estudio para evaluar la tendencia y el cambio del tramo 3 de la Carretera Interoceánica, en un área de 2 664 654 ha, haciendo uso de imágenes de satélite para los años 1990, 2000 y 2005, en donde se encontró que la deforestación entre los años 1990-2000 fue de 50 000 ha, mientras que en el periodo 2000 - 2005 fue de 19 000 ha. Este estudio se realizó mediante algebra de mapas.

Arnillas, C., *et al.* (2010) Compararon dos metodologías de clasificación supervisada con imágenes de satélite, See5 Classifier vs Random forest donde se pudo determinar que See5 toma menos tiempo de procesamiento que Random Forest según la leyenda de Corine land Cover.

LTA-CI-UNALM (2010-2012), realizaron un estudio multitemporal en el departamento de San Martín, para identificar patrones históricos de cambio de deforestación para los años 2000-2005 y 2005-2010, obteniendo como producto un mapa de cobertura vegetal y de deforestación, usando la metodología basada en clasificación supervisada y algoritmo de árbol de decisión

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a una parte del tramo 3 de la Carretera Interoceánica, desde la ciudad de Puerto Maldonado hasta la ciudad de Iñapari en el departamento de Madre de Dios. Los límites del área de estudio son, por el norte el río Acre, por el sur el río Inambari y por el este la línea de la frontera con Bolivia, esta área cuenta con una superficie de 1 099 733,13 ha aproximadamente, dentro de ésta, la distancia de la carretera recorre unos 225 km. El área de estudio y límites se pueden apreciar en las Figuras 1 y 2.

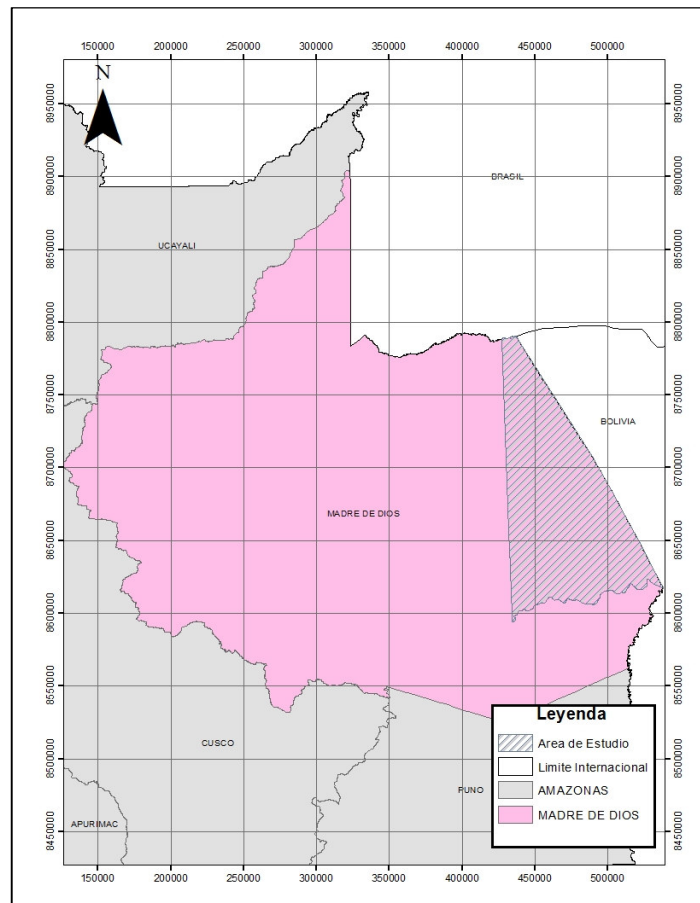


Figura 1: Área de estudio

FUENTE: Elaboración propia

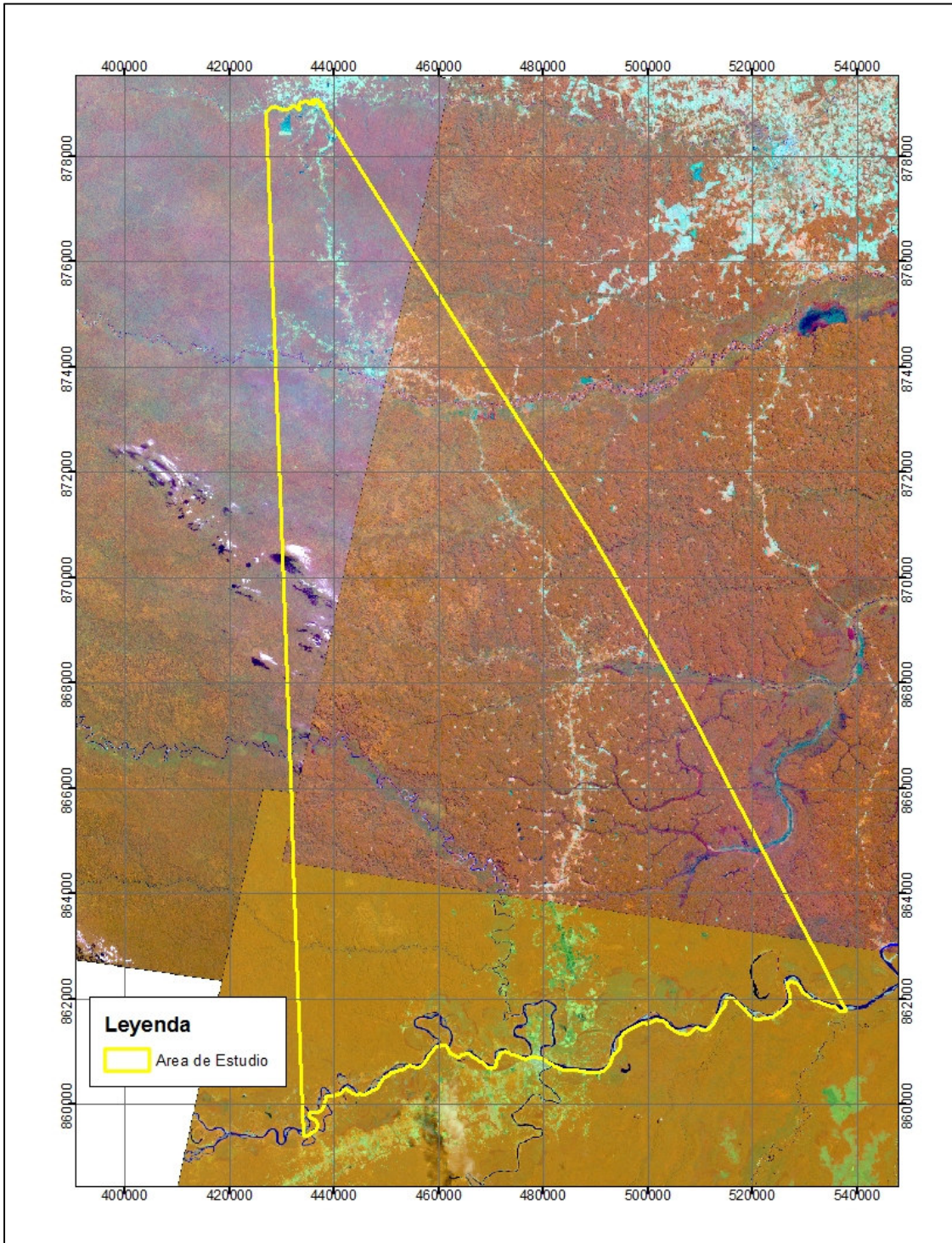


Figura 2: **Tramo 3 de la carretera interoceánica**

FUENTE: Elaboración propia

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del estudio se empleó el siguiente material:

2.1. INFORMACIÓN DIGITAL BÁSICA

Se utilizaron imágenes de satélite Landsat 5 TM de los años 2005 y 2011

Imágenes de Satélite Año 2005

Tabla 1: Imágenes si georeferenciar Landsat 5TM año 2005

| <i>Landsat</i> | <i>Path</i> | <i>Row</i> |
|-------------------------------|-------------|------------|
| landsat_5_tm_20050709_002_068 | 2 | 68 |
| landsat_5_tm_20050911_002_069 | 2 | 69 |
| landsat_5_tm_20050817_003_068 | 3 | 68 |

FUENTE: Instituto Nacional de Investigación Espacial de Brasil

Imágenes de Satélite Año 2011

Tabla 2: Imágenes georeferenciadas Landsat 5TM año 2011

| <i>Landsat</i> | <i>Path</i> | <i>Row</i> |
|-------------------------------|-------------|------------|
| landsat_5_tm_20110811_002_068 | 2 | 68 |
| landsat_5_tm_20110710_002_069 | 2 | 69 |
| landsat_5_tm_20110903_003_068 | 3 | 68 |

FUENTE: Consultores Asociados en Naturaleza y Desarrollo

2.2. EQUIPOS

- Computadora de escritorio marca Samsung Intel R Core TM i5

2.3. SOFTWARE

- ArcGIS 9.3.1 ESRI
- ERDAS IMAGINE 9.2 Intergraph Corporation
- See5/C5 Rulequest Research
- Programas de Microsoft Office (Word, Excel, PPT)

2.4. MATERIAL CARTOGRÁFICO

- Carta Nacional en escala 1:100 000, como se aprecia en la tabla N°3:

Tabla 3: Carta Nacional

| Código nacional (IGN) | Nombre de la Hoja |
|------------------------------|---------------------------|
| 23-y | San Lorenzo |
| 24-y | Mávila |
| 24-z | Santa María |
| 25-y | Alegría |
| 25-z | Valencia |
| 26-y | Puerto Maldonado |
| 27-y | Reserva Tambopata Candamo |

FUENTE: Instituto Geográfico Nacional

- Límite Departamental INEI 2007 (formato .shp)
- Límite Internacional INEI 2007 (formato .shp)

3. METODOLOGÍA

En la Figura 3, se puede apreciar el flujo del trabajo realizado.

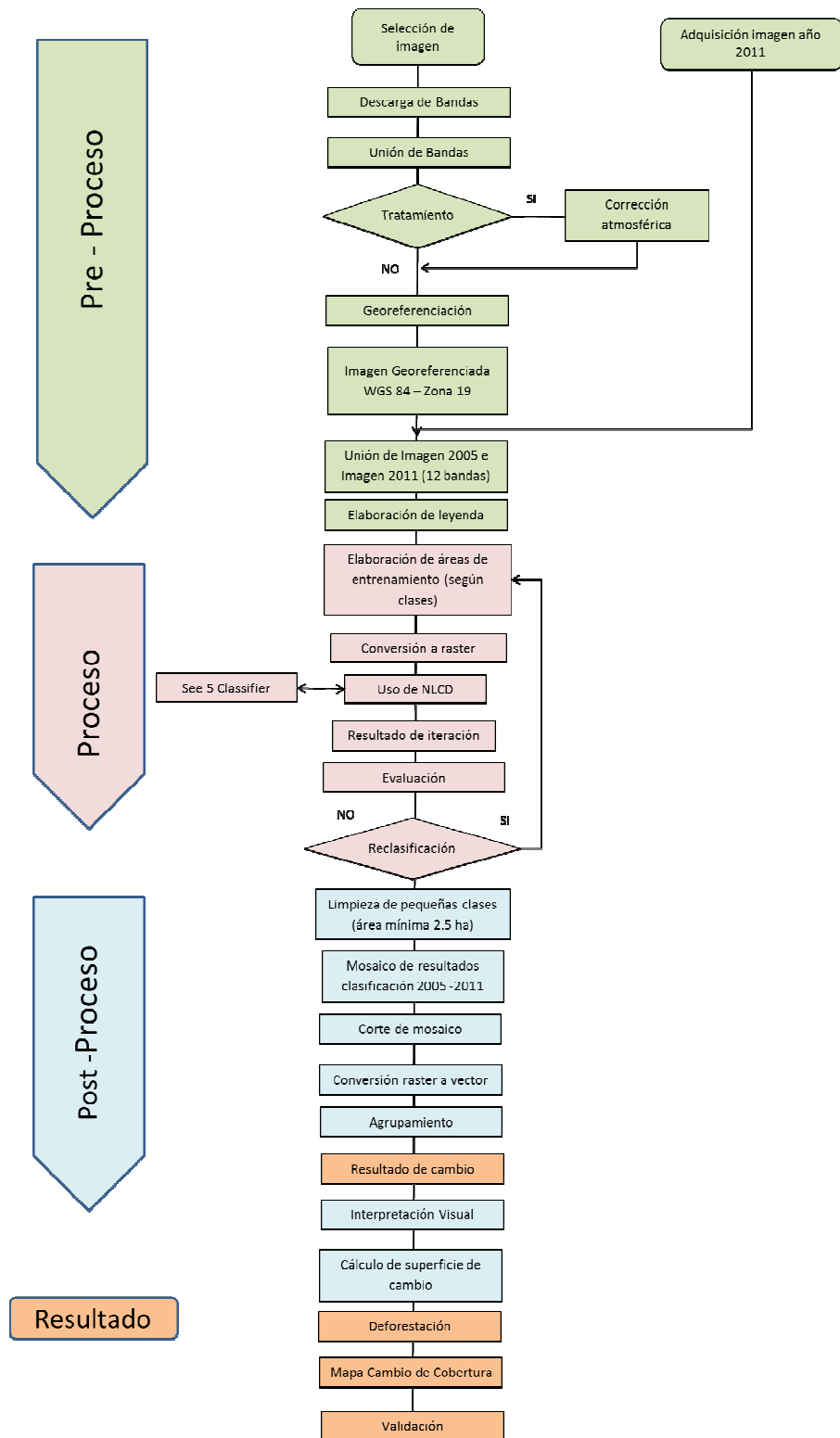


Figura 3: **Flujograma**

FUENTE:Elaboración propia

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- Selección de imágenes 2005 y adquisición de imágenes 2011

A continuación se detalla el trabajo realizado en cada uno de los periodos trabajados.

Imágenes de satélite año 2005

Se procedió a seleccionar las imágenes de satélite como se puede apreciar en la Figura 4, en donde se pueden ver las escenas trabajadas. Posterior a ello, dentro de la página del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE - <http://www.inpe.br/>), (Figura 5) se eligieron las imágenes con mayor información, es decir, imágenes con meta data completa, porcentaje promedio de nubosidad menor al 20% y que contuvieran las 7 bandas completas, según la información ya mencionada en la Tabla 1.

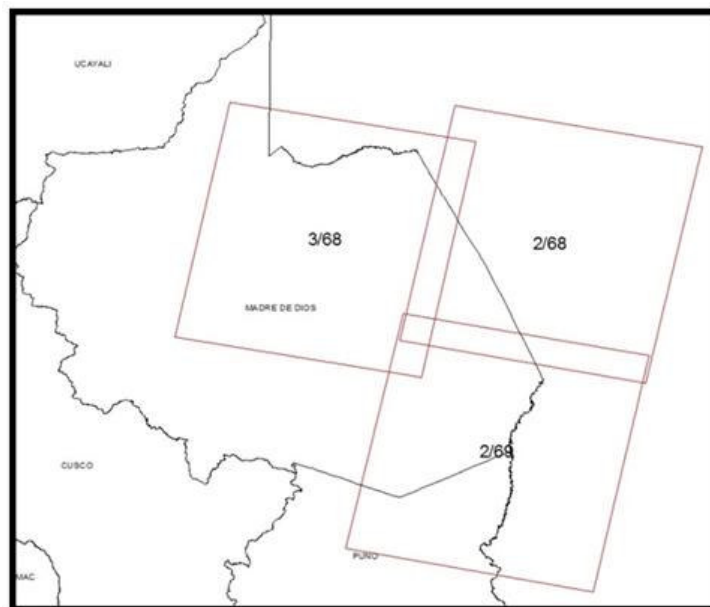


Figura 4: Selección de imágenes de satélite

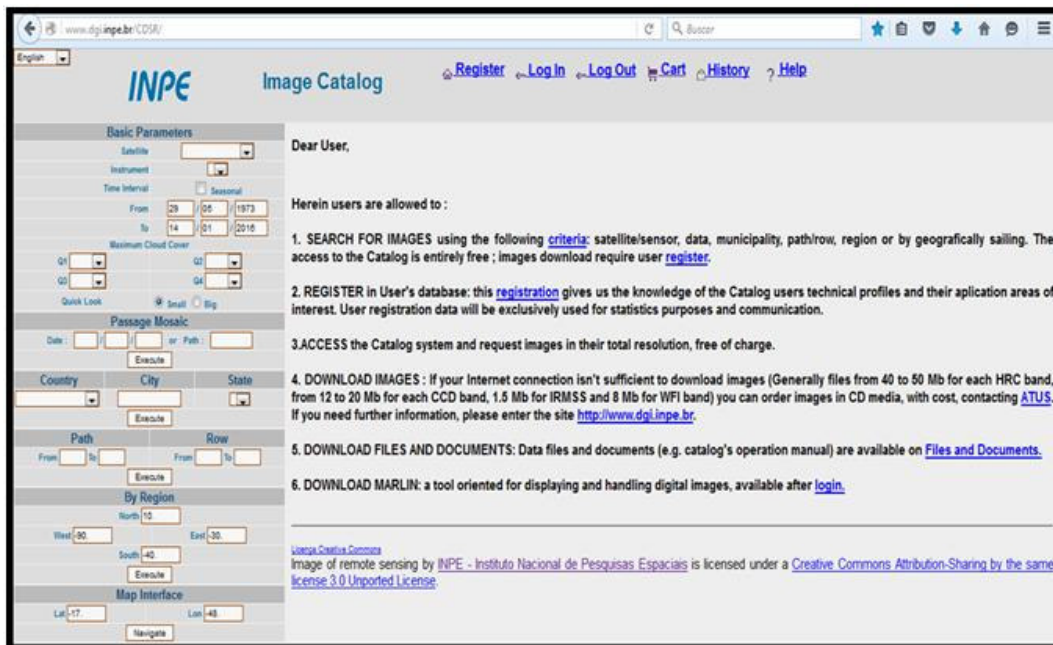


Figura 5: Elección de parámetros para descarga de imágenes del INPE

Imágenes de satélite año 2011

Las imágenes del año 2011 fueron proporcionadas por Consultores Asociados en Naturaleza y Desarrollo (CANDES), esta información ya se encontraba georeferenciada, utilizada para el proyecto “Generación de información sobre bosques, deforestación, accesibilidad, mapas y estadística, dirigida a la focalización de comunidades nativas para la conservación de bosques comunales en el departamento de Madre de Dios”, información mencionada en la Tabla 2.

- Descarga de bandas

Se descargaron 7 bandas de cada una de las 3 imágenes, provenientes de la página del INPE de Brasil. El tiempo de descarga por imagen fue de aproximadamente 15 minutos, es decir, un tiempo total de descarga de 45 minutos, utilizando un espacio aproximado de 4 gigabytes (GB), para el almacenamiento de las imágenes del año 2015. Las imágenes del año 2011 utilizaron un espacio aproximado de 4 gigabytes adicionales, haciendo un total de 8 GB en total por las 6 imágenes.

- Unión de bandas.

De las imágenes del año 2005 solo se unieron 6 bandas, debido a que la banda termal, no fue necesaria para el trabajo realizado. Se usó la herramienta Layer Stack como se puede apreciar en el Anexo 1, obteniéndose una imagen con 6 bandas como se puede apreciar en la Figura 6.

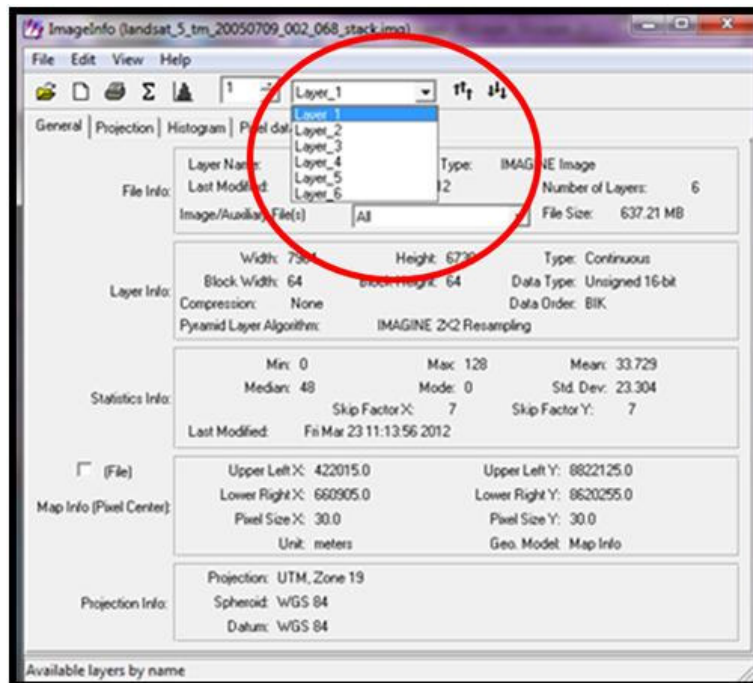


Figura 6: **Imagen Satelital Landsat con 6 bandas**

- Corrección atmosférica

Se procedió a realizar corrección atmosférica, haciendo uso de los valores mínimos de una única imagen, la imagen 268 del año 2005, debido a que carecía de buena visibilidad y difícil discriminación de las distintas clases para su posterior clasificación, como se puede apreciar en la Figura 7. Los valores mínimos utilizados fueron los que se presentan en la Tabla 4 y la herramienta utilizada se puede apreciar en el Anexo 2.

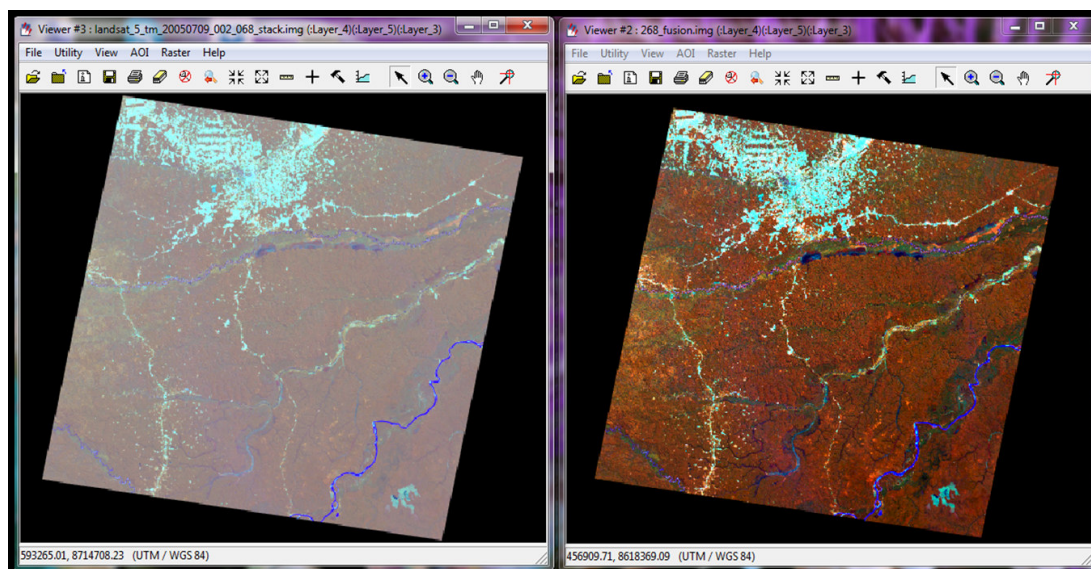


Figura 7: Corrección atmosférica de imagen 268 año 2005

Tabla 4: Valores mínimos para corrección atmosférica imagen 268 año 2005

| <i>Valores mínimos</i> | |
|------------------------|----|
| Banda 1 | 44 |
| Banda 2 | 17 |
| Banda 3 | 13 |
| Banda 4 | 51 |
| Banda 5 | 30 |
| Banda 6 | 8 |

- Georeferenciación

La georeferenciación se realizó imagen a imagen, como se puede apreciar en la Figura 8, tomando como base la imagen proporcionada por Consultores Asociados en Naturaleza y Desarrollo. Las imágenes de CANDES tenían un error aproximado de 1,5 m. En la Tabla 5 se pueden apreciar los errores generados al georeferenciar la imagen. La toma de puntos se realizó priorizando las zonas estables inamovibles, como lo son las pistas, carreteras, centros poblados, en el caso no hubieran puntos estables se procedió a poner los puntos en zonas similares, como en ríos en donde no se muestre gran movimiento, basándonos en el relieve, etc

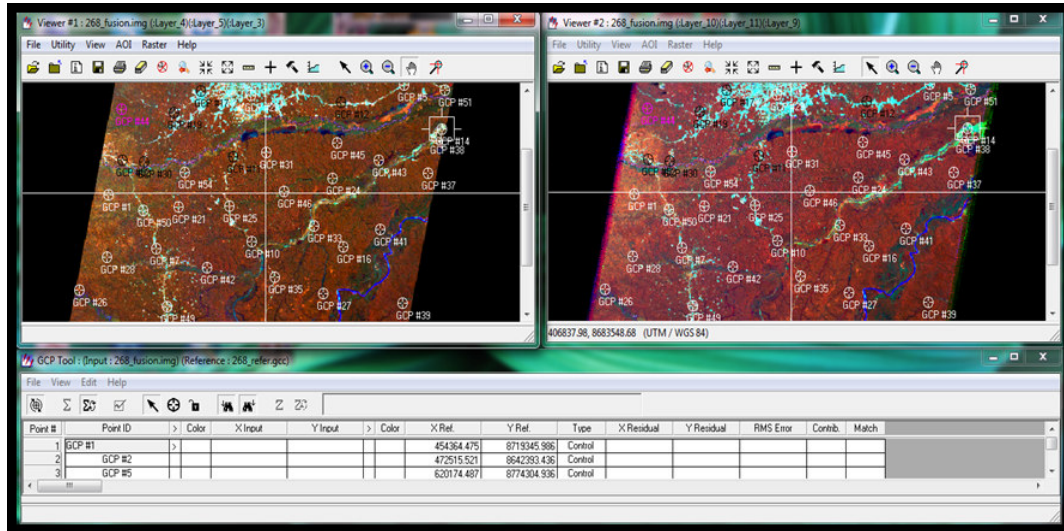


Figura 8: Georeferenciación imagen a imagen

Tabla 5: Errores de georeferenciación

| <i>Imagen</i> | <i>Error</i> | <i>N° Puntos</i> |
|--|--------------|------------------|
| 68/landsat_5_tm_20050817_003_068_stack.img | 1,992921 | 108 |
| 68/landsat_5_tm_20050709_002_068_stack.img | 1,474831 | 197 |
| 69/landsat_5_tm_20050911_002_069_stack.img | 1,904263 | 212 |

Imagen georeferenciada

En la Figura 9 se puede observar el resultado de la georeferenciación, el punto que se señala con el cursor es una carretera, en donde se puede apreciar que calzar correctamente.

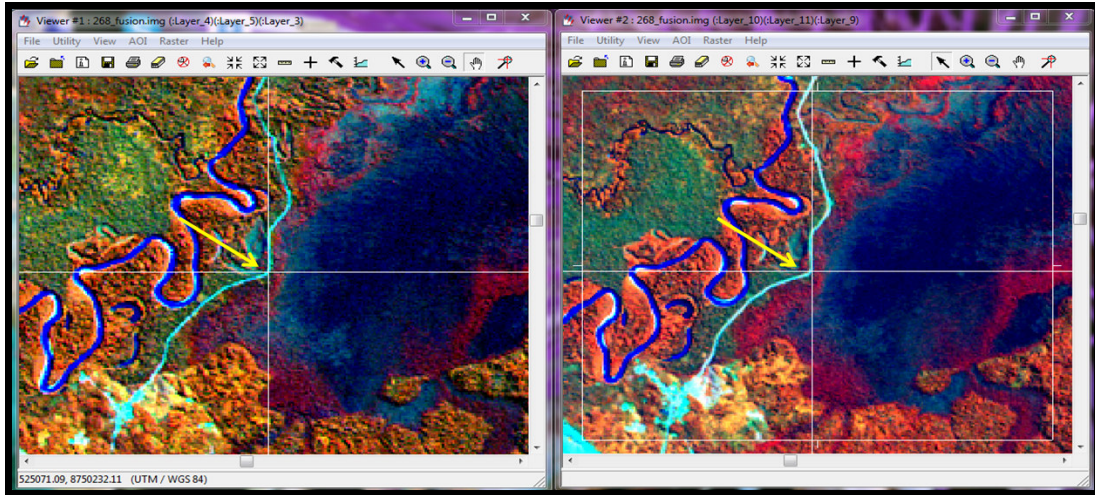


Figura 9: Resultado de imagen georeferenciada

- Unión imagen 2005 e imagen 2011

Se procedió a unir las imágenes ya georeferenciadas, cada una de estas imágenes de 6 bandas, se unieron con la herramienta layer Stack, mencionada anteriormente, pudiendo generar una sola imagen de 12 bandas como se puede apreciar en la Figura 10.

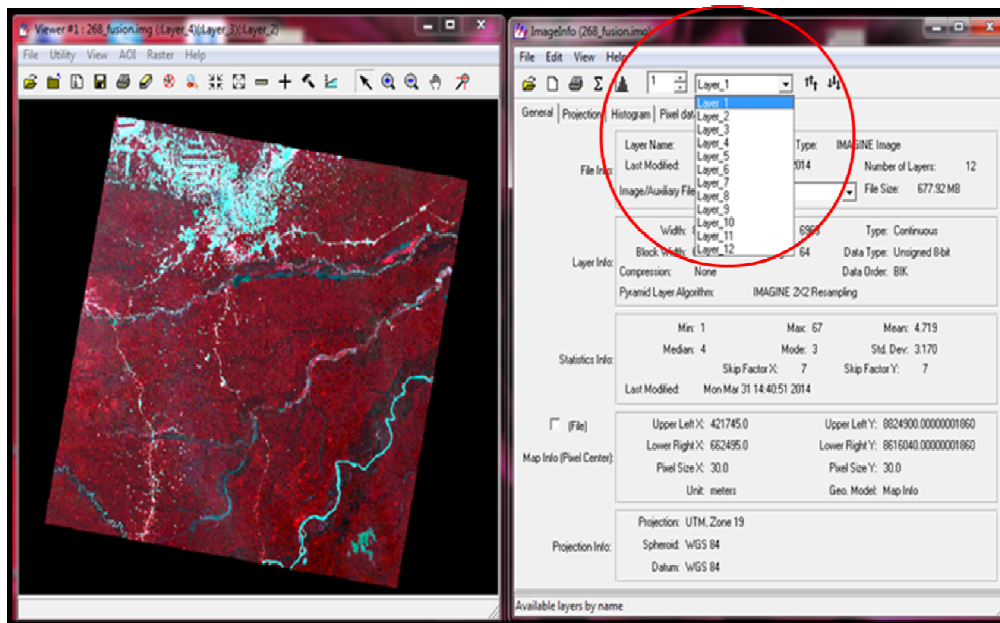


Figura 10: Resultado de la unión de dos imágenes con 6 bandas

- Elaboración de leyenda

Tabla 6: Leyenda de clasificación

| <i>ID</i> | <i>Clasificación</i> | <i>Descripción</i> |
|-----------|----------------------|---|
| 1 | Bosque | Bosque alto |
| 2 | No bosque | Bosque secundario, vías de acceso, pastos, agricultura y construcciones |
| 3 | Área sin información | Nubes, sombras y bordes |
| 4 | Río | Cursos de agua |

Posterior a ello se elabora la leyenda del cambio como se puede apreciar en la Tabla 7, en donde se puede apreciar un número de dos cifras, la primera cifra representa la clasificación del año 2005 y la segunda cifra la clasificación del año 2011.

Tabla 7: Leyenda de cambio de cobertura 2005- 2011

| <i>Periodo 2005 - 2011</i> | |
|---|----|
| Cambio | ID |
| Bosque - Bosque | 11 |
| Bosque - No Bosque | 12 |
| Bosque - Nube/Sombra/Área sin datos | 13 |
| Bosque – Río | 14 |
| No Bosque - No Bosque | 22 |
| No Bosque - Río | 24 |
| Nube/Sombra/ Área sin datos - Bosque | 31 |
| Nube/Sombra/ Área sin datos - No Bosque | 32 |
| Río - No Bosque | 42 |

- Elaboración de áreas de entrenamiento

Las áreas de entrenamiento son polígonos que se crean en función a la leyenda previamente establecida, se elaboraron los polígonos de las clases de cobertura teniendo como base las imágenes de satélite como se puede apreciar en la Figura 11, los polígonos se realizaron en zonas donde existía mayor respuesta espectral, con mayor amplitud y las áreas fueron pequeñas para que no existiera confusión en la iteración.

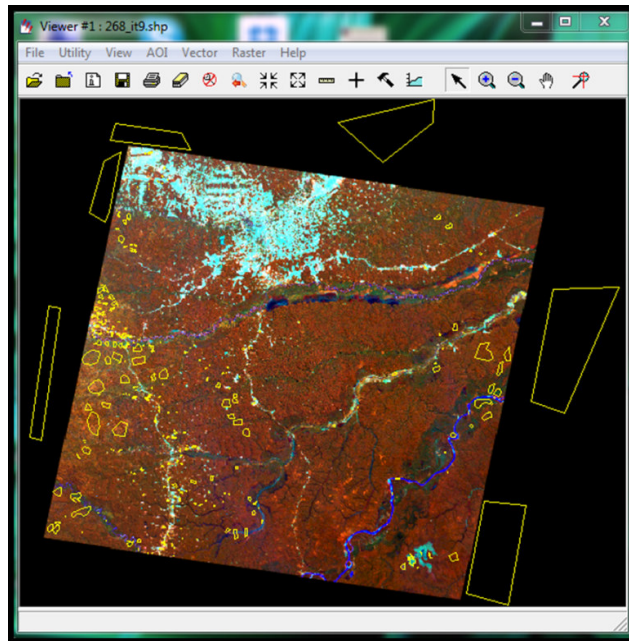


Figura 11: **Áreas de entrenamiento**

- Conversión a raster

El archivo de polígonos creado anteriormente en formato vector, se convirtió en raster, como se puede observar en la Figura 12, para que el NLCD de ERDAS pueda utilizarlo.

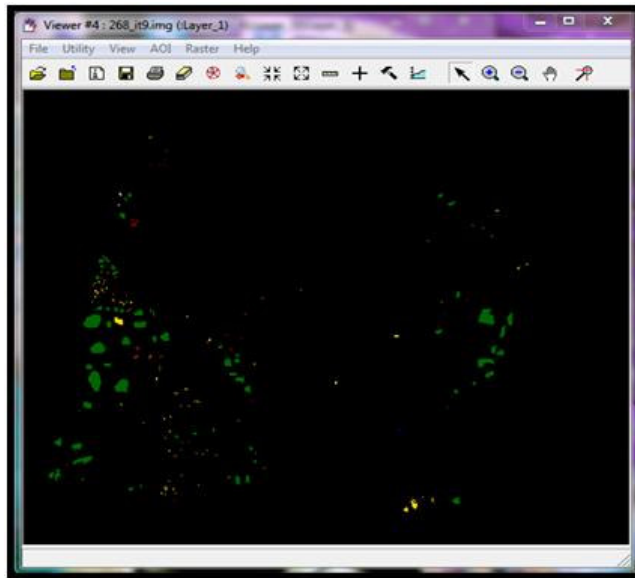


Figura 12: Conversión de archivo en formato vector a raster

- Uso de herramienta NLCD

El NLCD es una herramienta de ERDAS que lo que hace es crear 3 extensiones del archivo (*.names, *.data y *.test), como se puede apreciar en la Figura 13, para que pueda salir de ERDAS y ser leído por el clasificador See 5.

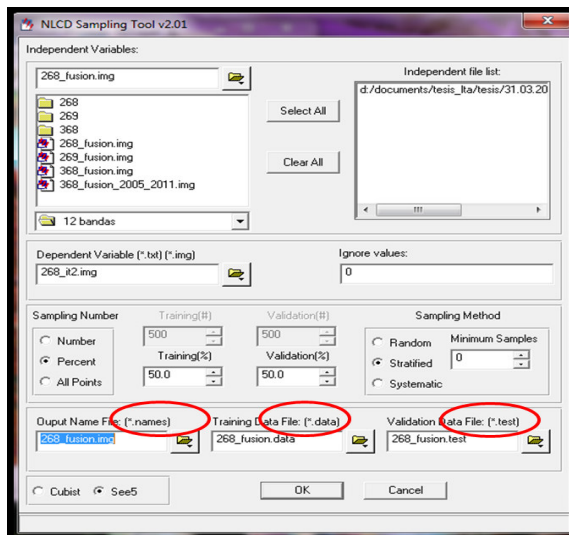


Figura 13: Creación de extensiones en NLCD

- Uso de See5 Classifier

El Clasificador See5 (Figura 14) generó es un árbol de decisiones, en donde se combinan las probabilidades estadísticas basadas en las clasificaciones establecidas en la leyenda. Se generó una extensión (*.tree) la cual nuevamente regresó a ERDAS y pudo ser leído por el NLCD nuevamente y finalmente esta herramienta generó la iteración en formato (*.img).

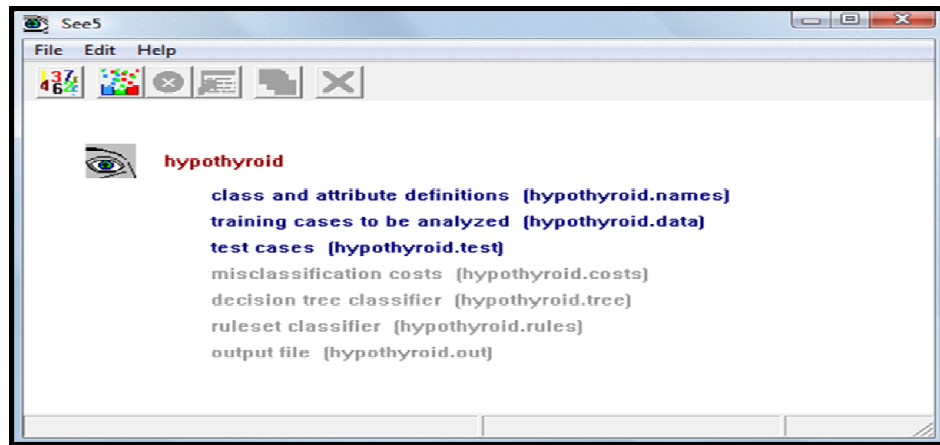


Figura 14: Clasificador See 5

- Resultado de iteración

A continuación en la Figura 15, se muestra el resultado de la iteración 9 en formato *.img, el cual fue generado por el clasificador de ERDAS

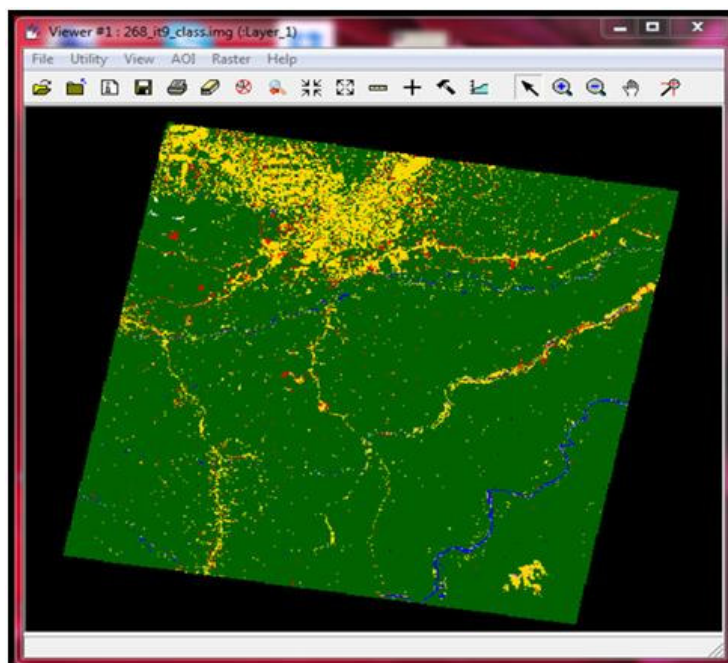


Figura 15: **Resultado de iteración 9 de la imagen 268**

- Evaluación y reclasificación

En el proceso de evaluación lo que hizo fue analizar las clasificaciones generadas, comparando las imágenes de los dos años de estudio, para ver si es cambio generado correspondía a lo que se veía en las imágenes. Posterior a ello en la reclasificación se procedió a revisar si los polígonos estaban causando alguna confusión por haber abarcado un área que no correspondía a la clasificación y poder modificar el polígono o también se procedió a generar más áreas de entrenamiento, las cuales se realizaban en zonas específicas para tener mayor presencia en algunas clasificaciones y éstas puedan estar nítidas y no se genere el efecto de sal y pimienta.

Estos procesos hacen que se evalúen y reclasifiquen constantemente los resultados de cada una de las iteraciones, generando una retroalimentación constante de los procesos.

En la Figura 16 se puede apreciar 3 ventanas, en las cuales el cursor muestra el mismo punto en cada una de las ventanas, la que se encuentra en la parte izquierda, representa la clasificación bosque, la del medio representa la clasificación no bosque y la de la derecha representa el cambio de bosque a no bosque de color rojo, este color rojo no está nítido, como se puede ver, tiene pequeños puntos que hacen un efecto de sal y pimienta, ese

proceso en el que se identifican los detalles se denomina evaluación, posterior a ello debido a que se detectó que existen pequeños puntos que realmente no deberían estar ahí dependiendo del intérprete, se decide si se hay que realizar más polígonos en una zona determinada o si es que se deben de modificar algunos de los polígonos ya realizados, este sería el proceso de reclasificación.

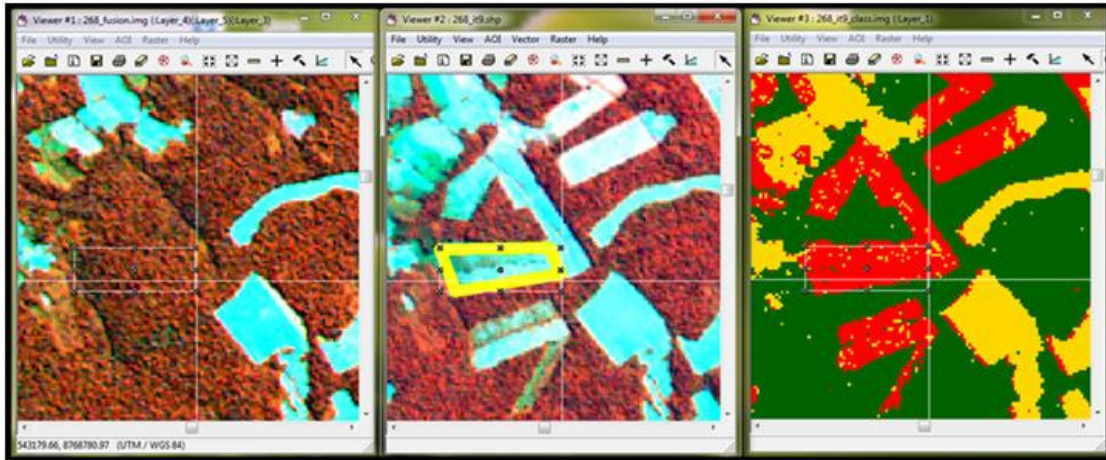


Imagen 268 año 2005

Imagen 268 año 2011

Cambio de cobertura 2005-2011

Figura 16: **Resultado de evaluación y reclasificación**

En la Figura 17 se puede apreciar el resultado de la primera iteración para la imagen 268, donde se puede ver que la iteración cuenta con varios errores, esto se puede deber al limitado número de polígonos, así como también a la confusión que se genera al no realizar polígonos que abarquen toda la amplitud de una clase.

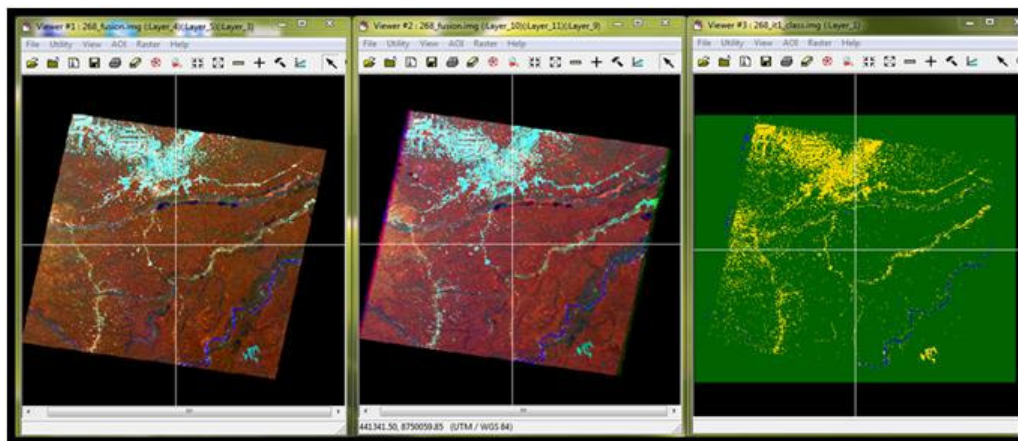


Figura 17: **Resultado de iteración 1 de la imagen 268**

En la Figura 18 se puede apreciar el resultado de la novena iteración para la imagen 268, esta iteración representa la penúltima iteración de la imagen, notándose una gran diferencia en comparación con la Figura 17, pudiéndose ver que los procesos de validación y reclasificación han sido de mucha ayuda, para este resultado

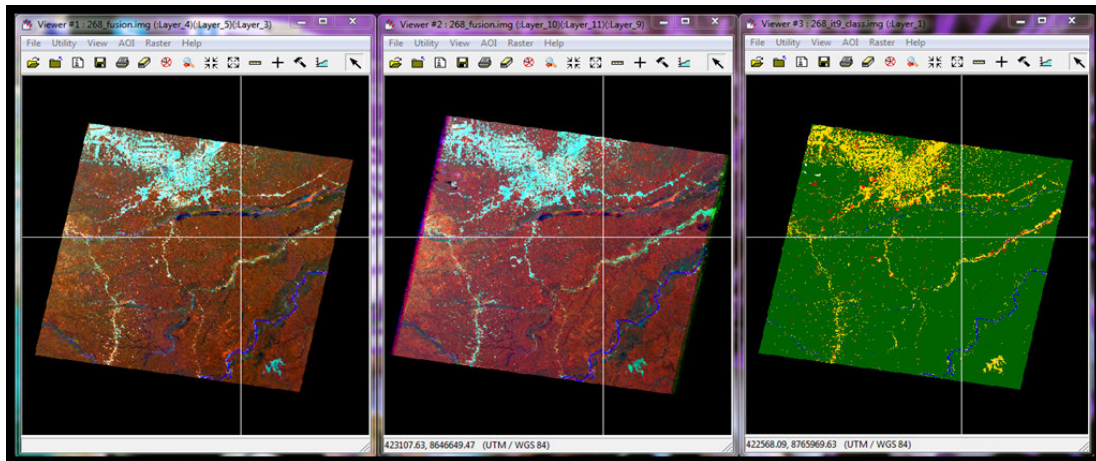


Figura 18: **Resultado de iteración 9 de la imagen 268**

La limpieza se realizó debido a que en cada iteración se generaron clases muy pequeñas, que dan el efecto de sal y pimienta. Éstas clases son insignificantes debido a que el área mínima de trabajo es de 2,5 ha. Lo que se procedió a hacer fue mediante la herramienta neighborhood analizar los píxeles en relación a los vecinos más cercanos, es decir las clases sueltas mínimas fueron absorbidas por las áreas de mayor tamaño más próximas, como se aprecia en la Figura 19.

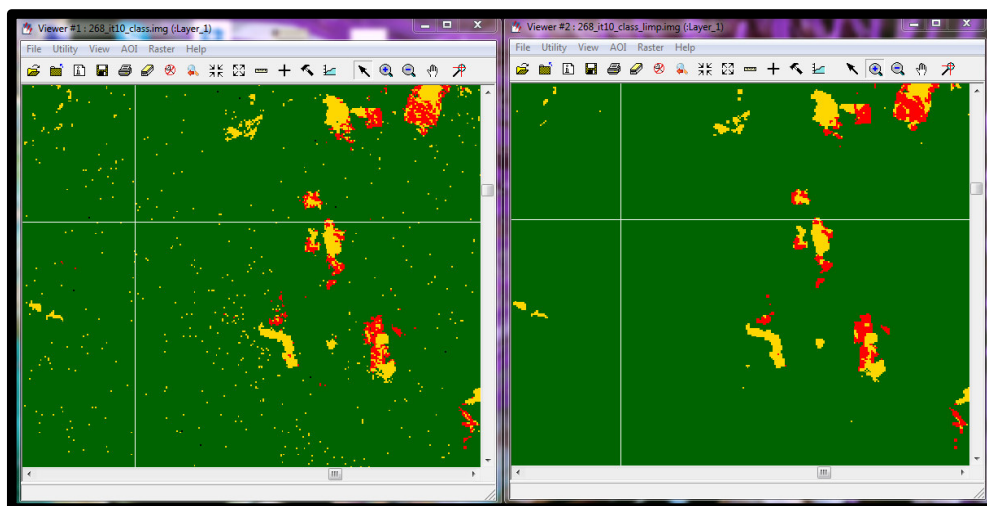


Figura 19: **Limpieza de pequeñas clases**

- Mosaico de resultados clasificación 2005 – 2011

La creación del mosaico de resultados 2005 – 2011 se realizó tomando en cuenta la información de cada una de las imágenes, dándole prioridad a las imágenes con menor cantidad de nubes, siendo ubicadas en la parte superior, seguida de las imágenes con menos información en la elaboración del empalme. En la Figura 20 se puede ver el orden de cada una de las imágenes utilizadas, luego en la Figura 21 se puede apreciar el mosaico creado.

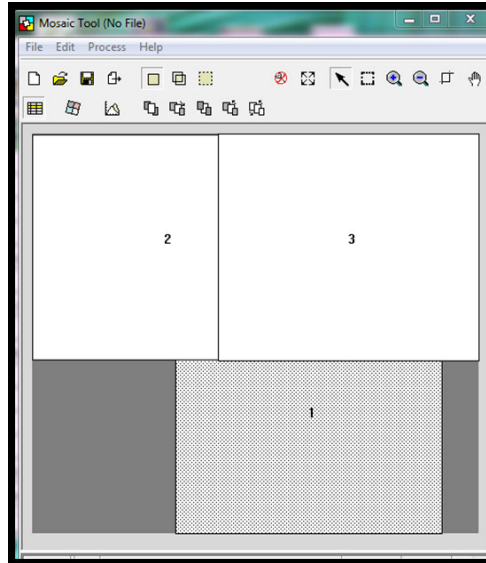


Figura 20: **Posición de imágenes**

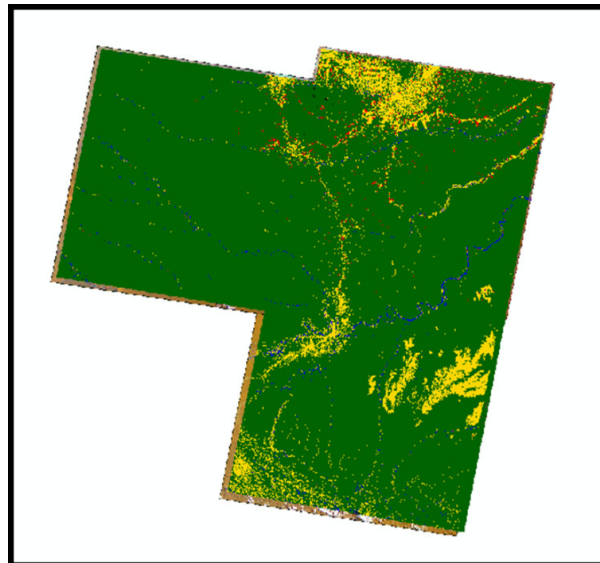


Figura 21: **Mosaico de resultados de cambio 2005-2011**

- Corte de mosaico

El corte del mosaico se realizó tomando como base el área de estudio, se tomó el vector del área para poder realizar el corte de la imagen (Figura 22), este corte se realizó con la herramienta subset de ERDAS.

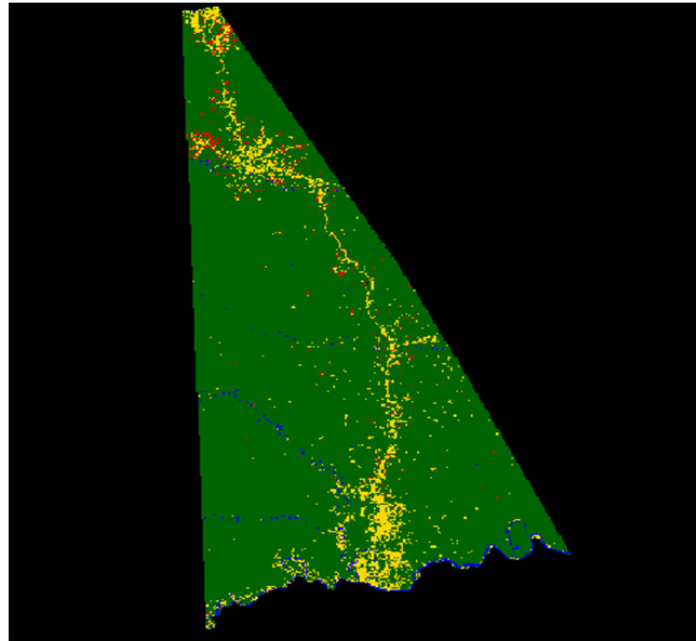


Figura 22: **Corte de mosaico**

- Conversión raster a vector

La conversión a vector se realizó, para poder trabajar con el área mínima establecida de 2,5 ha de cambio. La conversión de raster a vector como se aprecia en la Figura 23, se realizó en ARC GIS 9.3.1, en esta etapa se utilizó la herramienta conversion tool y se procedió a convertir el raster en polígonos.

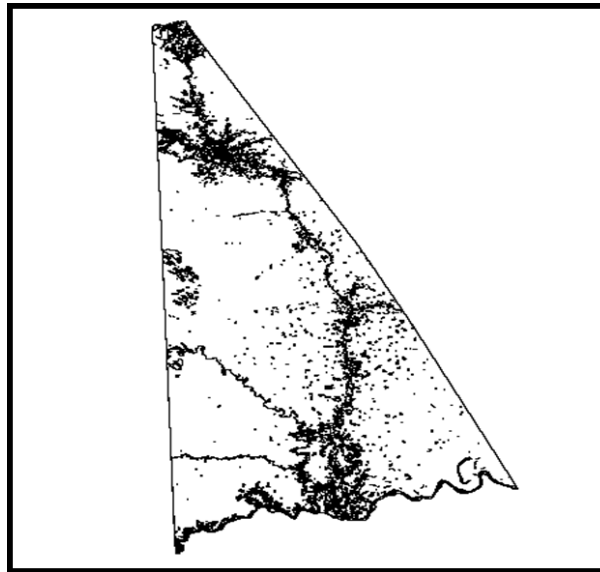


Figura 23: **Resultado de cambio de cobertura 2005-2011 en formato vector**

- Agrupamiento

El proceso de agrupamiento se realizó debido a que en el momento de convertir la imagen de raster a vector se generaron polígonos de menos de 2,5 ha y no debíamos trabajar con estas áreas menores.

Es por ello que se utilizó ARC GIS 9.3.1 y la herramienta eliminate, en donde se procedió a agrupar las clases menores a 2,5 ha, a las áreas más grandes y más cercanas, finalmente se obtuvieron áreas mayores o iguales a 2,5 ha.

- Interpretación visual

Mediante la interpretación visual se separó la clase de cambio “bosque – no bosque” (ID 12), esto como resultado de la clasificación realizada en los procesos anteriores, como se ve en la Figura 24, debido a que dentro de la clasificación bosque - no bosque solo existe cambio natural o cambio antrópico, siendo la parte natural representada por bosque secundario y lo restante sería el cambio antrópico. Posterior a ello se restó la superficie de bosque secundario al cambio de cobertura bosque – no bosque, quedando como resultado la deforestación, que es uno de los objetivos del trabajo.

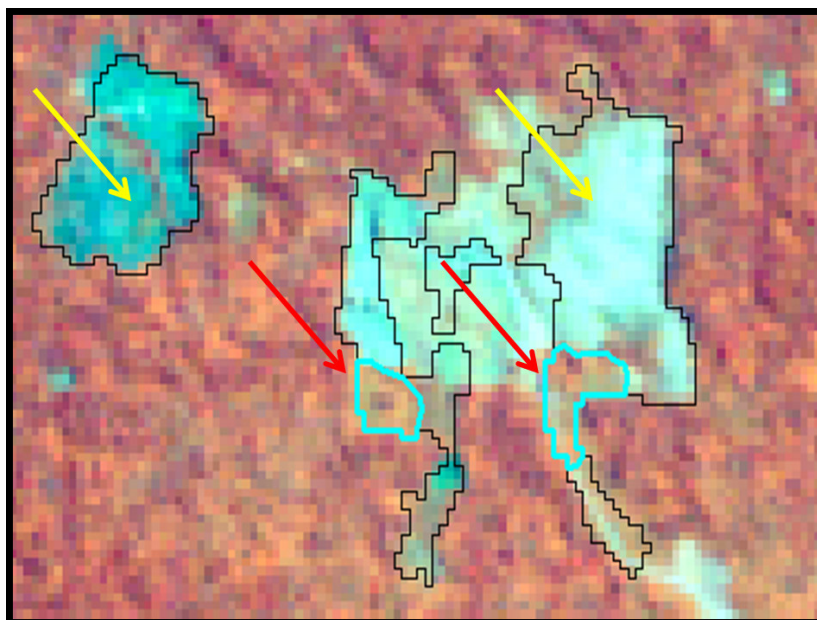


Figura 24: **Interpretación visual de bosque secundario**

Se puede apreciar que las flechas de color rojo, muestran los polígonos de bosque secundario, así como las flechas amarillas los polígonos de cambio de cobertura bosque no bosque.

- Cálculo de superficie de cambio

Tabla 8: Superficie de cambio

| <i>Resultados del cambio 2005 - 2011</i> | | |
|--|-----------|--------------|
| <i>Cambio</i> | <i>ID</i> | <i>ha</i> |
| Bosque – Bosque | 11 | 1 015 342,83 |
| Bosque - No Bosque | 12 | 6 502,50 |
| Bosque - Nube/Sombra/área s/d | 13 | 14,04 |
| Bosque – Rio | 14 | 8,19 |
| No Bosque - No Bosque | 22 | 61 603,83 |
| No Bosque – Rio | 24 | 31,14 |
| Nube/Sombra/ Área s/d - Bosque | 31 | 5 161,95 |
| Nube/Sombra/ Área s/d - No Bosque | 32 | 39,06 |
| Rio - No Bosque | 42 | 315,81 |
| Rio – Rio | 44 | 10 713,78 |
| Total | | 1 099 733,13 |

Tabla 9: Información base año 2005 y año 2011

| <i>Coberturas</i> | <i>2005</i> | <i>2011</i> |
|----------------------------|--------------|--------------|
| | <i>(ha)</i> | <i>(ha)</i> |
| Bosque | 1 021 867,56 | 1 020 504,78 |
| No Bosque | 61 634,97 | 68 461,20 |
| Nube/Sombra/Área sin datos | 5 201,01 | 14,04 |
| Rio | 11 029,59 | 10 753,11 |
| Total | 1 099 733,13 | 1 099 733,13 |

Se puede demostrar que si existe cambio de cobertura de bosque a no bosque en 6502.5 ha, así como que se perdió bosque del año 2005 al 2011 en 1362.78 ha, mientras que la cobertura no bosque se incrementó en 6826.23 ha, para el periodo 2005 – 2011. Tenemos una disminución de la cobertura rio, de 276.48 ha esto podría deberse al movimiento de los ríos. Es necesario tener en cuenta que 5161.95 ha se registran con la clase de no data a bosque, pudiendo ser en el 2005 bosque por el periodo de estudio.

Tabla 10: Superficie de cambio natural y cambio antrópico

| <i>No Bosque</i> | <i>ha</i> | <i>%</i> |
|--|-----------|----------|
| Bosque Secundario | 217,87 | 3,40% |
| Carreteras / Cultivos/ Pastos/Plantaciones | 6 284,63 | 96,60% |
| Total | 6 502,5 | 100% |

- Mapa de cambio de cobertura

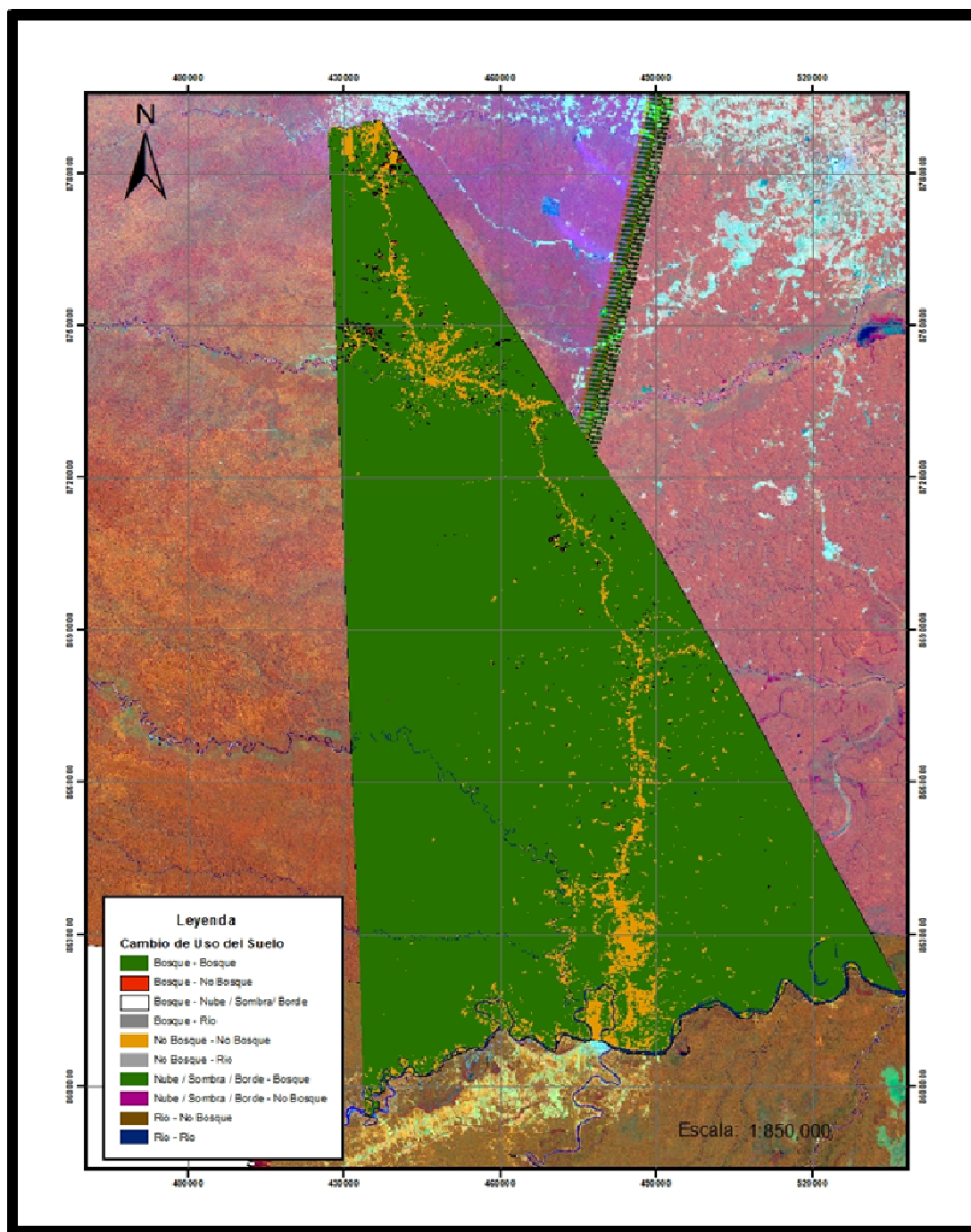


Figura 25: Mapa Final de cambio de cobertura 2005-2011

- Validación del mapa de cambio cobertura

Se utilizó Arc Gis 9.3.1 y el archivo de polígonos de cambio de cobertura, debido al gran número de polígonos (3263), se optó por seleccionar los polígonos mayores a 40 ha. Con el nuevo shape de polígonos con área mayor a 40 ha se elaboraron los centroides y los puntos se redujeron a 280, siendo estos al azar.

Para la comprobación de los puntos con el resultado obtenido, se procedió a realizar la conversión de los puntos, de formato .shp a formato .kml para que así pudiesen ser reconocidos por Google Earth.

Se abrió el archivo en formato kml en Google Earth y se procedió a comprobar cada uno de los puntos de manera visual, el resultado obtenido se puede apreciar en la Tabla 11.

Tabla 11: Validación de puntos con Google Earth

| <i>Cambio</i> | <i>ID</i> | <i>N° Puntos al Azar</i> | <i>N° puntos con Concordancia</i> | <i>%</i> |
|---------------------------------------|------------------|---------------------------------|--|---------------------|
| Bosque - Bosque | 11 | 48 | 45 | 93.75 |
| Bosque - No Bosque | 12 | 30 | 28 | 93.33 |
| No Bosque - No Bosque | 22 | 158 | 155 | 98.10 |
| Rio - Rio | 44 | 20 | 19 | 95.00 |
| <i>% de Coincidencia Total</i> | | <i>256</i> | <i>247</i> | <i>95.05</i> |

Con la validación se obtuvo que el 95.05% de los 256 puntos comprobados con Google Earth coinciden con el resultado obtenido.

No se consideró el cambio (ID 31), debido a que en el momento de toma de estas imágenes, algunas partes del área en estudio estaban cubiertas por nubes, sombras, etc. y se consideraron como zonas sin información, impidiendo comparar las mismas zonas debido a la falta de información en uno de los años de estudio.

V. CONCLUSIONES

- 1) La metodología utilizada ha permitido clasificar en forma directa los cambios en el área de estudio así como determinar su superficie.
- 2) La interpretación visual y la experiencia del intérprete es importante en la aplicación de esta metodología para una buena selección de áreas de entrenamiento.
- 3) Los árboles de decisión y las imágenes de satélite son herramientas versátiles y convenientes para el estudio de la Amazonía.
- 4) La evaluación y reclasificación de las iteraciones, genera una retroalimentación constante de cada uno de los procesos.
- 5) Se ha determinado la superficie de cambio debido a la deforestación, lo que indica el impacto que ha tenido la carretera sobre el área de estudio.
- 6) Las imágenes de resolución media como Landsat son adecuadas para el análisis multitemporal de cobertura.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar mayor cantidad de estudios utilizando imágenes de satélite actuales.
- La georeferenciación debe de ser considerada una parte fundamental y básica para la realización de los estudios, debido a ser un proceso muy importante para un análisis adecuado.
- El intérprete debe de tener conocimiento del área de estudio y de las imágenes para poder determinar áreas de entrenamiento según las clases deseadas, es recomendable que se una persona con estudios en Ciencias Forestales.
- Realizar estudios con imágenes de mayor resolución espacial, espectral y radiométrica, para lograr el análisis de cambio con mayor exactitud.
- Probar y analizar la herramienta de see5 que trabaja con árbol de decisión, así como conocer a mayor profundidad la herramienta NLCD.
- Se recomienda realizar una validación del mapa, mediante algún índice estadístico.
- En base al resultado de cambio de cobertura se pueden generar mapas independientes por período, como se realizó para el año 2005 y 2011 del estudio, dando un resultado que pueda compararse entre las diferentes clases determinadas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

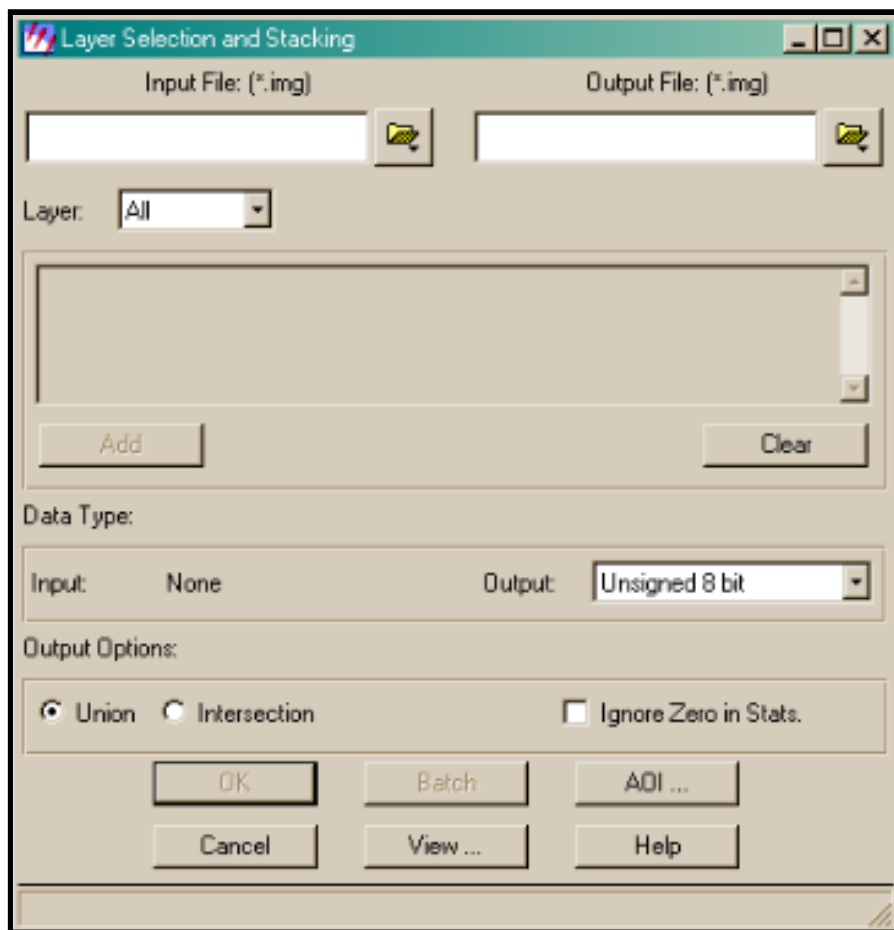
- Arnillas, C.A; Barrena, V; Llactayo, W; Ortíz, H; Regal, F; Rubín de Celis, E; Vásquez, P; Drenkhan, F; Llerena, C.E; Espino, P; García, V; Gonzáles-Zúñiga, S; Gushiken, E; López, D. y Vásquez, R. 2012. Informe Final del Proyecto: Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la Tierra en la Comunidad Andina. Componente Nacional Perú – Primera Etapa. Centro de Datos para la Conservación (CDC-UNALM). Laboratorio de Teledetección (LTAUNALM). Dirección General de Ordenamiento Territorial - Ministerio del Ambiente (DGOT - MINAM). Fundación para el Desarrollo Agrario (FDA). Lima - Perú. 56p
- CDC-UNALM, SZF, INRENA. 2007. Monitoreo de uso de suelo entre Puerto Maldonado e Iñapari, correspondiente al tramo 3 de la carretera Interoceánica para los años 1990, 2000 y 2005. Lima, 45p.
- Chuvieco, E. 2006, Teledetección Ambiental. La observación de la tierra desde el espacio. 2 Ed. Barcelona-España. Ariel, S.A. 586 p.
- Curso Internacional de Perfeccionamiento. 1998. Zschortau, Alemania. 1998. Aplicación de la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica en la Gestión de Bosques y en la Conservación de los Recursos Naturales. 200 p.
- Dourojeanni, P. 2006. Estudio de caso sobre la Carretera Interoceánica en la Amazonia Sur del Perú. 85p.
- Erni, CH; Tugendhat, H. 2010. ¿Qué es REDD? Una guía para comunidades indígenas. (en línea). Lima-Perú. Consultado el 06 de May.2013. Disponible en: <http://servindi.org/pdf/REDD-1.pdf>
- Escobedo, L; Borasino, E. 2009. Conflictos por uso de la tierra en Madre de Dios: Análisis Institucional y espacial en el marco de la carretera Interoceánica. Sepia XIII. 32p.
- Farías, G; Dimundo, C. 2003. Clasificación No supervisada con Imágenes NDVI. (en línea). Argentina. Consultado 17 de Abr.2012. Disponible en: <http://www.ciomta.com.ar/downloads/clasificacionnosup.pdf>.

- Fernández-Coppel, I. 2001. El Satelite Landsat. Analisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ satélite Landsat. (en línea). Valladolid-España. Consultado 25 de Sep.2012. Disponible en: <http://web.usal.es/~manuel.quiros/landsat-analisis-visual.pdf>
- Fleck, L., Vera Diaz, M., Borasino, E., Glave, M., Hak, Jon., Josse, C., 2010. Estrategias de conservación a lo largo de la carretera Interoceánica en madre de Dios, Peru, Lima: Conservación Estratégica. Serie Técnica 20.
- García-Consuegra, J. 1997. Problemática en la clasificación de Imágenes de Satélite Landsat. 319-330 p.
- Hé Hernández, P. 2002. Análisis espacio-temporal de la desertificación, usando sensores NOAA-AVHRR y Landsat-TM. (en línea). Tenerife-España. Consultado 25 de Sep.2012. Disponible en: <ftp://tesis.bbt.ull.es/ccppytec/cp146.pdf>
- Hewson, J. ; Ortiz, H. ; Steininger, M. ; Rubin de Celis, E. ; Barrena, V. 2010. Generation of a Multi-temporal Forest Cover and Change Product for San Martin, Peru.
- Hewson, J; Ortiz, H; Steininger, M; Rubín de Celis, E; Barrena, V. 2014. Metodología para analizar cambios de cobertura forestal en imágenes de satélite multitemporales. Caso: Región San Martín, Perú. . CI-LTA FCF UNALM. XVI Simposio Internacional SELPER 2014. Medellín Colombia.
- Joseph, G. 2005. Fundamentals of remote Sensing. 2 Ed. Hyderabad-India. Orient Longman privated Limited. 490 p.
- León, Y. 2002. Material de apoyo al curso: Introducción a las imágenes satelitales. Programa de Modernización de la Jurisdicción de Tierras Tribunal Superior de Tierras. (en línea). Santo Domingo, República Dominicana. Consultado 07 de Abr.2012. Disponible en: <http://www.intec.edu.do/premota/Material%20de%20apoyo%20sensores%20remotos.pdf>
- Lipper, L. 2000. Degradación forestal y seguridad alimentaria. Unasyuva (FAO) Vol. 51. 24-31.
- Martin, M. 2008. Deforestación cambio de uso de la tierra y REDD. Unasyuva 230, Vol. 59. 3-11.

- Martínez, J. 2005. Percepción remota. Fundamentos de la Teledetección espacial.(en línea). México. Consultado 17 de Abr.2012. Disponible en: <http://siga.cna.gob.mx/SIGA/Percepcion/Fundamentos%20de%20teledetecci%C3%B3n%20espacial.PDF>
- Oliveira P.J. C., Asner G. P., Knapp D. E., Almeyda a., Galvan – Gildemeister R., Keene S., Raybin R. F. y Smith R. C. 2007. Land use allocation protects the Peruvian Amazon. *Science* 317: 1233-36.
- Pérez, D. 2007. Introducción a los sensores remotos con aplicación en Geología. (en línea). Buenos Aires-Argentina. Consultado 16 de Abr. 2012. Disponible en: http://aviris.gl.fcen.uba.ar/Curso_SR/Guia_Curso_sr_2007.pdf
- Pérez, U. 2005. La percepción remota. (en línea). Ibagué-Tolima-Colombia. Consultado 17 de Abr.2012. Disponible en: http://desarrollo.ut.edu.co/tolima/hermesoft/portal/home_1/rec/arc_5995.pdf
- Rubín de Celis, E; Barrena, V. 2003. Utilización de imágenes de satélite en el estudio del cambio del área antrópica en la Reserva Nacional Pacaya-Samiria. *Análes científicos* 54: 189-201.
- Sacristán, F. 2006. La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. (en línea). *Revista Aquatic* N°24-2006. Madrid-España. Consultado 25 de Sep.2012. Disponible en: http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/24_02.pdf
- Soria, J; Granados, R. 2005. Relación entre los índices de vegetación obtenidos de los sensores AVHRR del satélite NOAA Y TM del Landsat. (en línea). *Revista Ciencia Ergo sum*, vol 12, N°002, pág. 167-172. Toluca-México. Consultado 25 de Sep.2012. Disponible en: <http://www.redalyc.org/redalyc/pdf/104/10412209.pdf>
- Zapata, B; Anaya, J. 2011. Los sensores remotos en los proyectos de mitigación de gases de efecto invernadero. (en línea). *Revista Entorno geográfico* N°7-8, pág. 63-83. Colombia. Consultado 06 de May.2013. Disponible en: http://geografia.univalle.edu.co/revista/numeros7y8_files/4_LOS_SENSORES_REMOTOS_EN_LOS_PROYECTOS.pdf

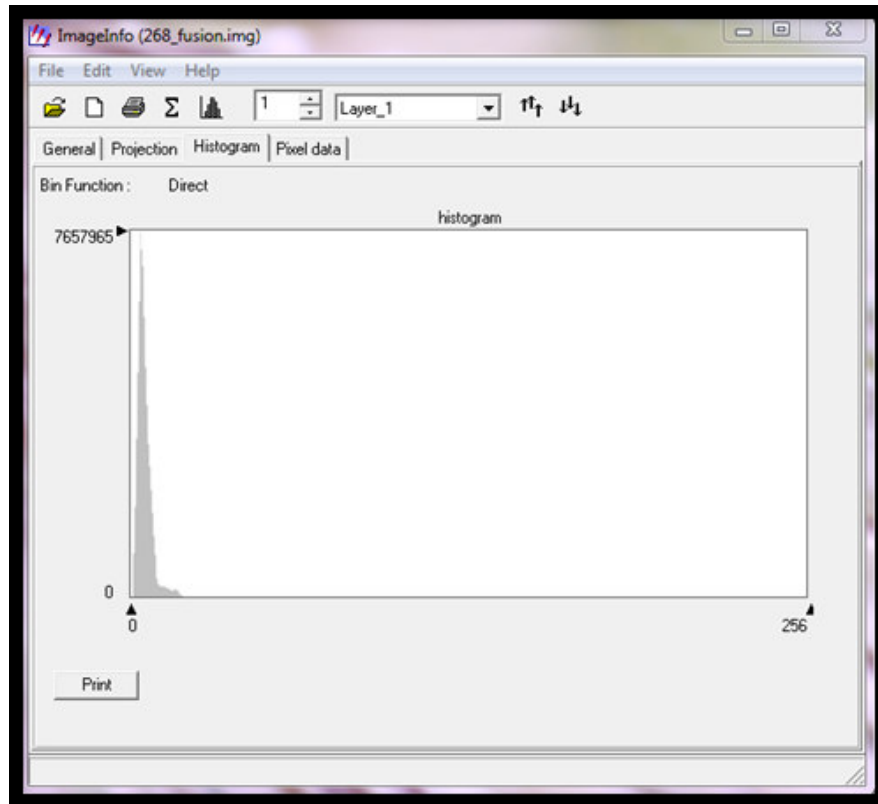
VIII. ANEXOS

ANEXO 1 UNIÓN DE BANDAS CON LAYER STACK



Se procedieron a unir las bandas descargadas del INPE con la opción Layer Stack, en donde se pudieron crear las imágenes con 06 bandas.

ANEXO 2 CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA (VALORES MÍNIMOS)



Se procedió a eliminar los valores mínimos de cada una de las bandas, para poder aumentar la visibilidad de la imagen.

