



UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente



TÍTULO

**DETERMINACIÓN DE ÁREAS DEFORESTADAS POR ACTIVIDADES
HUMANAS EN LA ZONA DE AMORTIGUAMIENTO DE LA RESERVA
NACIONAL TAMBOPATA Y EL PARQUE NACIONAL BAHUAJA SONENE –
MADRE DE DIOS**

Tesis Para Optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente

PRESENTADO POR:

Bach. Jhon Ronald Mendoza Robles

Asesor:

Ing. M.Sc. Gabriel Alarcón Aguirre

MADRE DE DIOS-PERÚ

2012

DEDICATORIA

*De forma muy especial a **DIOS** por ser mi guía, esperanza, salvación y fortaleza principal de mi vida.*

*Con mucho amor para mi querida madre, **JULIA ROBLES VILLAGARAY**, por brindarme su cariño, ayuda, comprensión y paciencia, consejos, y por enseñarme los principios y valores humanos que uno necesita para seguir adelante.*

*A mi padre, **VICTOR MENDOZA HOLGADO**, por brindarme su apoyo y afecto en mi vida estudiantil y universitaria.*

*A mis hermanas, **BERTHA** y **SIRIA**, por su gran afecto y apoyo incondicional.*

*A mi abuelita **CLEOFÉ**, que en paz descanse, por su simpatía y cariño hasta el día de su partida.*



AGRADECIMIENTOS

A mi Padre y Madre, por apoyarme en la ejecución de la investigación en el predio agrícola y haberme brindado todas las facilidades para realizar los trabajos de campo.

A mi asesor, Ing. M.Sc. Gabriel Alarcón Aguirre, por su orientación, apoyo y amistad durante la elaboración y ejecución del proyecto de tesis. Asimismo a los miembros del Jurado calificador, Ph. D. Percy A. Zevallos Póllito, Ing. Mishari García Roca, Ing. Saúl Manrique León.

A la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, por facilitarme el acceso al Centro de SIG y Teledetección para hacer uso y manejo de los equipos para el análisis de las imágenes satelitales.

A los Docentes de la Carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, por haber compartido sus conocimientos y experiencias durante mi formación personal y profesional a quienes estaré muy agradecido.

A, Flor de Liz Sotomayor Gamboa, quien me apoyó durante el trabajo de campo en el presente trabajo de investigación. Y a la Asociación para la Investigación y el Desarrollo Integral – AIDER, por darme las facilidades en el tiempo y acceso de la información recaudada en su ámbito de trabajo.

A Samuel Berrocal Nieto y Pablo Concha Sequeiros, por facilitar el contacto con el SERNANP – Parque Nacional Bahuaja Sonene – PNBS (Puesto de Control y Vigilancia Mazuko).

Al Ing. Geog. Germán Vegas, por haberme adiestrado en el software ENVI®.

A los guardaparques del Puesto de Control y Vigilancia Mazuko del PNBS, Fredy Mamani Mamani y Yhoni Pablo Cañasaka Sacaka por facilitarme la información actualizada de sus patrullajes en lo que respecta al tema minero.

INDICE

RESUMEN	1
SUMMARY	2
INTRODUCCION	3
OBJETIVOS	5
Objetivo General	5
Objetivos Específicos	5
FORMULACION DE LA HIPOTESIS	5
VARIABLES	5
Variable Dependiente	5
Variable Independiente	6
CAPITULO I	7
MARCO TEORICO	7
1.1. Antecedentes	7
1.2. Revisión de Literatura	9
1.2.1. El Espectro Electromagnético	10
1.2.2. Fundamentos Físicos de la Teledetección	12
1.2.3. Principios Generales de la Teledetección	15
1.2.4. El Programa LANDSAT	22
1.2.4.1. Sensores	25
1.2.4.1.1. Sensor MSS	25
1.2.4.1.2. Sistema Vidicon	25
1.2.4.1.3. Sensor Thematic Mapper (TM) y el ETM+	26
1.2.4.2. Análisis Visual de Imágenes RGB para imágenes Landsat	27
1.3. Tratamiento digital de imágenes satelitales	30
1.3.1. Corrección Geométrica	30
1.3.2. Calibración Radiométrica	30
1.3.3. Calibración Absoluta	31

1.3.4. Calibración Relativa	31
1.3.5. Clasificación Digital	32
1.3.5.1. Fase de entrenamiento	32
1.3.5.2. Fase de asignación. Clasificador Angular. (Spectral Angle Mapper SAM)	32
1.3.6. Evaluación de Precisión	33
1.3.6.1. Matriz de confusión	33
1.3.6.2. Índice de Kappa	33
1.3.7. Mapa de Pendiente	33
1.3.8. Mapa de Sensibilidad Ambiental	34
1.3.9. Mapa de Áreas Críticas	34
CAPITULO II	35
MATERIALES Y METODOS	35
2.1. Descripción del Área de Estudio	35
2.1.2. Ubicación Política	35
2.1.3. Ubicación Geográfica	35
2.1.4. Superficie del Área de Estudio a Nivel Regional	37
2.1.5. Clima	37
2.1.6. Hidrografía	38
2.1.7. Suelos	38
2.1.8. Zonas de Vida	38
2.1.9. Tipos de Bosque	38
2.1.10. Tipos de Uso del Área de Estudio	40
2.2. Materiales	40
2.3. Métodos	41
2.3.1. Pre Procesamiento de las Imágenes	44
2.3.1.1. Adquisición de las Imágenes	44
2.3.1.2. Unión de Bandas	44
2.3.1.3. Corrección Geométrica	45

2.3.1.3.1. Rectificación Imagen a Imagen	45
2.3.1.4. Corrección Atmosférica	46
2.3.1.5. Calibración (Reflectancia)	50
2.3.1.6. Mosaico	52
2.3.1.7. Recorte de la imagen (ROI)	52
2.3.1.8. Exportación de las bandas 3, 4 y 7	53
2.3.1.9. Colecta de firmas espectrales	53
2.3.1.9. Colecta de firmas espectrales	53
2.3.1.9.1. Minería	53
2.3.1.9.2. Tumba	53
2.3.1.9.3. Pastizales	53
2.3.1.9.4. Pastizales Remontados	54
2.3.1.10. Generación de Mascara Binaria	54
2.3.1.11. Clasificación multiespectral supervisada en función de las firmas espectrales	54
2.3.1.12. Postclasificación	56
2.3.1.13. Transformación del resultado a formato vectorial	56
2.3.1.14. Verificación in SITU	57
2.3.1.15. Mapa de Actividades Humanas	58
1.4. Diseño de la Investigación	58
1.5. Diseño de muestreo	58
1.6. Colección de datos en campo	58
1.7. Evaluación de precisión	58
1.7.1. Matriz de confusión	58
1.7.2. Índice de Kappa (k)	59
1.8. Mapas de pendiente	60
1.9. Mapas de sensibilidad ambiental	60
1.10. Mapa de áreas críticas	61
CAPITULO III	63

RESULTADOS Y DISCUSIONES	63
3.1. Corrección Geométrica	63
3.2. Corrección Atmosférica	63
3.3. Calibración (Reflectancia)	63
3.4. Delimitación del área de estudio	70
3.5. Generación de la máscara binaria	70
3.6. Definición de las categorías de uso del suelo y de las firmas espectrales	71
3.7. Selección de áreas de entrenamiento	71
3.8. Clasificación Multiespectral Supervisada: determinación de la deforestación	72
3.9. Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata	73
3.10. Zona de Amortiguamiento del Parque Nacional Bahuaja Sonene – Madre de Dios	74
3.11. Evaluación de precisión	76
3.11.1. Matriz de Confusión	76
3.11.2. Índice de Kappa	77
3.12. Mapa Temático de Pendiente	80
3.13. Mapa de uso actual del territorio	82
3.14. Mapa de Sensibilidad Ambiental	82
3.15. Mapa de áreas críticas	82
CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES	89
BIBLIOGRAFIA	91
ANEXOS	100

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resultados de análisis de deforestación utilizando métodos comparativos a CLASlite®, SPRING®, ENVI®, y Erdas Imagine®	7
Cuadro 2. Características de los Satélites Landsat	24
Cuadro 3. Combinaciones en falso color RGB	29
Cuadro 4. Ubicación política	35
Cuadro 5. Área de estudio	37
Cuadro 6. Materiales utilizados en la investigación	40
Cuadro 7. Características de las imágenes utilizadas	44
Cuadro 8. Valores de los DN	48
Cuadro 9. Valores de los DN	50
Cuadro 10. Encabezado de la imagen Landsat_5_TM_20110827_002_069	51
Cuadro 11. Encabezado de la imagen Landsat_5_TM_20110903_003_069	51
Cuadro 12. Coeficiente de calibración para Landsat 5, en unidades (W / m ² sr μ m)	52
Cuadro 13. Valoración del coeficiente kappa	59
Cuadro 14. Parámetros de Georreferenciación de las escenas 002-069 y 003-069	63
Cuadro 15. Distribución de muestra por clase	71
Cuadro 16. Cantidad de hectáreas deforestadas por actividades humanas	72
Cuadro 17. Cantidad de hectáreas deforestadas por actividades humanas en la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata	73
Cuadro 18. Cantidad de ha deforestadas por actividades humanas en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Bahuaja Sonene, Madre de Dios, Perú	75
Cuadro 19. Matriz de Confusión para el año de estudio	76
Cuadro 20. Precisión de los resultados para el año de estudio	77

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espectro Electromagnético	12
Figura 2. Onda de Radiación Electromagnética	13
Figura 3. Comportamiento de la Radiación Electromagnética en la Tierra	14
Figura 4. El Concepto de sensor remoto	18
Figura 5. El Satélite Landsat	20
Figura 6. Combinación de Colores RGB	28
Figura 7. Ubicación del área de estudio (zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata y Parque Nacional Bahuaja Sonene) Madre de Dios – Perú	36
Figura 8. Tipos de Bosque. Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja Sonene, Madre de Dios, Perú	39
Figura 9. Flujograma del proceso de análisis de las imágenes	41
Figura 10. Distribución por escenas del sensor Landsat TM 5 en el Perú y en el área de estudio	43
Figura 11: Izquierda, Imagen Georreferenciada; Derecha, Imagen no Georreferenciada	45
Figura 12. Valores de los DN de cada banda de la imagen Landsat_5_TM_20110827_002_069	48
Figura 13. Valores de los DN de cada Banda de la escena Landsat_5_TM_20110903_003_069	49
Figura 14. Esquema del Clasificador Angular (SAM)	56
Figura 15. Modelo del Mapa de Sensibilidad Ambiental	61
Figura 16. Modelo del Mapa de Áreas Críticas	62
Figura 17. Minería	64
Figura 18. Pastizales	65
Figura 19. Tumba	66
Figura 20. Pastizales Remontados	67
Figura 21. Imagen del Satélite Landsat TM 5 2011, en la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata y del Parque Nacional Bahuaja Sonene - Madre de Dios - Perú. R(7) G(4) B(3)	69
Figura 22. Máscara del área de estudio	71
Figura 23. Distribución de los puntos de muestreo	72

Figura 24. Superficie de la deforestación 2011	75
Figura 25. Deforestación por actividades Humanas en la Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja Sonene, Madre de Dios, Perú	79
Figura 26. Pendiente en la Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja Sonene, Madre de Dios, Perú	81
Figura 27. Modelo de Mapa de Áreas Críticas	82
Figura 28. Modelo de Mapa de Áreas Críticas	83
Figura 29. Áreas Críticas de la Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja Sonene, Madre de Dios, Perú	84
Figura 30. Uso actual del territorio de la Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja Sonene, Madre de Dios, Perú	85

RESUMEN

El ámbito de estudio comprende las Zonas de Amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja Sonene en el departamento de Madre de Dios entre los $13^{\circ} 7' 0.1376''$ y $12^{\circ} 30' 8.978''$ de latitud Sur y entre los $70^{\circ} 21' 19.3834''$ y $68^{\circ} 39' 13.2985''$ de longitud Oeste. Siendo el objeto de estudio, identificar y cuantificar áreas deforestadas por tipo de actividad humana aplicando la Teledetección.

Se trabajaron con las imágenes del sensor Landsat con las escenas 002-069 con fecha 28/08/2011 y la escena 003-069 con fecha 03/09/2011 obtenidos gratuitamente del Instituto Nacional de Pesquisas del Estado de Brasil - INPE. Posteriormente a las imágenes se les aplicaron una corrección geométrica, radiométrica, y se convirtieron de número digitales a reflectancia.

Las clases definidas a clasificar fueron Minería, Pastizales, Pastizales Remontados y Tumba, para ello, se colectaron firmas espectrales. Para la clasificación se utilizó el algoritmo del clasificador angular *Spectral Angle Mapper* - SAM, por tener ventaja en las condiciones de iluminación. Los resultados reportaron: para Minería 7,178.50 ha, Pastizales 4,631.49 ha, Pastizales Remontados 9,113.22 ha y Tumba 1,443.15 ha respectivamente.

De ello, se asume que la acción antrópica generada por la actividad minera es la que viene causando mayores impactos severos a la cobertura boscosa e impactos sociales, debido a que en los últimos años, la extracción aurífera, se ha convertido en una fiebre por la sobrevalorización de la onza de este metal y por los impactos directos e indirectos de la construcción de la carretera interoceánica.

Así mismo con la finalidad de contribuir a la gestión de los recursos naturales y medio ambiente, se elaboró un mapa de áreas críticas de acción antrópica, donde se tiene 3 zonas (I, II y III); siendo la zona I la más intervenida por la actividad minera, debido al grado de deterioro ambiental.

SUMMARY

The focus area of this study is the “buffer zone” of the Tambopata National Reserve and the Bahuaja Sonene National Park within the department of Madre de Dios, located on the southern latitude $13^{\circ} 7' 0.1376''$ and $12^{\circ} 30' 8.978''$ and between $70^{\circ} 21' 19.3834''$ and $68^{\circ} 39' 13.2985''$ longitudinal west. The main objective of this study is the identification and quantification of deforested areas by anthropogenic activities through the use of remote sensing (Teledetection).

Images generated using Landsat sensing were obtained from the Brazilian National Research Institute - INPE, and in particular scene 002-069 dating the 28/08/2011 and scene 003-069 dating 03/09/2011 were used. Geometric corrections were applied, radiance calculated using radiometric, which allowed raw digital numbers (DN) to be converted into reflectance.

The main features for classification were mining, pastures, soared pastures, and logged areas for which spectral signatures were collected. For the classification of these an algorithm of the *Spectral Angle Mapper* - SAM was used, due to the advantages it has in terms of its insensitivity to illumination. The results are the following: for mining 7,178.50 ha, pastures 4,631.49 ha, soared pasture 9,113.22 ha and logged areas 1,443.15 ha respectively.

From these results, it becomes clear that mining activities are generating the most severe anthropogenic impacts on forest cover. In addition there are social impacts as a result of the gold rush which has been occurring over the years due to high market prices for the mineral, and additionally from the direct and indirect impacts of the construction of the Southern Inter-Oceanic Highway.

As such, with the overall purpose and aim of contributing to the sustainable management of natural resources and the environment, a geographic map was elaborated highlighting critical areas of anthropogenic activities. Three zones (I, II & III) were created, with Zone I having the highest degree of mining activities due to the degree of environmental degradation.



INTRODUCCION

Pinedo *et al.* (2007) menciona que la creciente demanda de productos de origen maderable, no maderable, agricultura, minería, etc., requiere de información actualizada respecto a la condición y posibles cambios en uso del suelo y vegetación. Bajo estas condiciones, es necesario disponer de información actualizada acerca del estado actual del ecosistema forestal y biológico en las Áreas Naturales Protegidas (ANPs), con énfasis en los posibles cambios en usos del suelo. Esto es imprescindible para disponer de información real y confiable que permita una mejor planeación y administración de los recursos de las ANPs y sus zonas de amortiguamiento bajo un esquema de uso sustentable. Las imágenes de satélite surgen como una herramienta importante para manejar, planear y evaluar los recursos naturales (Buiten, 1993; Chuvieco, 2010; Chávez, 2012).

“Han habido numerosas instituciones que han calculado la deforestación en el departamento de Madre de Dios, mostrando diferencias uno del otro. La mayoría de estos cálculos ha tomado la deforestación como un todo, es decir que no han sido clasificadas por las causas que la originan, aunque no podemos descartar que habido instituciones que también trataron de determinarla por clases como PROCLIM, la cual en el 2005, realizó el cálculo de la deforestación en toda la amazonia peruana, pero esta información es muy gruesa puesto que abarca demasiada extensión lo cual hacía difícil su exactitud”.

“La Reserva Nacional Tambopata (RNTAMB) y el Parque Nacional Bahuaja Sonene (PNBS) – Madre de Dios (MDD), están próximos a tener un sistema de monitoreo que no solamente se enfoca a la diversidad biológica sino también al monitoreo de las actividades humanas que hay dentro de ellas, pero no podemos dejar de lado sus zonas de amortiguamiento, puesto que ellas funcionan como un colchón a las actividades humanas manejadas inadecuadamente, afecten a las ANPs.”

“La RNTAMB y el PNBS – MDD vienen siendo administradas por un contrato de administración parcial de operaciones de monitoreo biológico, investigación y servicios ambientales hasta el año 2029 que lo ejecuta la Asociación para la Investigación y el Desarrollo Integral (AIDER), para lo cual también desconoce el tamaño de la deforestación por las actividades humanas que hay en ellas, es decir que el presente

estudio servirá como línea base para el sistema de monitoreo que se va a implementar, y como protocolo para las próximos cálculos de deforestación en los años siguientes.”

Las imágenes del satélite Landsat TM representan una herramienta importante para generar mapas que identifiquen y detallen la extensión del disturbio de las áreas asociadas con la actividad antropogénica (Alarcón, *et al.*, 2011).

La falta de información actualizada, cuantificada de áreas deforestadas por “tipo de actividad humana” en la Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata y del Parque Nacional Bahuaja Sonene - Madre de Dios, hacen que sea necesario determinar, precisar y que a su vez permiten conseguir beneficios en la obtención de información que incluya el análisis a detalle de pequeñas áreas, así como de grandes extensiones de terreno con una precisión razonable, por otro lado permite una reducción de los costos de operación, minimizando el tiempo para el proceso de la información (Suri, 2008; Dourojeanni, 2006; GOREMAD & IIAP; 2008).

En este escenario, se hace necesario realizar la determinación de áreas deforestadas por tipo de actividad humana mediante la utilización de imágenes del sensor Landsat TM 5 con la finalidad de proponer estrategias para revertir o manejar el problema.

OBJETIVOS

Objetivo General

Identificar y cuantificar áreas deforestadas por tipo de actividad humana mediante imágenes del satélite Landsat TM 5 en la Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja Sonene en el ámbito de Madre de Dios al 2011.

Objetivos Específicos

- Determinar el área deforestada en la Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja Sonene en el ámbito de Madre de Dios.
- Identificar áreas críticas para el manejo y el monitoreo, definidas sobre la base de los cambios en el uso de la tierra para el período del análisis.
- Generar un conjunto de herramientas de análisis que permita identificar y cuantificar áreas deforestadas según su actividad humana, como:
 - Mapa de deforestación por tipo de actividad humana
 - Mapa de áreas críticas
 - Mapa temático de pendiente
 - Mapa de uso actual del territorio

FORMULACION DE LA HIPOTESIS

H₁. Mediante el análisis de imágenes Landsat TM 5 se puede determinar áreas deforestadas por tipo de actividad humana.

H₀. Mediante el análisis de imágenes Landsat TM 5 no se puede determinar áreas deforestadas por tipo de actividad humana.

VARIABLES

Variable Dependiente

- Cobertura boscosa y no boscosa.

Variable Independiente

- Comportamiento del objeto en función de la unidad mínima de la imagen (píxel).

CAPITULO I

MARCO TEORICO

1.1. Antecedentes

La deforestación de los bosques amazónicos, son problemas perjudiciales de la pérdida de material genético por el cambio de uso del mismo, y a continuación se detalla algunos antecedentes:

Chávez, *et al.* (2012), realizó un estudio de Áreas deforestadas entre los años 2008-2010 en la provincia del Tahuamanu, utilizando los programas ENVI 4.7®, Erdas Imagine 9.2®, CLASlite 2.2® y SPRING 5.1® con imágenes Landsat TM 5. Donde encontraron resultados diferentes para los diferentes programas, encontrando los siguientes resultados:

Cuadro 1. Resultados de análisis de deforestación utilizando métodos comparativos a CLASlite®, SPRING®, ENVI®, y Erdas Imagine®

PR 3/68 Provincia Tahuamanu	CLASLITE®	SPRING®	ENVI SAM®	ERDAS IMAGINE®
Bosque (ha)	1,236,478.41	1,255,957.56	1,239,052.41	1,257,414.84
Área Deforestada (ha)	42,184.71	22,936.95	14,923.89	21,799.26

Fuente: Chávez, *et al.* (2012).

Según ACCA¹, en la Reserva Nacional Tambopata (RNTAMB) y su zona de amortiguamiento, entre noviembre del 2010 hasta octubre del año 2011 la deforestación por actividad minera aumentó de 100 a 1,583 ha (ACCA, 2011; citado por Actualidad Ambiental del SPDA²).

Alarcón *et al.* (2011), realizó un estudio de deforestación en el distrito de Inambari en los años 2000 – 2009, aplicando dos métodos: sin mejoramiento espectral (6,931.541 ha) y con mejoramiento espectral-NDVI³ (7,641.50 ha) y en la que asigna a la minería como mayor responsable de los cambios de bosque desprovisto de vegetación.

AIDER⁴, realizó un estudio de cuantificación de deforestación acumulada con el análisis de imágenes Landsat TM 5, que data desde el año 1990 hasta el 2010 en todo el

¹ Asociación para la Conservación de la Cuenca Amazónica

² Sociedad Peruana de Derecho Ambiental

³ Índice de Vegetación Normalizada

⁴ Asociación para la Investigación y el Desarrollo Integral

departamento de Madre de Dios, siendo en el año 1990 la cantidad de 110,324 ha y en el año 2010 esta cifra aumento a 301,013 ha (Recavarren, 2011).

El CDC⁵ de la UNALM⁶ conjuntamente con la Sociedad Zoológica de Francfort (SZF) hicieron un trabajo de análisis de deforestación basado en los años 1990 a 2000 a través de imágenes de satélite Landsat TM 5, en la Reserva Nacional Tambopata, Parque Nacional Bahuaja Sonene, la Reserva Comunal Amarakaeri con sus respectivas zonas de amortiguamiento, en donde también se integró la margen izquierda del río Inambari. De acuerdo a este estudio se registró, un incremento en la extensión deforestada en el área de estudio que alcanza las 57,030 ha que equivale pasar de 2,55 a 4,1 % del área total, lo cual equivale casi a duplicar la proporción de área deforestada. De las cuatro causas de deforestación, la más importante es la agricultura practicada en la zona y es a la que se atribuye un incremento del 2,21 al 3,60% en la década pasada, mientras que la minería aurífera sería responsable del incremento de la deforestación de casi 4,500 ha o lo que significa pasar del 0,23 al 0,36 %.

El IIAP⁷, realizó La Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Madre de Dios, reporta que la superficie deforestada para el año 2002 en todo el departamento de Madre de Dios es de 141,885 ha (IIAP, 2002)

Suri (2008), determinó una superficie de 266,202.88 ha, la cual representó el 3.13% de territorio del departamento, donde la mayor superficie de áreas deforestadas se concentra en la provincia de Tambopata con 173,587.69 ha que representa el 65.21% del área deforestada.

Rosales (2008), realizó un estudio en la zona denominada “La Pampa”, entre los distritos de: Tambopata, Laberinto e Inambari, provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios, revelan que el promedio anual de deforestación estimado es de 1,480 ha/año y/o 123 ha/mes ó 4 ha/día y la tasa anual de deforestación de 5,32%, que indica el porcentaje de áreas que se viene deforestando por año respecto al bosque primario actual. El 74% de la superficie deforestada se encuentra cubierta por purmas, 25% por pastizales y/o cultivos agrícolas y 1% por carreteras y centros poblados. Las mayores superficies deforestadas se encuentran distribuidas en el área de influencia directa de la

⁵ Centro de Datos para la Conservación

⁶ Universidad Nacional Agraria de la Molina

⁷ Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana

carretera El Castañal Santa Rosa y/o bosque de colinas altas (Bca) y terrazas altas (Bta), correspondiendo las menores áreas deforestadas aquella ubicada en las terrazas aluviales del río Jayave y bosque de terrazas medias (Btm) y bajas (Btb). La actividad principal causante de la deforestación en la zona continúa siendo la agropecuaria debido al considerable aumento de purmas, seguida por la construcción de redes viales, luego por la minería y la extracción forestal tradicional legal e ilegal.

Pinedo *et al.* (2007), realizó un análisis de áreas deforestadas en la región centro-norte de la Sierra Madre Occidental, Chihuahua, México. Teniendo como objetivo cuantificar el grado de deforestación en la región centro-norte de la Sierra Madre Occidental en Chihuahua, México. Dos fueron los objetivos específicos: el primero fue examinar las relaciones de datos espectrales del sensor Landsat TM 5 y TM 7 para detectar cambios en la masa forestal; el segundo fue identificar los cambios de cubierta forestal a través de un análisis de componentes principales. Teniendo como resultado que este estudio permitió cuantificar las pérdidas por deforestación en los polígonos seleccionados. De las 88,842 ha reportadas como deforestadas a partir del Inventario Nacional Forestal del año 2000, el 35.2% (31,275 ha) han sido sobreestimadas conforme a los procedimientos y resultados de este estudio.

En el año 2000, el Programa de Fortalecimiento de Capacidades Nacionales para Manejar el Impacto del Cambio Climático y la Contaminación del Aire – PROCLIM, realizó un mapa de deforestación de la amazonía peruana, siendo para Madre de Dios 203,878.80 ha deforestadas. (PROCLIM, 2005).

1.2. Revisión de Literatura

El Sistema de Análisis Carnegie Landsat – Lite (CLASlite) es un paquete de software para la identificación, altamente automatizada, de deforestación y degradación de bosques a partir de imágenes satelitales. Desarrollado por Gregory Asner y su equipo en la Institución Carnegie, CLASlite incorpora investigación de punta en sensoriamiento remoto en una simple y potente herramienta, diseñada para ser usada por instituciones sin fines de lucro y gobiernos que necesitan tecnologías para el monitoreo forestal y la planificación ambiental (Rodríguez, 2010).

El Ambiente para Visualizar Imágenes, ENVI (por sus siglas en inglés), es el software de teledetección más avanzado y fácil de utilizar presente en el mercado. ENVI combina



un poderoso paquete de procesamiento de imágenes con las herramientas espectrales más avanzadas. Asimismo, provee corrección geométrica, análisis de terreno, análisis de radar, capacidades de SIG ráster y vectoriales, amplio soporte para imágenes desde una gran variedad de fuentes, y mucho más (Grupo GISITS, 2012).

ERDAS Imagine es el software geoespacial de creación estándar de la industria, centrado en procesamiento de imagen, teledetección y GIS raster. Fácil de aprender y usar, ERDAS IMAGINE es una completa colección de herramientas para crear una precisa base de imágenes y de productos derivados de imágenes para apoyar la toma de decisiones (InfoSAT Geomática, 2010).

SPRING es una herramienta poderosa en tareas de teledetección y sistemas de información geográfica, liderado por el INPE (Instituto Nacional de Investigaciones) de Brasil. Su uso principal es en aplicaciones de extracción de información a partir de sensores remotos y SIG, y como herramienta de enseñanza en las Universidades e Institutos de Brasil (GeoTux SPRING, 2010).

Es un software GIS para visualizar, crear, manipular y gestionar información geográfica, estos corresponden a lugares, direcciones, posiciones en terreno, áreas urbanas y rurales; regiones y cualquier tipo de ubicaciones en terrenos determinados. Esta información es trabajada de manera sistémica, lo que representa una diferencia sustancial a lo relacionado al trabajo con información planos y mapas, permitiéndonos explorar, ver y analizar los datos según parámetros, relaciones y tendencias que presenta nuestra información, teniendo como resultado nuevas capas de información, mapas y nuevas bases de datos (Geoinfo, 2010).

1.2.1. El Espectro Electromagnético

El flujo de energía necesario entre el sensor y el objeto observado, en un sistema de teledetección, constituye una forma de radiación electromagnética (Chuvieco, 1996; Jensen, 1996).

Esta energía electromagnética es una forma dinámica de energía que es causada por la oscilación o aceleración de una carga eléctrica, de este modo, todas las sustancias naturales o sintéticas continuamente producen o emiten un rango de energía electromagnética en proporción a su temperatura (Avery, 1992).

Toda energía térmica puede ser transferida mediante tres procesos: convección, conducción y radiación, siendo esta última la base de la mayoría de los sistemas de teledetección (Chuvieco, 1996). Así, la radiación es el método por el cual la energía puede ser transferida desde un cuerpo a otro en ausencia de algún material intermediario. Si esta intervención se hace presente, debe ser lo suficientemente transparente de modo de que la energía sea transferida. La radiación es el único método por el cual la energía solar puede recorrer millones de kilómetros a través del espacio y alcanzar la tierra. Este es el método de transferencia de energía con el cual se concibe un sensor remoto (Avery, 1992).

Las propiedades de la radiación electromagnéticas han sido explicadas por dos teorías: la teoría ondulatoria que la concibe como un haz ondulatorio, y la teoría cuántica que considera la radiación electromagnética como una sucesión de unidades discretas de energía, fotones o cuantos, con masa igual a cero. Según la teoría ondulatoria, la energía electromagnética se transmite de un lugar a otro siguiendo un modelo armónico y continuo, a la velocidad de la luz y conteniendo dos campos de fuerzas, uno eléctrico y otro magnético, descritos por la longitud de onda y su frecuencia, de este modo cualquier forma de energía radiante puede ser descrita en función de estos dos elementos (Chuvieco, 1996, 2010; Jensen, 1996).

La teoría cuántica permite calcular la cantidad de energía transportada por un fotón, siempre que se conozca su frecuencia, de tal forma que a mayor longitud de onda, o menor frecuencia, el contenido energético será menor y viceversa, de este modo la radiación en longitudes de onda largas son más difíciles de detectar que aquellas centradas en longitudes cortas (Chuvieco, 1996, 2010; Jensen, 1996).

Cada una de las teorías, señaladas anteriormente, describe a la radiación electromagnética en función de su longitud de onda o frecuencia, de tal modo que la sucesión de valores de longitud de onda permite establecer una serie de bandas en donde la radiación electromagnética manifiesta un comportamiento similar, siendo la organización de estas bandas lo que conocemos como espectro electromagnético (Chuvieco 1996, 2010; Jensen 1996).

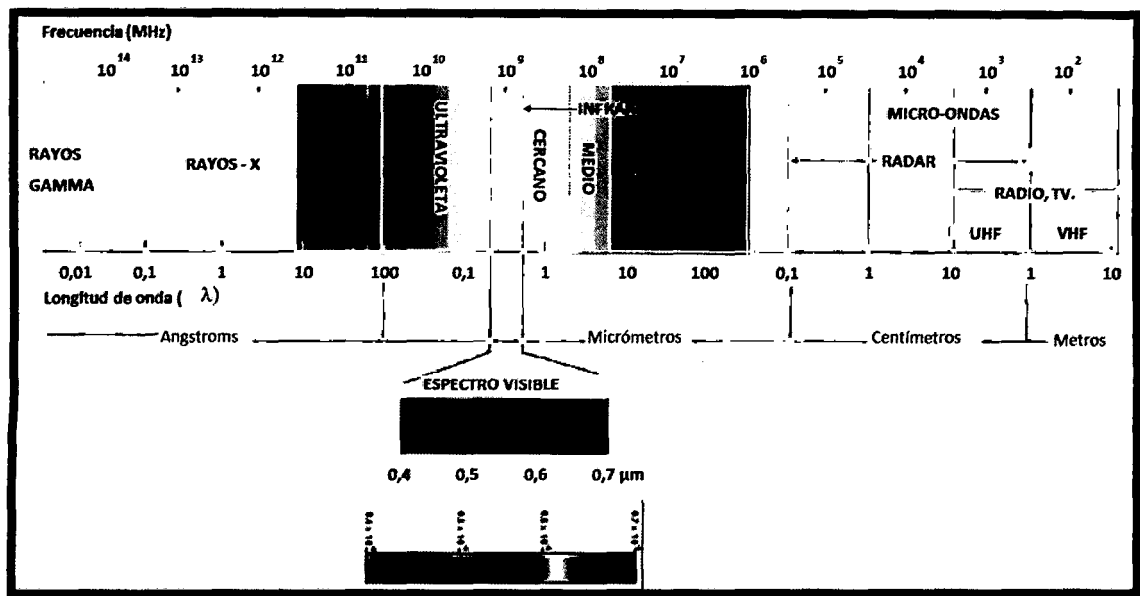


Figura 1. Espectro Electromagnético.
Fuente: Chuvieco (2010)

Las características espectrales que presentan las distintas superficies terrestres, que son motivo de investigación por distintas disciplinas, permiten reconocer ciertas bandas del espectro electromagnético que son las comúnmente utilizadas por las actuales aplicaciones de las técnicas de teledetección y que entregan las principales plataformas satelitales (Medina, 2001)

1.2.2. Fundamentos Físicos de la Teledetección

Como se nombró anteriormente, en cualquier sistema de teledetección deben existir los siguientes elementos: sensor, objeto y flujo energético, el cual es el responsable de la interacción entre los objetos, este mismo puede ser emitido ya sea por el objeto, el sensor u otra fuente externa como el sol, estas son las tres formas de adquirir información mediante los sensores remotos: por reflexión, por emisión y por emisión-reflexión (Rodríguez & Arredondo, 2005; SELPER, 2007; De la Mora, 2011).

En cualquiera de los casos, el flujo energético entre la cubierta terrestre y el sensor remoto constituye una forma de radiación electromagnética, este fenómeno de radiación es el que principalmente interactúa en los procesos de teledetección, científicamente este fenómeno se ha descrito desde dos teorías contrapuestas una, determinada como una haz ondulatorio (Hyugens, Maxwell), y la otra concebida como una sucesión de unidades discretas de energía (fotones o cuantos), con masa igual a cero (Planck, Einstein), se podría decir actualmente que las dos teorías se complementan gracias a que

la luz se comporta de acuerdo a ambos planteamientos (Rodríguez & Arredondo, 2005; SELPER, 2007; De la Mora, 2011).

Según la física, la energía electromagnética se transmite de un lugar a otro con la trayectoria de un modelo armónico, a la velocidad de la luz y conteniendo dos campos de fuerzas ortogonales entre sí: eléctrico y magnético, este flujo es descrito mediante dos componentes λ como longitud de onda (la cual hace referencia a la distancia entre picos sucesivos) y F como la frecuencia (la cual hace referencia al número de ciclos en punto fijo por unidad de tiempo) (Rodríguez & Arredondo, 2005; SELPER, 2007; De la Mora, 2011).

$$c = \lambda F$$

Donde c es la velocidad de la luz ($3 \cdot 10^8$ m/s).

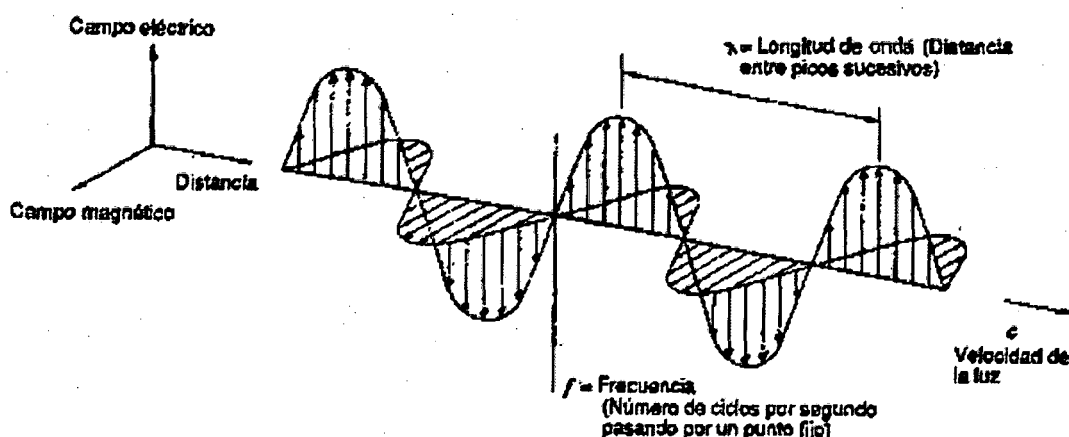


Figura 2. Onda de Radiación Electromagnética.
Fuente: Chuvieco (2010)

Según la teoría cuántica, la cantidad de energía de un fotón se calcula si se conoce su frecuencia mediante:

$$Q = hF \quad \text{ó} \quad Q = h(c/\lambda)$$

Q es la energía en julios, F la frecuencia y h es la constante de Planck ($6.6 \cdot 10^{-34}$ J-s), según la anterior ecuación, se deduce que a mayor longitud de onda, es más difícil de detectar la información que aquella ubicada en longitudes cortas (Rodríguez & Arredondo, 2005; SELPER, 2007; De la Mora, 2011).

La radiación que detecta los sensores de los satélites meteorológicos, proviene de tres principales: el sol, la tierra y la atmosfera. La radiación electromagnética incidente de origen solar es afectada por la atmosfera a través de los procesos de transmisión, absorción, “scattering” o difusión, y reflexión (Rodríguez & Arredondo, 2005; SELPER, 2007; De la Mora, 2011).

La radiación de onda corta emitida por el sol alcanza la atmosfera. Parte de ella es absorbida por los gases que lo componen. Otra parte, muy importante, es reflejada por las nubes, la tierra, el agua y es reenviada de nuevo al espacio. La radiación transmitida llega a los diferentes niveles de la atmosfera y a la superficie de la tierra. Estos sistemas se calientan y a su vez actúan como fuentes emisoras, pero como elementos de radiación electromagnética de onda larga. De nuevo los procesos de emisión, absorción, dispersión y transmisión aparecen ligados a la radiación térmica que se dirige al espacio y se ve interrumpida y alterada por los componentes atmosféricos (Rodríguez & Arredondo, 2005; SELPER, 2007; De la Mora, 2011).

Los sensores de satélites miden la energía radiante proveniente de las distintas fuentes emisoras que ha sufrido una serie de proceso en el sistema tierra-atmosfera. Las principales fuentes de emisión son la superficie de la tierra, las nubes, la propia atmosfera y las zonas acuosas (mares, océanos, lagos, ríos, etc.) (Rodríguez & Arredondo, 2005; SELPER, 2007; De la Mora, 2011).

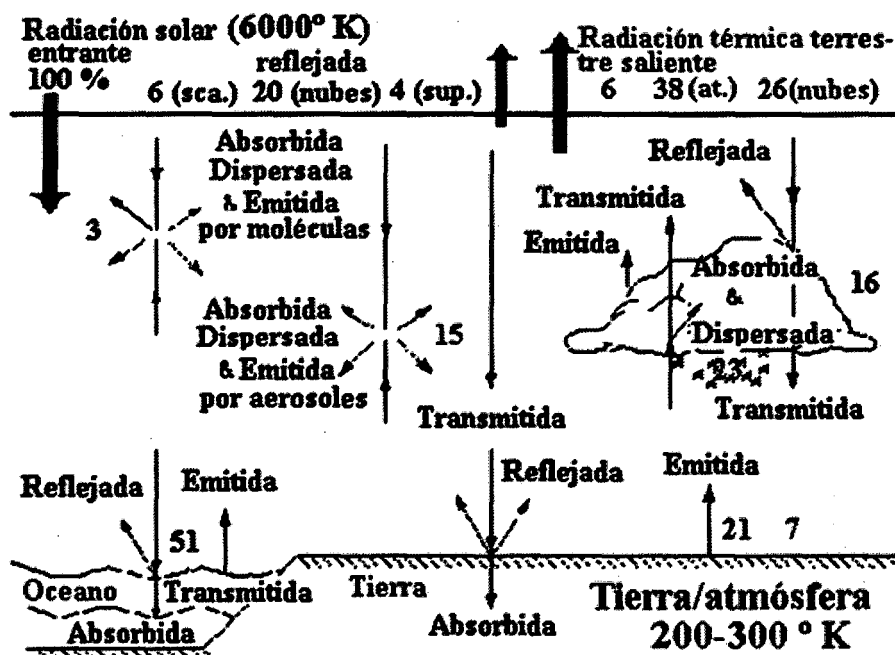


Figura 3. Comportamiento de la Radiación Electromagnética en la Tierra.

Fuente: Rodríguez & Arredondo (2005)

1.2.3. Principios Generales de la Teledetección

En el mundo siempre ha existido la necesidad de identificar el espacio que nos rodea, desde hace unos siglos surgieron ciencias empíricas dedicadas a la interpretación geográfica, entre las cuales tenemos la topografía y fotogrametría, así mismo la meteorología para el estudio climatológico, hasta hace poco tiempo las metodologías aplicadas no eran muy tecnificadas, los datos solo se obtenían a partir de un trabajo de campo y era necesario llevar equipos considerables al área de estudio para el desarrollo de la investigación, esto implicaba condiciones desfavorables en algunos lugares en los que la accesibilidad no es posible (Rodríguez & Arredondo, 2005; SELPER, 2007; De la Mora, 2011).

Con el desarrollo de la tecnología computacional, la ciencia está avanzando hacia un nivel con posibilidades ilimitadas de conocimiento, la obtención de información en algunos campos de la investigación actualmente no requiere la presencia física del hombre, equipos como los satélites demuestran la capacidad humana para desarrollar tecnologías alternativas de solución a problemas en los que existían limitaciones técnicas, la aplicación en procesos de datos actualmente resulta ser una tarea sencilla en la que manejar múltiples variables no es un obstáculo en el momento de obtener resultados instantáneos (Rodríguez & Arredondo, 2005; SELPER, 2007; De la Mora, 2011).

La teledetección es una técnica dependiente de su desarrollo a través del tiempo, sus formas de presentación han variado en las últimas décadas de una manera progresiva. Los primeros pasos en la teledetección dieron a lugar cuando Gaspar Félix obtuvo las primeras fotografías aéreas desde un globo en 1859, en los años siguientes se presenta un trascendental desarrollo de la observación fotográfica desde avión, es en 1909 cuando Wilbur Wight adquiere la primera fotografía aérea. La primera cámara aérea fue desarrollada en 1915 por J.T.C. Moore, de allí inicia el interesante camino de avance en las técnicas de fotografía aérea. Es en la segunda guerra mundial cuando el progreso tiende a desarrollar las cámaras de reconocimiento, así mismo surgen nuevos sensores como el radar y los sistemas de comunicación. Estas innovaciones encuentran su principal aplicación en la exploración y control de los recursos naturales (Rodríguez & Arredondo, 2005; SELPER, 2007; De la Mora, 2011).

A finales de los años cincuenta el desarrollo de los sistemas de navegación en la denominada guerra fría, generó un interés importante en la investigación de estos temas, el lanzamiento del satélite soviético Sputnik en 1957 fue el acontecimiento para el inicio de una serie de misiones militares y civiles cuyo objetivo fue la exploración del planeta. En 1960 la NASA pone en órbita el primer satélite de la serie TYROS, pionero de misiones de observación meteorológica, junto a estos satélites en los años setenta se impulsaron misiones con el objetivo de la exploración del sistema solar y la luna. Las primeras fotografías espaciales fueron tomas por Alan B. Shepard de una manera algo rudimentaria (Rodríguez & Arredondo, 2005; SELPER, 2007; De la Mora, 2011).

La NASA interesada en los datos obtenidos adquiere fotografías durante las misiones Apolo y es en el Apolo-9, cuando se instaló el primer experimento multiespectral en el que se instalaron cuatro cámaras Hasselbald, con distintos filtros, todas estas experiencias permiten que el 23 de julio de 1972 se realice el lanzamiento del primer satélite de la serie ERTS (Earth Resources Technology Satellite) proyecto conocido como Landsat, el interés de la comunidad científica ha crecido en magnitud tal que los estudios desarrollados gracias a las imágenes satelitales se pueden contar por miles, luego de esta serie de proyectos sigue una cantidad incesante en los que se encuentran los satélites SPOT francés, MOS1 y el MODIS (Resolución Moderada de Imágenes Espectroradiométricas) del sistemas EOS de la NASA objeto de estudio para este trabajo de grado (Rodríguez & Arredondo, 2005; SELPER, 2007; De la Mora, 2011).

Para ilustrar el proceso de la obtención de las imágenes satelitales, se puede comparar con las imágenes fotográficas, debido a que esta técnica es conocida. La fotografía se fundamenta en la impresión de un objeto sobre una película sensible a la luz con el apoyo de un sistema óptico para control de condiciones de exposición. La fotografía necesita que exista una fuente de energía, externa al objeto, comúnmente el sol, puesto que no puede obtenerse una buena calidad del objeto sin iluminación exterior. Entre el objeto y la cámara esta la atmósfera causante de pérdida de nitidez a medida del aumento de la distancia, en este punto ya se cuenta con los elementos más importantes de un sistema de teledetección: objeto, fuente de energía, sensor, plataforma, sistema de transmisión recepción y por último la función que desempeña el usuario, en el caso de los sensores remotos se sustituye del ejemplo anterior la cámara por el termino sensor como un concepto más genérico, además la información detectada por los sensores no se limita a la reflexión de luz solar sino al calor procedente de estos o incluso generar su

propio haz de energía. Las plataformas geoestacionarias se localizan a unos 36000 Km. de la tierra proporcionando una imagen completa del planeta desde su ubicación, resulta conveniente utilizar las imágenes en predicciones meteorológicas, facilitando así la visualización de las características y movimientos de las masas nubosas (Rodríguez & Arredondo, 2005; SELPER, 2007; De la Mora, 2011).

La literatura ofrece gran variedad de definiciones para los sensores remotos, una de las más acertadas es la concebida por Richie and Rango 1996 “los sensores remotos han sido definidos como la ciencia y el arte de obtener información acerca de un objeto, área o fenómeno a través de análisis adquiridos de datos por sensores que no están en contacto directo con el objetivo de investigación”. Son reconocidas las ventajas ofrecidas por los sensores remotos comparados con los datos obtenidos convencionalmente, pero existen algunas desventajas y es que muchos de estos parámetros no serán posibles de medir directamente, debido a la adquisición de datos del espectro electromagnético (Rodríguez & Arredondo, 2005; SELPER, 2007; De la Mora, 2011).

En definitiva, un sistema de teledetección espacial está constituido por los siguientes elementos:

1. Fuente de energía, supone un creador de la energía que el sensor está detectando, puede tratarse de un actor externo en cuyo caso se habla de teledetección pasiva, o si es emitida por el sensor se habla de teledetección activa, la fuente más importante de energía es el sol.
2. Cubierta Terrestre, formada por la vegetación, agua, construcciones, suelo, las cuales reflejan la energía generada por la fuente, cada una dependiendo de sus características propias.
3. Sistema Sensor, compuesto por el sensor en sí, y la plataforma que lo conforma. Tiene el trabajo de captar la energía procedente de la cubierta terrestre y enviarla al centro o base de recepción.
4. Sistema de recepción-comercialización, donde se recibe la información enviada por el sensor, se graba en un formato adecuado y luego se distribuye a los usuarios.

5. Interprete, es el encargado de analizar la información, comúnmente en forma de imágenes digitales para determinar su clave temática para la solución de la situación en estudio.
6. Usuario final, es el encargado de analizar el documento fruto de la interpretación anterior.

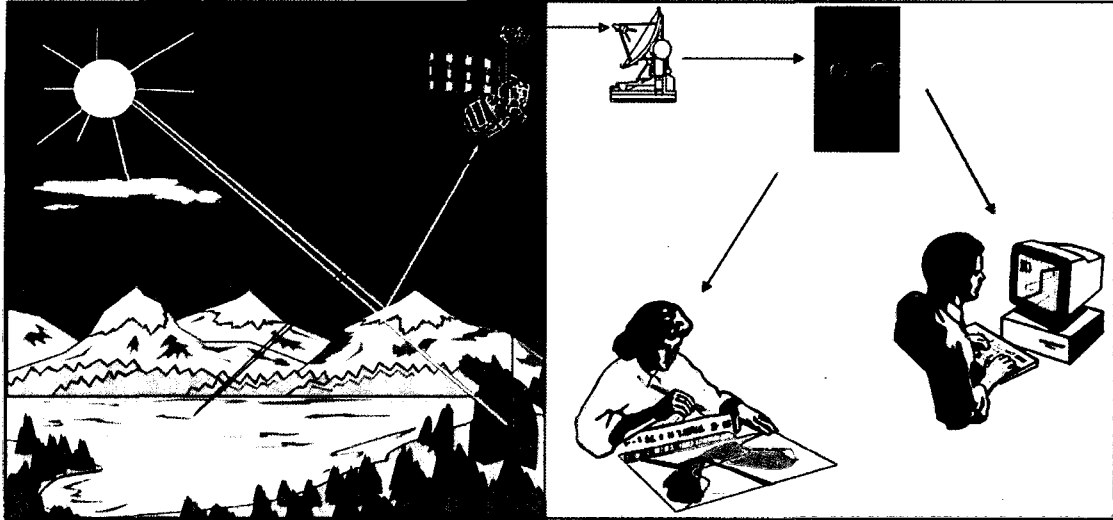


Figura 4. El Concepto de sensor remoto.

Fuente: Chuvieco (2010)

Las principales aplicaciones de la teledetección (Chuvieco, Fundamentos de Teledetección Espacial. 1996. Pág. 41. 3ra ed. Rialp, Madrid.) son:

- Estudio de erosión de playas y arenales
- Inventario regional del medio ambiente para preparar estudios de impactos ambientales
- Cartografía geológica para la exploración petrolífera.
- Cartografía de nuevos depósitos volcánicos.
- Control de la acumulación nival, de la fusión y de los cambios previsibles de la energía hidroeléctrica.
- Control del movimiento de Iceberg en zonas polares.
- Estimación de modelos de escorrentía y erosión.
- Inventarios del agua superficial.

- Análisis en tiempo real de masas nubosas de escala media y pequeña.
- Medidas de aguas superficiales y humedales para evaluar la situación del hábitat para aves acuáticas.
- Verificación de contenidos de salinidad en las corrientes de agua.
- Cartografía térmica de la superficie del mar.
- Verificación y control de la calidad física del agua, turbidez y contenido de algas.
- Control de movimientos de Gulf Stream y otras zonas marinas.
- Cartografía de la cobertura vegetal del suelo.
- Rápida evaluación de condiciones de estrés en la vegetación, por efectos de la sequía o la erosión.
- Cartografía de áreas quemadas y seguimiento de los ritmos de repoblación natural.
- Contribución a la cartografía e inventario de la cobertura y uso del suelo.
- Realización de inventarios forestales.
- Realización de rutas óptimas para las nuevas vías de comunicación.
- Control de pastizales.
- Cartografía en inventario de cultivos por especie.
- Previsión del rendimiento de cultivos.

Durante los últimos años con el avance de tecnologías encargadas de facilitar la comprensión a cerca de las propiedades y comportamiento de la naturaleza. Una de las técnicas mejor desarrolladas en los últimos años ha sido la obtención de imágenes de la tierra desde sensores incluidos sobre satélites que giran alrededor del planeta, proceso conocido como la teledetección. La teledetección es un conjunto de conocimientos y técnicas utilizados para determinar características físicas y biológicas de objetos a través de datos adquiridos por un sensor que no está en contacto directo con el objeto de

investigación (Schultz and Engman), estos sensores remotos son dispositivos que pueden captar la radiación electromagnética reflejada o emitida por la superficie de la tierra, usan mediciones del espectro electromagnético con el fin de caracterizar el paisaje. Con el avance de la ciencia se ha logrado del espectro electromagnético ampliar el rango de obtención de información, así por ejemplo, actualmente encontramos sensores remotos de tipo térmico (obtención de temperatura terrestre) y medidores de microondas (lecturas de humedad local) (Rodríguez & Arredondo, 2005; SELPER, 2007; De la Mora, 2011).

Desde unos años atrás se cuenta con dos sensores en los satélites Landsat para adquirir imágenes; el MSS (multispectral scanner) que ofrece información sobre cuatro bandas del espectro, el TM (Thematic Mapper) que ofrece siete bandas del espectro y el satélite francés SPOT que permite dos modalidades de observación: multibanda de 3 canales con resolución de 20X20m y pancromático con una resolución de 10X10m (Rodríguez & Arredondo, 2005; SELPER, 2007; De la Mora, 2011).

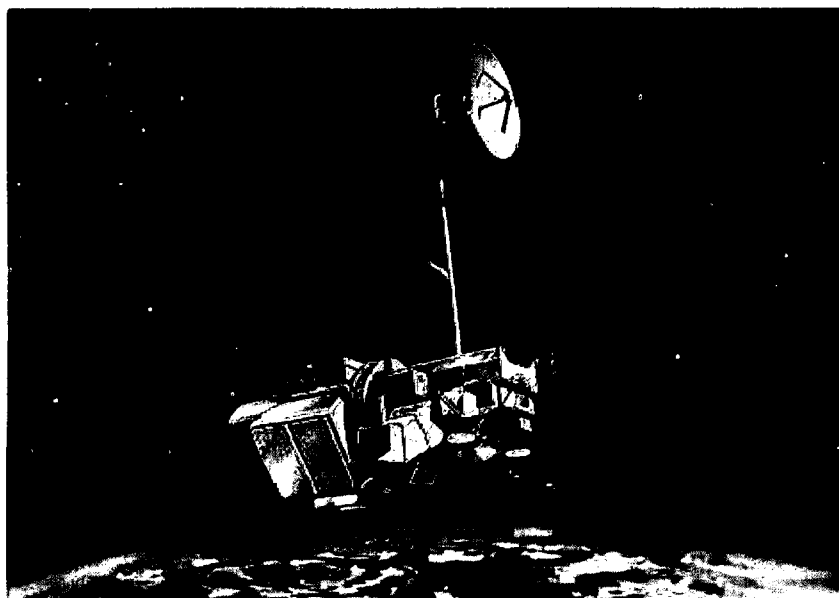


Figura 5. El Satélite Landsat.
Fuente: Rodríguez & Arredondo (2005)

Al tener definida la teledetección espacial, como aquella técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, se supone una interacción energética entre la tierra y el sensor remoto ya sea por reflexión de la energía solar o un haz de energía artificial, a su vez es importante que la recepción del sensor sea transmitida a la tierra con el fin de encontrarle aplicación (Rodríguez & Arredondo, 2005; SELPER, 2007; De la Mora, 2011).

En definitiva los sensores de observación terrestre, permiten distinguir varias escalas, desde la local hasta la global. Se trata de una nueva forma de visualizar los fenómenos cotidianos para los habitantes del planeta, este conocimiento ha permitido en ingeniería forestal realizar estudios de gran alcance investigativo, por ejemplo obtenemos mediante los sensores remotos los tipos de bosque de una región. Los sensores remotos particularmente en satélites de varias bandas de espectro, ofrecen información característica de la superficie terrestre, vegetación, altimetría y uso de la tierra, que puede combinarse con modelos de elevación digital o mapas digitales del suelo, los cuales en un momento dado permiten la estimación de la capacidad de almacenamiento de agua en un sistema de presa (Rodríguez & Arredondo, 2005; SELPER, 2007; De la Mora, 2011).

El aumento en el empleo de sensores remotos para la observación de la tierra está generando una cantidad importante de información, así mismo se presenta como una forma novedosa de estudiar la superficie terrestre. El proceso de la teledetección permite disponer de datos acerca del territorio, algunos en tiempo real por lo que utilizar esta herramienta resulta ser inevitable. Luego del entrenamiento adecuado, esta tecnología amplía la capacidad de análisis del problema bajo estudio, gracias a esto, en la actualidad se enfatiza en el planteamiento de modelos y estudio de sus resultados, trabajos inherentes al investigador (Rodríguez & Arredondo, 2005; SELPER, 2007; De la Mora, 2011).

La información obtenida es de gran valor porque en la actualidad, mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG) disponibles en el mercado, algunos de libre distribución, se procesa y manejan las diferentes variables obtenidas de los sensores remotos y en el contexto forestal se reconoce la calidad de los productos obtenidos de sensores remotos tales como fotografías aéreas, imágenes satelitales y de radar, entre otros (Rodríguez & Arredondo, 2005; SELPER, 2007; De la Mora, 2011).

Actualmente la obtención y análisis de información del medio ambiente tiende a utilizar herramientas computacionales, los países desarrollados en general adquieren información digital de los satélites, esta es interpretada en sistemas de información geográfica, diseñados para su procesamiento mediante la modelación operacional-temporal. La necesidad de solucionar problemas de mayor complejidad y manejar eficientemente la información, ha convertido la complementariedad entre los SIG y

Sensores Remotos en instrumentos vitales para el análisis, planeamiento y administración de los recursos naturales (Rodríguez & Arredondo, 2005; SELPER, 2007; De la Mora, 2011).

1.2.4. El Programa LANDSAT

A mediados de 1960, la idea de un satélite civil de recursos terrestre fue concebida por el departamento del interior de los Estados Unidos. Luego la National Aeronautics and Space Administration (NASA) se inició el desarrollo y lanzamiento del primer satélite de monitoreo terrestre para enfrentar las necesidades del manejo de los recursos y de los científicos del mundo. A principios de 1970 el U.S. Geological Survey (USGS) entró en sociedad con la NASA para asumir la responsabilidad de almacenar los datos y la distribución de los productos obtenidos. El 23 de julio de 1972 la NASA lanzó el primero de una serie de satélites destinados a proporcionar repetitivas coberturas globales de las masas de suelo terrestre. La denominación inicial fue el "Earth Resources Technology Satellite-A", que al momento de ser lanzado se llamó "ERTS-1", concebido para un año de operaciones y que finalmente terminó sus funciones en enero de 1978. Luego, este satélite pasó a llamarse Landsat 1 (Belspo, 1999; Rodríguez & Arredondo, 2005; SELPER, 2007; De la Mora, 2011).

El programa Landsat es actualmente administrado por la NASA (National Aeronautics and Space Administration), por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y por la USGS (United States Geological Survey). Este programa empezó sus investigaciones experimentales sobre los recursos naturales terrestres en 1962 con la contribución de algunas agencias federales de los Estados Unidos con el nombre de Programa Satelital ERTS (Earth Resource Technology Satellite). El éxito del programa se debe a factores como la combinación de sensores con bandas espectrales destinadas a la observación de la tierra, resolución espacial funcional y su gran cobertura en orbitas casi polares sincronizadas con el sol. (Chuvienco, 2010; Rodríguez & Arredondo, 2005)

Con el lanzamiento del Landsat 1 el 07-03-1972 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, Landsat 1, 2, 3, 4, 5,

6, 7, desde el año 1972 dan una de las mejores series históricas de la evolución del planeta (Fernández & Herrero, 2001)

Sobre los sensores colocados a bordo, las cámaras RBV se enviaron hasta el Landsat 3 y el MSS hasta el Landsat 5, pero a partir del Landsat 4 en 1982 se instalaron mapeadores temáticos (TM) que fueron la evolución de los exploradores multispectrales debido a una mayor resolución espacial, 30 m para todas la bandas menos para el IR termal, y radiométrica; siete bandas espectrales más estrechas y un incremento en el número de detectores por banda (16 canales no termal en comparación de los 6 del MSS). El satélite Landsat 6 se diferencia de los demás porque en él se hallaba el mapeador temático mejorado (ETM) cuyo objetivo era el de proveer de una amplia gama de datos como el monitoreo del medio ambiente, exploración de recursos naturales, planeación urbana y cartografía pero la nave perdió contacto con la base en tierra poco tiempo después del lanzamiento y antes de entrar en órbita (Chuvieco, 2010)

La misión Landsat 7, continua con la observación global comenzaba en 1972 administrada por la NASA, NOAA y USGS bajo el Acta de 1992 sobre Sensores Remotos Terrestres capturando imágenes de alta resolución de la superficie terrestre para el monitoreo ambiental, desastres, uso del suelo y planeación regional, cartografía y exploración mineral y petrolera. Landsat 7 tiene el mapeador temático más mejorado (ETM+) versión perfeccionada del ETM del Landsat 6 con una resolución espacial más avanzada construida por Lockheed Martin Missiles and Space. (Chuvieco, 2010)

El 31 de mayo de 2003, el Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper (ETM+), tuvo un fallo en el Line Corrector Scan (SLC). Desde ese momento todas las imágenes Landsat ETM+ han tenido en forma de cuña “vacíos” a ambos lados de cada escena, lo que resulta en aproximadamente el 22% pérdida de datos (<http://www.yale.edu/ceo> consultado el 24 de octubre del 2011).

Por esta razón para el presente estudio no se utilizarán imágenes del satélite Landsat 7, sino el Landsat TM 5 por estar aún vigente y porque tiene las mismas características en sus bandas del 1-7.

Cuadro 2. Características de los Satélites Landsat

Satélite	Lanzamiento (Fin de Servicio)	Altitud (Km)	Periodicidad (Días)	Sensor	Banda: Intervalo espectral (μm)	Resolución espacial (m)
Landsat 1	23/07/1972 06/01/1978	917	18	RBV	(1) 0.48 0.57	80
					(2) 0.58 0.68	80
					(3) 0.70 0.83	80
				MSS	(4) 0.5 0.6	79
					(5) 0.6 0.7	79
					(6) 0.7 0.8	79
					(7) 0.8 1.1	79
Landsat 2	22/01/1975 25/02/1982	917	18	RBV	(1) 0.48 0.57	80
					(2) 0.58 0.68	80
					(3) 0.70 0.83	80
				MSS	(4) 0.5 0.6	79
					(5) 0.6 0.7	79
					(6) 0.7 0.8	79
					(7) 0.8 1.1	79
Landsat 3	05/03/1978 31/03/1983	917	18	RBV	(1) 0.5 0.75	40
					(4) 0.5 0.6	79
				MSS	(5) 0.6 0.7	79
					(6) 0.7 0.8	79
					(7) 0.8 1.1	79
					(8) 10.4 12.6	240
Landsat 4	16/07/1982 1983	705	16	MSS	(4) 0.5 0.6	82
					(5) 0.6 0.7	82
					(6) 0.7 0.8	82
					(7) 0.8 1.1	82
				TM	(1) 0.45 0.52	30
					(2) 0.52 0.60	30
					(3) 0.63 0.69	30
					(4) 0.76 0.9	30
					(5) 1.55 1.75	30
					(6) 10.4 12.5	120
					(7) 2.08 2.35	30
				MSS	(4) 0.5 0.6	82
					(5) 0.6 0.7	82
					(6) 0.7 0.8	82
					(7) 0.8 1.1	82
Landsat 5	01/03/1985	705	16	TM	(1) 0.45 0.52	30
					(2) 0.52 0.60	30
					(3) 0.63 0.69	30
					(4) 0.76 0.9	30
					(5) 1.55 1.75	30
					(6) 10.4 12.5	120
					(7) 2.08 2.35	30
Landsat 6	05/10/1993 05/10/1993	705	16	Fallos en el Sistema		
Landsat 7	15/04/1999	705	16	ETM+	(1) 0.45 0.52	30
					(2) 0.53 0.61	30
					(3) 0.63 0.69	30
					(4) 0.78 0.9	30
					(5) 1.55 1.75	30
					(6) 10.4 12.5	60
					(7) 2.09 2.35	30
				PAN	0.5 0.90	15

Fuente: García (2008)

1.2.4.1. Sensores

1.2.4.1.1. Sensor MSS

El sensor MSS es un equipo de barrido óptico-electrónico con un campo total de visión de 11.56 grados, lo que a la altura orbital del satélite, le permite explorar una franja de terreno de 185 Km, divididos a ambos lados de la vertical de la traza (García, 2008; Chuvieco, 2010).

Con objeto de acoplar la secuencia de barrido a la velocidad del satélite, el sensor MSS registra seis líneas simultáneamente con cada oscilación del espejo. La radiación recibida por el sistema focal se transmite a un sistema óptico que la descompone en cuatro bandas, y la envía a distintos detectores. Por tanto, el MSS dispone de 24 detectores (6 líneas x 4 bandas), compuestos por foto-diodos de silicio (banda 7), y por tubos foto-multiplicadores (banda 4 a 6). En el caso del Landsat 3, se añadió una banda térmica (banda 8), registrada por detectores de mercurio-cadmio-telurio (García, 2008; Chuvieco, 2010).

Una escena adquirida por el sensor MSS comprende 2.340 líneas de barrido y 3.240 columnas por línea. Cada pixel corresponde a una superficie real de 79 m de lado (0.62 ha), si bien en la transformación digital se le asigna un formato nominal de 57 x 79 m, lo que explica la disimetría final entre el número de líneas y de columnas en la imagen. En los primeros MSS la resolución espectral era de 7 bits (0 a 127) para las banda 4 a 6, 6 bits (0 a 63) para la banda 7. Los MSS de la segunda generación codificaban las cuatro bandas con 8 bits (0 a 255) (García, 2008; Chuvieco, 2010).

Los sensores MSS cubrían 4 bandas de análisis. Las bandas visibles (4 y 5) permitía la detección de aspectos antrópicos, como áreas urbanas o vías de comunicación a la vez que podían proporcionar información sobre la calidad de la aguas. Las dos bandas del infrarrojo cercano (6 y 7) permitían registrar parámetros vitales en la actividad de las plantas, además de ser especialmente sensibles a la humedad (García, 2008; Chuvieco, 2010).

1.2.4.1.2. Sistema Vidicon

Los dos primeros satélites Landsat incorporaron un sistema de tres cámaras RBV, cada una de las cuales registraba información en una banda espectral comprendida entre el

verde y el infrarrojo cercano. Su resolución especial se cifraba en 80 m, cubriendo por lo tanto la misma superficie del sensor MSS (García, 2008; Chuvieco, 2010).

Este sistema no funcionó adecuadamente en los dos primeros Landsat, por lo que fue sustituido en el tercero por otro sistema Vidicon. En este caso, el planteamiento se dirigió más a mejorar la resolución espacial que la espectral, por lo que se montaron dos cámaras pancromáticas de alta resolución operando simultáneamente con el MSS. Estas cámaras cubrían un abanico espectral de 0.505 a 0.705 μm , proporcionando, en cuatro adquisiciones, la misma cobertura del MSS, pero con una resolución aproximada de 40 m (García, 2008; Chuvieco, 2010).

El registro entre ambas permitió utilizar el RBV como auxiliar del MSS, especialmente para mejorar la calidad visual de sus imágenes. Para ello, se emplearon diversas técnicas de fusión, como la normalización de bandas MSS, a partir de la proporcionada por RBV, o la transformación HSI. En el campo de las aplicaciones temáticas, el RBV se ha utilizado en estudios morfológicos y en cartografía de la cubierta del suelo, si bien la escasa pervivencia de este sensor ha reducido sensiblemente su rango de aplicaciones (García, 2008; Chuvieco, 2010).

1.2.4.1.3. Sensor Thematic Mapper (TM) y el ETM+

En la segunda generación del programa Landsat se introdujo un nuevo tipo de sensor, denominado Thematic Mapper (TM), diseñado para la cartografía temática. Al igual que su predecesor, el MSS, el Thematic Mapper es un equipo de barrido multiespectral. Frente al MSS, el TM aumenta el número de detectores, de 24 a 100, a la vez que se reduce el IFOV, se aumenta los niveles de codificación y se realiza el barrido en dos direcciones. Todo ello le permite mejorar la resolución espacial, espectral y radiométrica: de 79 a 30 m, de 4 a 7 bandas, y de 6 a 8 bits (García, 2008; Chuvieco, 2010).

En el TM, cada oscilación del espejo supone 16 líneas de barrido, frente a 6 en el MSS. De esta forma se precisan 16 detectores por banda, salvo la banda térmica que registra una menor resolución (120 m) y solo requiere cuatro detectores. Este aumento en el número de detectores complica el proceso de calibración, a la par que aumenta el volumen de datos a procesar (6 veces superior al MSS). Los detectores están formados

por tubos de silicio, para la bandas 1 a 4, indio-antimonio para las bandas 5 y 7, y mercurio-cadmio-telurio para la banda 6 (García, 2008; Chuvieco, 2010).

El diseño del TM pretendió paliar las deficiencias observadas en las imágenes MSS, incorporando información de cuatro bandas del espectro no contempladas en el MSS (azul, dos en el infrarrojo medio y una en el térmico), mientras se sustituían las bandas 6 y 7 del sensor, ambas en el infrarrojo cercano, por una sola. Con esta nueva configuración, los Landsat de segunda generación permitieron una sensible mejora en las aplicaciones terrestres y marinas sobre el sensor MSS: detección de turbideces y contaminantes en el agua (banda azul), exploración minera (infrarrojo medio), contenidos de humedad en las plantas y suelo (infrarrojo medio), detección de focos de calor (infrarrojo medio y térmico) además de mantener las ya existentes para el MSS (García, 2008; Chuvieco, 2010).

Por la parte de los inconvenientes de este sensor frente al MSS fue su coste y el gran volumen de datos que se generaban. A modo de ejemplo decir que una sola imagen del TM era 6 veces más cara que una adquirida por el MSS (sobre el mismo territorio). Por otro lado la cantidad de datos suponía 231 millones de píxeles, frente a los 28 millones de una imagen MSS, lo que para la época suponía un problema ya que se precisaban computadoras de elevadas prestaciones para poder manipularlas (García, 2008; Chuvieco, 2010).

En la actualidad el Landsat 7 está equipado con una versión mejorada del TM denominado ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) por lo que todo lo explicado en este apartado para el TM es de aplicación para el ETM+. El ETM+ incorpora a mayor una banda pancromática (0.5 a 0.9 μm) con una resolución espacial de 15 m, lo que permite obtener ampliaciones a una escala de hasta 1:25.000 (García, 2008; Chuvieco, 2010).

1.2.4.2. Análisis Visual de Imágenes RGB para imágenes Landsat.

El análisis visual de imágenes se realiza empleando tres bandas del sensor, coincidiendo con la capacidad de los monitores, empleados en informática, monitores RGB. Los monitores poseen un total de tres cañones, RGB (Red, Green, Blue. Rojo, Verde, Azul respectivamente), con los que, por combinación de estos tres colores básicos, se construyen el resto de los colores (Fernández & Herrero, 2001).

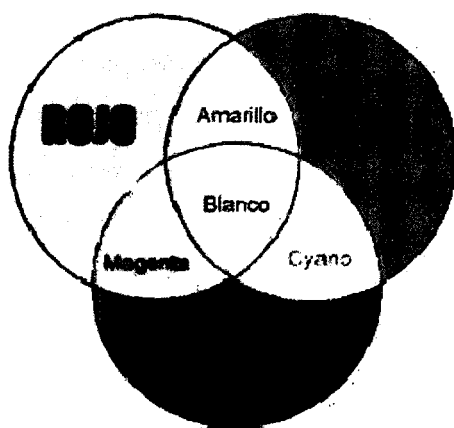


Figura 6. Combinación de Colores RGB
Fuente: Fernández & Herrero (2001)

Empleando estos tres cañones tenemos la posibilidad de enviar en cada uno de ellos una de las bandas del sensor, combinándose en nuestra pantalla y dando distintos colores y tonos. Estos colores y tonos se emplean para analizar visualmente la imagen, combinando las bandas, de manera que se da un primer acercamiento al contenido de la imagen (Fernández & Herrero, 2001).

Las combinaciones de colores se emplean para discriminar Geología de la imagen, Usos del suelo de la imagen, Morfología Urbana, etc. Para discriminar ciertas cubiertas hay que ir a otros análisis analizando imágenes consecutivas, o de otros años, análisis Multitemporal y de contexto, en función del conocimiento previo que se tiene de la zona cubierta por la imagen:

- Por ejemplo; comparar una imagen de agosto con una de mayo (suelos no cultivados, zona urbana densa, praderas, olivar – viñedo).
- La textura permite aislar las áreas residenciales mucho más heterogéneas que el resto.
- El contexto permite separar los parques urbanos.
- La dimensión estacional permite discriminar los cultivos regados frente a los caducifolios, ya activos en la imagen de mayo.
- Para discriminar morfología urbana, a partir del tono distinguimos la densidad de edificación, ya que aquellas zonas con menor trazado viario ofrecen un tinte más oscuro. Con el tono vemos si la zona cuenta con espacios verdes (tinte rojo en medio de azules propios de la edificación, para combinaciones de falso color 432).

Cuadro 3. Combinaciones en falso color RGB

COMBINACION	TIPO DE ESTUDIO
357	Erosión de suelos
354	Erosión de suelos
345	Sectores ambientales
347	Sectores ambientales
743	Sectores ambientales
234	Sectores ambientales
157	Clasificación de cubiertas
257	Clasificación de cubiertas
145	Clasificación de cubiertas
247	Clasificación de cubiertas
245	Clasificación de cubiertas
752	Geología
754	Geología
753	Geología
135	Geología
354	Clasificación de suelos

Fuente: Fernández & Herrero (2001)

Para el presente estudio se utilizará la combinación en RGB, 743 por ser de carácter ambiental y por las razones siguientes:

Esta combinación produce una apariencia similar a la combinación “natural”. Mientras que también penetra las partículas atmosféricas y el smoke. La vegetación saludable será de un verde claro intenso y puede saturarse en estaciones de alto crecimiento, las pasturas aparecerán verdes, las áreas de suelo desnudo serán de una tonalidad rosada, los tonos naranjas y marrones representan la vegetación remanente escasamente esparcida. La vegetación seca será de color naranja y el agua será de color azul. La arena, suelos y minerales son resaltados en una multitud de colores. Esta combinación de bandas provee una sobresaliente imagen para áreas desérticas. Esta combinación es muy útil también para estudios geológicos, agricultura y de humedales. Si existiera algún tipo de incendio en una imagen de esta composición este aparecería de color rojo. Esta combinación también es empleada para el manejo de aplicaciones post incendios forestales en el análisis de áreas quemadas y no quemadas. Las pasturas aparecen de un verde claro. Los puntos de color verde claro dentro de las áreas urbanas indican presencia de cubiertas de gras, parques, cementerios, y campos de golf. Los tonos verde olivo a verde claro normalmente indican áreas de foresta con presencia de coníferas

siendo más oscuras que los bosques deciduos (Samaniego, 2008; Fernández & Herrero, 2001)

1.3. Tratamiento digital de imágenes satelitales

Normalmente, antes de comenzar cualquier análisis sobre la información recogida desde un sensor remoto es necesario un tratamiento previo de los datos en cuestión. Este proceso se conoce en la literatura como “Image Preprocessing” y está destinado a corregir los errores derivados del proceso de adquisición de la información y que puede degradar la calidad de los datos recogidos por el sensor (Jensen, 1996).

Cuando la detección de cambios se realiza comparando, píxel a píxel, los Niveles Digitales (ND) de las distintas imágenes es necesario eliminar previamente cualquier cambio en los ND de la escena que no sea debido a cambios reales en la cubierta. Esto implica ajustar con precisión, tanto radiométrica, como geométricamente, las imágenes que intervienen en el análisis (Chuvieco, 1996).

1.3.1. Corrección Geométrica

Usualmente la información obtenida de sensores remotos presenta errores geométricos de origen sistemático, aquellos que pueden ser corregidos utilizando la información desde la plataforma y conociendo la distorsión interna del sensor, y no sistemático, aquellos que no pueden ser corregidos con una precisión aceptable sin un número suficiente de puntos de control terrestre. Entre las causas de errores geométricos de origen sistemático se puede mencionar la velocidad de la plataforma y la rotación de la tierra. Por otro lado, las distorsiones de origen no sistemático incluyen los errores producto de la altitud y posición del sensor (Bernstein, 1983 citado por Jensen, 1996).

La mayoría de la información de sensores remotos comerciales entrega los datos con los errores sistemáticos previamente corregidos, permaneciendo los errores no sistemáticos en la imagen. Para corregir estos errores se puede recurrir a dos procedimientos comunes, estos son la rectificación imagen a imagen, y la rectificación imagen a mapa (Jensen, 1996; Chuvieco, 1996, 2010).

1.3.2. Calibración Radiométrica

Idealmente, el flujo de radiación recogido por un sensor remoto, en varias bandas, es una representación precisa del flujo de radiación de las características de la superficie

terrestre. Desafortunadamente esto no ocurre y pueden ingresar errores al sistema de colección de información de varias maneras. Por ejemplo, errores radiométricos en los datos percibidos pueden ser introducidos por el mismo sensor remoto cuando los detectores individuales no funcionan apropiadamente o son inapropiadamente calibrados (Teillet, 1986, citado por Jensen, 1996). Por otro lado la intervención atmosférica entre el terreno de interés y el sensor remoto pueden contribuir con tanto ruido (error) que la energía recibida por el sensor no se parece a lo que fue reflejado o emitido por el terreno (Jensen, 1996; Chuvieco, 1996, 2010).

Las variables condiciones de observación, situaciones atmosféricas o condiciones de calibración del sensor se convierten en otro importante problema en la detección digital de cambios, ya que la signatura espectral en un píxel se ve modificada aunque se mantenga constante la cubierta (Chuvieco, 1996, 2010).

La corrección radiométrica de una imagen satelital puede realizarse, entre otros, por dos métodos; la calibración absoluta y la calibración relativa.

1.3.3. Calibración Absoluta

La radiación solar es selectivamente difundida y absorbida al entrar en contacto con la atmósfera terrestre. La energía emanada desde el cielo y recibida por el sensor es un indicador verdadero aun cuando se destruya nuestra habilidad para medir la reflectancia espectral de los patrones del terreno. De hecho, los científicos pueden considerar a la difusión y absorción atmosférica de la energía como el verdadero indicador y a la energía reflejada desde la tierra como el origen del ruido o error. No obstante, muchos de los analistas de la tierra consideran nocivo el efecto de la difusión y absorción atmosférica como fuente de error que puede minimizar la habilidad para extraer información útil del terreno desde datos obtenidos por sensores remotos (Jensen, 1996).

La calibración absoluta considera aspectos de la transmitividad atmosférica, irradiancia difusa del cielo y ruta de la radiancia para así determinar como el efecto atmosférico afecta la radiansa medida por el sensor remoto (Jensen, 1996; Chuvieco, 1996, 2010).

1.3.4. Calibración Relativa

La corrección radiométrica relativa puede ser utilizada para normalizar las intensidades entre las diferentes bandas dentro de una escena (por ejemplo para remover la respuesta

errónea del sensor, líneas abandonadas o rayados) y, para normalizar las intensidades de las bandas de los datos de una de la imagen en una fecha y estandarizarla a la escena escogida en el análisis. La corrección radiométrica relativa generalmente no requiere reunir mediciones atmosféricas en el tiempo de adquisición de la información, que son muy difíciles de obtener cuando se utiliza información histórica de un sensor remoto (Jensen, 1996).

1.3.5. Clasificación Digital

Es el proceso mediante el cual los píxeles de una imagen satelital multibanda son etiquetados según la categoría a la que pertenecen. A partir de esta imagen puede generarse una cartografía temática y el inventario estadístico de la superficie involucrada en cada categoría (Jensen, 1996; Chuvieco, 1996, 2010).

La clasificación digital distingue las siguientes fases: 1) definición digital de las categorías (fase de entrenamiento), 2) agrupación de los píxeles en una de esas categorías (fase de asignación), y 3) comprobación y verificación de resultados (Jensen, 1996; Chuvieco, 1996, 2010).

1.3.5.1. Fase de entrenamiento

Consiste en delimitar áreas de entrenamiento que representen lo mejor posible a cada una de las categorías que componen la leyenda de clasificación. Estas áreas se utilizan posteriormente para entrenar al ordenador en el cálculo de los Niveles Digitales que definen cada clase de clasificación, para luego asignar el resto de los píxeles de la imagen satelital a una de esas categorías en función de sus Niveles Digitales. Este método requiere del conocimiento de la zona de estudio (Jensen, 1996; Chuvieco, 1996, 2010).

1.3.5.2. Fase de asignación. Clasificador Angular. (Spectral Angle Mapper SAM)

Es un método que calcula la similitud entre dos espectros a partir de su distancia angular, asumiendo que forman dos vectores en un espacio n-dimensional (siendo n el número de bandas disponibles). En síntesis, se trata de un método para comparar espectros desconocidos con otros de referencia, ya sean tomados de la propia imagen, y de bibliotecas espectrales. Puesto que esta técnica calcula la dirección relativa entre espectros, tiene la ventaja de ser bastante independiente de las condiciones de

iluminación, ya que estas hacen referencia a la longitud del vector pero no a su posición, y por tanto los ángulos no cambian aunque cambie el albedo (Jensen, 1996; Chuvieco, 1996, 2010).

1.3.6. Evaluación de Precisión

1.3.6.1. Matriz de confusión

Esta matriz es un test sencillo de estadística descriptiva usada para comparar una clasificación resultante con información fehaciente de terreno. Con los datos obtenidos en campo como los de referencia, se realiza esta matriz. En esta matriz las columnas suelen indicar las clases de referencia (reales) y las filas las categorías deducidas de la clasificación. La diagonal de esta matriz expresa el número el número de puntos de verificación en donde se produce el acuerdo entre dos fuentes (mapa y realidad), mientras que los marginales suponen errores de asignación. La relación entre el número de puntos correctamente asignados y el total, expresa la fiabilidad global del mapa. Los residuales en columnas indican tipos de cubierta real que no se incluyeron en el mapa; mientras que los residuales en filas implican categorías del mapa que no se ajustan a la realidad (Jensen, 1996; Chuvieco, 1996, 2010).

1.3.6.2. Índice de Kappa

Es una medida de la exactitud de la clasificación y su varianza es usada, en la comunidad de teledetección, para realizar pruebas estadísticas de diferencias significativas (Hudson y Ramm, 1987, citado por Alarcón, *et al.*, 2010). El índice de kappa refleja la concordancia inter-observador y puede ser calculado en tablas de cualquier dimensión, siempre y cuando se contrasten dos observadores. (Cerdeira, *et al.*, 2008)

1.3.7. Mapa de Pendiente

La pendiente se constituye en uno de los factores que valora el grado de inclinación del substrato litológico en las diversas geoformas. (Tomado y adaptado de Guía Metodológica IIAP de la macro ZEE, Moyobamba (2005) citado por INRENA & ITTO, 2008).

1.3.8. Mapa de Sensibilidad Ambiental

Son mapas con la información esencial para determinar en base a una superposición de capas georreferenciada, la sensibilidad ambiental de una área determinada, frente a una amenaza contaminante, proveniente de una fuente terrestre o marítima. Que a su vez serán insumo para la elaboración de áreas críticas de una determinada zona. (Tomado y adaptado de Martínez, 2008)

1.3.9. Mapa de Áreas Críticas

Un área crítica de manejo para un territorio, es un sitio determinado que demanda una atención o tratamiento especial en forma eventual o permanente por parte de los programas de manejo y/o administración. Pudiendo identificarse a través de diferentes elementos heterogéneos sobresalientes del paisaje, que pueden influenciar positiva o negativamente la planificación y el manejo del territorio (Morales, 2002 citado por Melgar, 2004)

CAPITULO II

MATERIALES Y METODOS

2.1. Descripción del Área de Estudio

La zona de amortiguamiento de la RNTAMB establecida mediante Resolución Jefatural N° 298-2001-INRENA, abarca desde la Comunidad Nativa de Kotsimba hasta el Río Heath y cuenta con una extensión de 186,450 ha. (Plan Maestro Reserva Nacional Tambopata, 2011)

La zona de amortiguamiento del Parque Nacional Bahuaja Sonene – Madre de Dios, fue establecida con Resolución Jefatural N° 298-2001-INRENA, abarca desde el puente Inambari hasta el poblado menor de Santa Rita Baja y cuenta con una extensión de 44, 800 ha. (Tomado y aptado del Plan Maestro del Parque Nacional Bahuaja Sonene, 2003).

2.1.2. Ubicación Política

Cuadro 4. Ubicación política

PROVINCIA	DISTRITO	CAPITAL
Tahuamanu	Iñapari	Iñapari
	Iberia	Iberia
	Tahuamanu	San Lorenzo
Tambopata	Tambopata	Puerto Maldonado
	Inambari	Mazuko
	Las piedras	Planchón
	Laberinto	Puerto Rosario de Laberinto
Manu	Huepetuhe	Huepetuhe
	Madre de Dios	Boca colorado

Fuente: Elaboración propia (2012)

2.1.3. Ubicación Geográfica

El área de estudio se encuentra localizada entre los 13° 7' 0.1376'' y 12° 30' 8.978'' de latitud Sur y entre los 70° 21' 19.3834'' y 68° 39' 13.2985'' de longitud Oeste. El área de estudio representa el 2.73 % de la Región de Madre de Dios (Cuadro 6).

2.1.4. Superficie del Área de Estudio a Nivel Regional

Cuadro 5. Área de estudio

Superficie Área de Estudio (ha)	Superficie de la Región (ha)	Representatividad del Área de Estudio a nivel Regional (%)
231,250	8,458,442.444	2.73%

Fuente: Elaboración propia (2012)

2.1.5. Clima

El clima corresponde a un bosque subtropical húmedo o muy húmedo, con una temperatura media anual de 26°C, fluctuando entre los 7.1°C (Quispe, 2004) y los 38°C (Rasanen, 1993 citado por Plan Maestro RNTAMB, 2011). Las temperaturas bajas están condicionadas por vientos antárticos fríos que llegan en intervalos irregulares a través de los Andes e ingresan a la cuenca del Amazonas. La presencia de vientos fríos, “friaje”, ocurre con mayor intensidad en los meses de junio y julio (Shenck, 1999; GOREMAD & IIAP, 2008).

Las temperaturas máximas llegan a ser de 38°C y se presentan regularmente en los meses de setiembre a octubre. La precipitación anual oscila entre 1,600mm a 2,400mm (Rasanen, 1993 citado por Plan Maestro RNTAMB, 2011).

La precipitación mensual presenta variación a lo largo del año, presentándose meses de lluvias máximas (diciembre a marzo), meses de transición (abril, mayo y octubre, noviembre) y meses de estiaje (junio, julio, agosto y setiembre).

La media mensual de precipitación registrada va desde 50.0 mm (julio) hasta 370.1 mm (diciembre), con una precipitación máxima mensual de 603.6 mm (enero) y una precipitación mínima mensual de 2.6 mm (julio).

La precipitación anual media del período 2002-2006 es de 2381.4 mm, con gran irregularidad en el periodo de registro; la máxima anual (2864.0 mm) se presentó el año 2003 y el valor mínimo anual (1804.3 mm) se presentó el año 2005 (Plan Maestro RNTAMB, 2011).

2.1.6. Hidrografía

La RNTAMB, el PNBS y sus ZA albergan, aunque no en su totalidad, las cuencas de los ríos Tambopata, Malinowsky, Colmena, Pamahuaca, Manuani, Yarinal, Jayave, Chonta y Heath, conformadas por quebradas grandes, medianas y pequeñas que hacen accesible la mayoría de los espacios durante la época de creciente (Plan Maestro RNTAMB, 2011; Plan Maestro PNBS, 2003).

2.1.7. Suelos

Los suelos son ácidos con bajo contenido de materia orgánica, de textura franco arenoso a franco arcilloso arenoso, bien drenados y profundos, presenta de moderado a un alto riesgo de erosión pluvial (IIAP, 2003 citado por Suri, 2008).

2.1.8. Zonas de Vida

Según el Mapa Ecológico del Perú (INRENA, 1994), la Zona de Amortiguamiento de ambas ANPs presenta una zona de vida, Bosque Húmedo Subtropical, Bosque Muy Húmedo Subtropical, Bosque Muy Húmedo Subtropical (Plan Maestro RNTAMB, 2011; Plan Maestro PNBS, 2003).

2.1.9. Tipos de Bosque

La Zona de Amortiguamiento de las dos ANPs en el ámbito de Madre de Dios, presenta 9 tipos de bosque, y 4 agrupaciones (zona deforestada por acción antropogénica, actividades agropecuarias, ríos y lagunas) distribuidos de la siguiente manera (Ver Figura 8).

2.1.10. Tipos de Uso del Área de Estudio

La agricultura es incipiente, con predominio del sistema tradicional migratorio, en seco, con una débil tendencia a la aplicación de tecnologías apropiadas en el sistema agroforestal. Los principales cultivos son: el arroz, maíz amarillo duro, yuca, plátano y leguminosas de grano. La producción es deficitaria para el abastecimiento local (MINAG⁸, 2005 citado por Suri. 2008).

2.2. Materiales

Cuadro 6. Materiales utilizados en la investigación

CODIGO	RUBRO
1	Materiales de campo
1.1	Lapiceros y lápices HB
1.2	Cuaderno de apunte
1.3	Fichas de registros de datos
1.4	Mapas
1.5	Tablero de apuntes
2	Equipos de campo
2.1	GPS ⁹
2.2	Brújula
2.3	Cámara fotográfica
2.4	Clinómetro
2.5	Motocicleta
3	Materiales de escritorio
3.1	Laptop TOSHIBA
3.2	Papel bon A4 80gr
3.3	Papel bon A3 80gr
3.4	Fólder
3.5	Lapiceros y lápices HB
3.6	Tinta de impresora
3.7	Calculadora científica
4	Servicios
4.1	Centro de SIG & Teledetección de la UNAMAD

Fuente: Elaboración Propia (2011)

⁸ Ministerio de Agricultura

⁹ Sistema de Posicionamiento Global

2.3. Métodos

A continuación se presenta en un flujograma, todo el proceso secuencial de pre y procesamiento de las imágenes para la obtención del producto final.

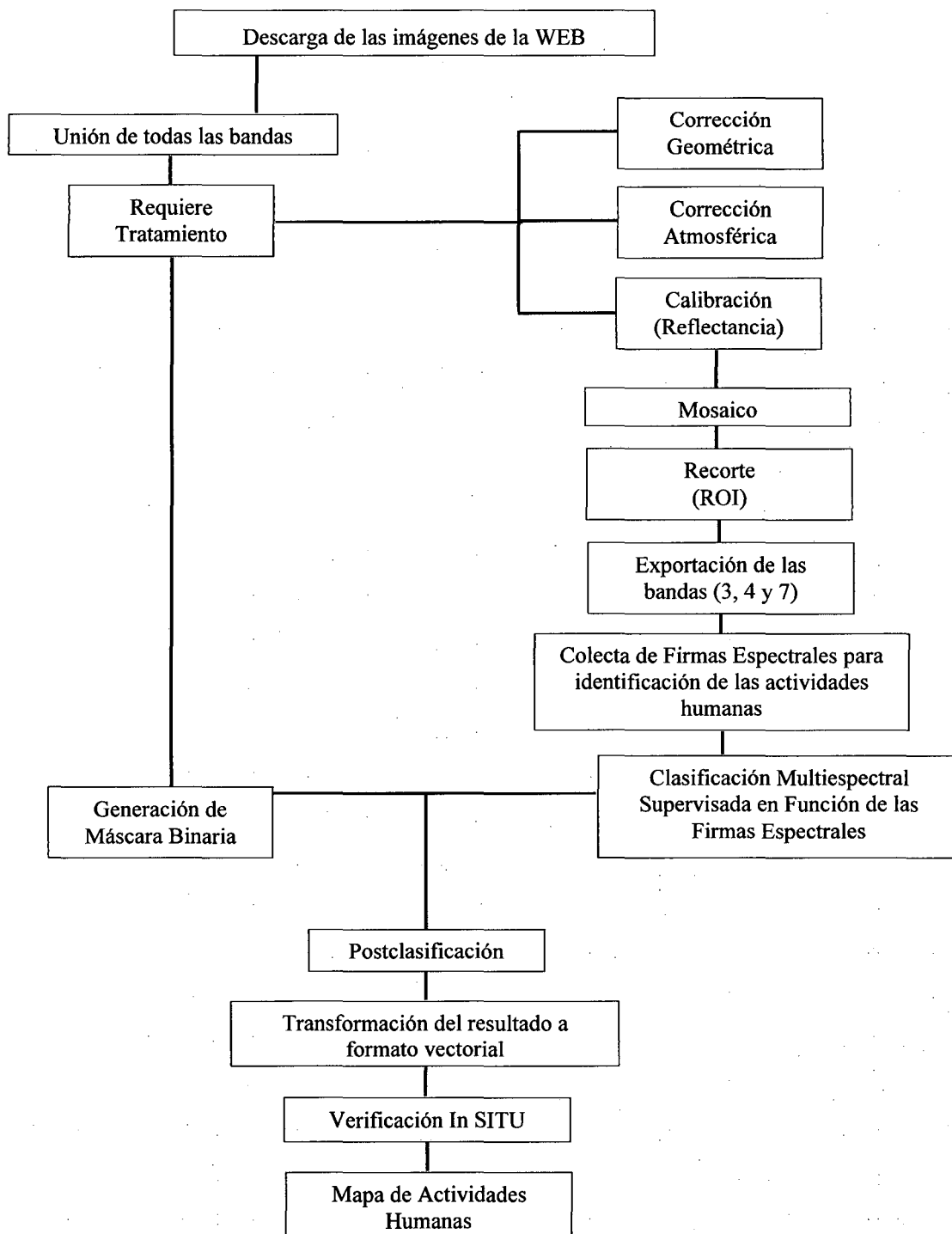


Figura 9. Flujograma del proceso de análisis de las imágenes.
Fuente: Tomado y adaptado del CDC (2002)

Las actividades a realizar serán: Registro, pre procesamiento, clasificación de imágenes satelitales, verificación y estimación de las áreas deforestadas por tipo de actividad humana.

En el pre procesamiento, procesamiento y actividades geoanalíticas espaciales, se utilizarán los software ENVI 4.8®, ArcGis 10®. Para ello se contó con el apoyo del Centro de Teledetección de la UNAMAD.

ArcGis 10® privilegia el trabajo para la creación de mapas, proporcionándoles a los usuarios más facilidad en las etapas de edición, visualización y análisis geográfico. Otra característica importante es que el ArcGis 10® posee un ambiente preparado para el trabajo directo en la Web, basado en el concepto cloud computing (computación en nube). Una nueva interface le permite al usuario administrar las ventanas “dockable”, que pueden ocultarse fácilmente privilegiando, de esta forma, la visualización del mapa. Los menús están mejor estructurados, lo que optimiza la búsqueda de función

Para la realización del presente estudio se utilizará el sistema de Información Geográfica (SIG), la cual se trabajará con la base de datos generados en el año 2010, por AIDER, los archivos del nuevo plan maestro de la Reserva Nacional Tambopata 2011-2016/2008, por el plan maestro del Parque Nacional Bahuaja Sonene 2003-2008 y de otras instituciones que han venido trabajado en la Zonas de Amortiguamiento antes mencionado.

La identificación y delimitación de las unidades de deforestación se realizará con el apoyo de imágenes de satélite LANDSAT TM 5, a través del proceso de interpretación de 2 escenas de imágenes que cubren el área de estudio 003-069 y 002-069 (Ver Figura 10).

Para la validación de los resultados obtenidos en gabinete a través de los programas elegidos, con la finalidad de minimizar los errores de interpretación, se realizará la recolección de las muestras de entrenamiento, con el objetivo de comprobar la veracidad de los patrones establecidos en la interpretación en la imagen. La ubicación de áreas se verificará con la ayuda del GPS y a la vez se tomará las coordenadas de nuevas áreas que servirá para la interpretación en gabinete. Las unidades de las muestras de entrenamiento estarán en función a los resultados obtenidos en el proceso de interpretación de las imágenes, y serán distribuidos al azar por actividades humanas.

2.3.1. Pre Procesamiento de las Imágenes

2.3.1.1. Adquisición de las Imágenes

Para cuantificar los cambios en cobertura y uso del suelo en el período 2011, se utilizarán 2 imágenes satelitales Landsat provistas del Instituto Nacional de Pesquisas del Estado de Brasil que se obtiene gratuitamente desde su página web: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Consultado 15 de Diciembre del 2011.

En resumen de las imágenes seleccionadas se detalla en el cuadro 7:

Cuadro 7. Características de las imágenes utilizadas

Sensor	Landsat TM 5	Landsat TM 5
Escena	Landsat_5_TM_20110827_002_069	Landsat_5_TM_20110903_003_069
Resolución Espacial (Píxel)	30*30 m	30*30 m
Resolución Radiométrica	0-255	0-255
Fecha (día-mes-año)	27/08/2011	03/09/2011
Resolución Espectral	7 bandas	7 bandas

Fuente: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Consultado 15 de Diciembre del 2011

2.3.1.2. Unión de Bandas

Las imágenes cuando son descargadas de la web, vienen en formato *TIFF* y comprimidas (zipeadas). Para ello, es necesario descomprimir las imágenes y con ayuda del software ENVI 4.8®, se empieza con la unión de bandas¹⁰. Para la unión se dirige al menú *File > Save File As > ENVI Standard*; en donde automáticamente el programa pedirá una ruta donde se desea guardarla (Tomado y adaptado de ENVI Tutorial. <http://www.itvis.com/>. Consultado el 20 de Diciembre del 2011).

¹⁰ Solo se trabajara con las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 por razones antes mencionadas

2.3.1.3. Corrección Geométrica

Es un proceso que permite a las coordenadas del mapa ser transferidas a la imagen original, es decir los Valores Digitales de ésta, toman la nueva posición. En simples palabras tiene la finalidad de eliminar las distorsiones geométricas de la imagen y adaptarlas a una proyección cartográfica determinada o lo que se conoce también como un Sistema de Proyección (Fachín, 2008; Chuvieco. 2010).

Existen hasta 3 maneras de ejecutar este proceso: Imagen a Imagen, Imagen a Mapa, Imagen a Mapa y la Imagen a Archivos Digitales (Carta Nacional) (Fachín, 2008). Para lo cual para el presente estudio se utilizará la corrección Imagen a Imagen por poseer una imagen Landsat corregida, facilitada por AIDER.

2.3.1.3.1. Rectificación Imagen a Imagen

Cuando se tiene disponibilidad de imágenes corregidas geométricamente. Es decir, la corrección geométrica se realiza imagen – imagen: Se seleccionan Puntos de Control Terrestre (GCP) que sean identificables en la imagen georreferenciada que se va a emplear como base para la corrección de la imagen original (Fachín, 2008; Chuvieco. 2010).



Figura 11: a) Imagen Georreferenciada; b) Imagen No Georreferenciada
Fuente: Elaboración propia (2012)

2.3.1.4. Corrección Atmosférica

Es el proceso orientado a la eliminación de las alteraciones de la radiancia inducida por la presencia de la atmósfera (Pinilla, 2001). La atmósfera no es transparente a la radiación por composición química y sustancias en suspensión, lo cual genera incremento de brillo, frecuentemente asociado a una reducción del contraste y una disminución de la Reflectancia aparente de algunas superficies.

Entre los principales absorbentes atmosféricos tenemos: Vapor de agua (H_2O), Anhídrido carbónico (CO_2), Oxígeno atómico y molecular (O y O_2), Ozono (O_3) y trazas de otros gases nobles.

Hasta el momento hay cuatro procedimientos para la realizar la corrección atmosférica (King *et al.*, 1999; Robin, 1998; Sobrino, 2000 citado por Chuvieco, 2010):

1. A partir de medidas *in situ*, ya sean referidas a perfiles de la composición atmosférica mediante radiosondeos, y a estimaciones cualitativas del espesor óptico (midiendo, por ejemplo, la visibilidad), o mediante mediciones en terreno de la radiancia solar incidente o de la reflectividad en el terreno. Estos métodos resultan, en general, los más precisos, por cuanto facilitan una medición de las condiciones atmosféricas durante la toma de la imagen, pero rara vez están disponibles.
2. A partir de imágenes de otros sensores, que permitan estimar el estado de la atmósfera en el momento de adquisición de las imágenes. Pese a la gran lógica de este planteamiento: dos sensores, uno mide los objetos de interés, y otro mide la atmósfera cuando se toman los datos, este enfoque resulta bastante novedoso, ya que sólo muy recientemente se han diseñado misiones con esta concepción. Por ejemplo, la plataforma Terra, incluye sensores que miden específicamente el espesor atmosférico (el MISR). simultáneamente a otros orientados a medición de reflectividad o temperatura (como el MODIS). Si bien la resolución espacial de esos sensores no es la misma, la integración entre estos datos resulta muy beneficiosa para obtener productos calibrados de adecuada Habilidad (King *et al.*, 1999). No obstante, todavía hay pocas experiencias prácticas de este planteamiento.

3. A partir de modelos físicos de transferencia radiativa, que suelen basarse en una serie de atmósferas estándar. La exactitud de los modelos dependerá, como es lógico, de la solidez de las asunciones que se realicen y de la similitud entre los perfiles teóricos y las condiciones concretas de la atmósfera cuando se toma la imagen.
4. A partir de datos de la propia imagen. Éste sería, sin duda, el método más operativo, pues no requeriría información externa y facilitaría una corrección completa de los datos.

Las partículas de la atmósfera y las gotitas de las nubes producen la dispersión de la luz del sol. Este fenómeno se conoce como dispersión de *Rayleigh* de la luz del sol en la atmósfera y explica porque el cielo es azul, ya que las partículas en función de su tamaño producen más dispersión en la banda azul del espectro electromagnético. La radiación que llega a la superficie de la tierra (radiación global) se compone de la que llega en forma directa (radiación directa) más la que llega en forma difusa (radiación difusa) (Brizuela *et al.*, 2007)

Para este caso de estudio se realizará por el cuarto procedimiento de corrección atmosférica, la de extraer datos de la misma escena. Es decir se tiene que extraer datos estadísticos de cada una de las bandas de las escenas (Landsat_5_TM_20110827_002_069 y Landsat_5_TM_20110903_003_069).

Estos datos se extraen de los histogramas de cada una de las bandas. Es decir se tiene que anotar el DN¹¹ en el preciso momento cuando la amplitud empieza a ascender. Esto no servirá para eliminar los residuos de vapor de agua.

¹¹ Niveles Digitales y/o Número Digitales

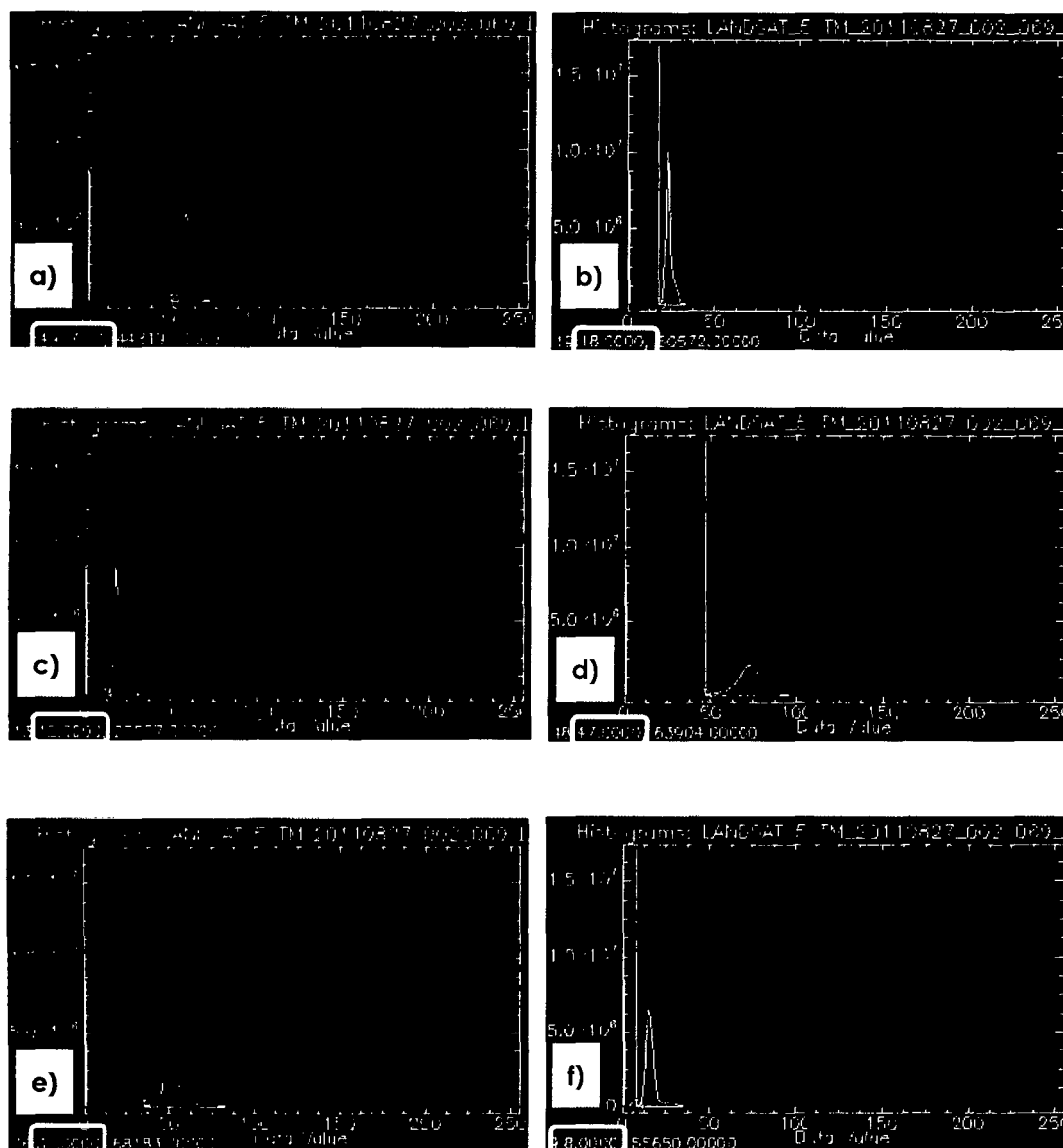


Figura 12. Valores de los Niveles Digitales de la imagen Landsat_5_TM_20110827_002_069 a) Banda 1; b) Banda 2; c) Banda 3; d) Banda 4; e) Banda 5; f) Banda 7
Fuente: Elaboración propia (2012). Metadata de la imagen Landsat_5_TM_20110827_002_069

En resumen para las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 de las escena 002-069 tenemos los siguientes valores de los Niveles Digitales (DN):

Cuadro 8. Valores de los DN

Bandas	DN
1	49.0000
2	18.0000
3	12.0000
4	47.0000
5	35.0000
7	8.0000

Fuente: Elaboración propia (2012). Metadata de la imagen Landsat_5_TM_20110827_002_069

Se realiza estos mismos pasos para la escena Landsat_5_TM_20110903_003_069, donde se obtiene los siguientes datos:

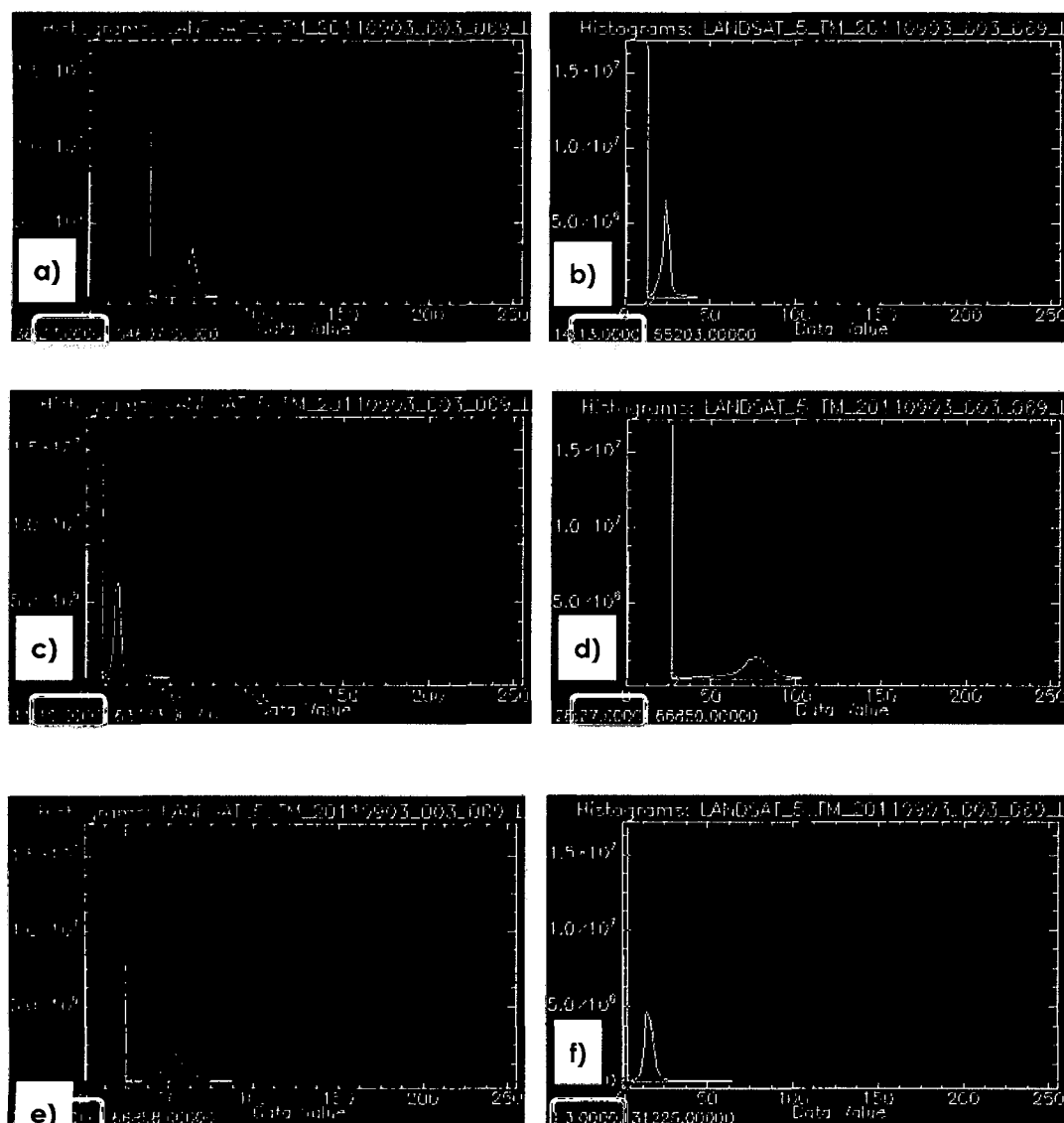


Figura 13. Valores de los Niveles Digitales de la imagen Landsat_5_TM_20110903_003_069; a) Banda 1; b) Banda 2; c) Banda 3; d) Banda 4; e) Banda 5; f) Banda 7
Fuente: Elaboración propia (2012). Metadata de la imagen Landsat_5_TM_20110903_003_069

En resumen para las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 de las escena 002-069 tenemos los siguientes valores de los DN:

Cuadro 9. Valores de los DN

Bandas	DN
1	37.0000
2	13.0000
3	10.0000
4	27.0000
5	25.0000
7	3.0000

Fuente: Elaboración propia (2012). Metadata de la imagen Landsat_5_TM_20110903_003_069

2.3.1.5. Calibración (Reflectancia)

Reflectividad o reflectancia es el cociente entre la energía reflejada y la energía incidente. Los objetos presentan reflexión superficial que combina las dos formas, difusa y especular (Brizuela *et al.*, 2007). No posee unidades al ser un cociente de irradiancias (pero se lo puede expresar en porcentajes (APN & SIB, 2005)).

El procedimiento de corrección de los DN a valores de radiancia se utiliza para generar imágenes de reflectividad o temperatura de la superficie. La información en los DN se encuentra en modo relativo, es decir que a mayor DN mayor reflectividad, pero no es adecuada para comparar bandas o imágenes de distinta fecha. Por el contrario la reflectividad es una variable cuyos valores son comparables para distintos lugares y distintas fechas, esto hace más sólida la interpretación de los datos y el análisis integrado entre imágenes de distintos sensores (Chuvieco, 1996, 2010; Jensen, 2009).

Se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$P_{toa} = \frac{\pi L_{SAT} d^2}{(E_0 \cos \theta_z)}$$

Dónde:

π = Sr (Hipótesis de blanco lambertiano)

L_{SAT} = radiancia total medida por el satélite al tope de la atmosfera ($L_{sat} = DN * gain + offset$)

d^2 = distancia tierra sol en unidades astronómicas, y d se calcula como:

$d = 1 - 0.0167 \cos (2\pi (\text{día juliano} - 3)/365)$

E_0 = irradiancia solar espectral al tope de la atmosfera (watts/m²*um)

θ_z = ángulo cenital solar

Con ENVI, podemos realizar esta conversión directamente teniendo los datos mencionados líneas arriba, estos datos se obtienen en el encabezado (Header) de la escena cuando estos son descargados de la web. **Nota: es muy importante descargar todos los datos que vienen junto a la imagen.**

El día juliano se refiere a los días en el calendario, esta fecha es de la escena cuando ha sido tomado. El Gain y Bias se obtiene de la publicación por Chander y Markhan (2003).

Cuadro 10. Encabezado de la imagen Landsat_5_TM_20110827_002_069

LANDSAT_5_TM_20110827_002_069				
ESCENA	DIA JULIANO	MES	AÑO	ELEVACION DEL SOL (°)
Banda 1	27	Agosto	2011	51.2316
Banda 2	27	Agosto	2011	51.2366
Banda 3	27	Agosto	2011	51.2415
Banda 4	27	Agosto	2011	51.2465
Banda 5	27	Agosto	2011	51.2605
Banda 7	27	Agosto	2011	51.2553

Fuente: Elaboración propia (2012). Metadata de la escena Landsat_5_TM_20110827_002_069

Cuadro 11. Encabezado de la imagen Landsat_5_TM_20110903_003_069

LANDSAT_5_TM_20110903_003_069				
ESCENA	DIA JULIANO	MES	AÑO	ELEVACION DEL SOL (°)
Banda 1	3	Setiembre	2011	53.0839
Banda 2	3	Setiembre	2011	53.0891
Banda 3	3	Setiembre	2011	53.0943
Banda 4	3	Setiembre	2011	53.0995
Banda 5	3	Setiembre	2011	53.1142
Banda 7	3	Setiembre	2011	53.1088

Fuente: Elaboración propia (2012). Metadata de la escena Landsat_5_TM_20110903_003_069

Cuadro 12. Coeficiente de calibración para Landsat 5, en unidades ($W / m^2 \text{ sr } \mu m$)

Banda	Radiancia Espectral, $LMIN_{\lambda}$ y $LMAX_{\lambda}$ en $W/(m^2.sr.\mu m)^{12}$							
	Desde del 1 de Marzo de 1984 hasta antes de 5 de Mayo del 2003				Después del 5 de Mayo del 2003			
	$LMIN_{\lambda}$	$LMAX_{\lambda}$	$G_{rescale}$	$B_{rescale}$	$LMIN_{\lambda}$	$LMAX_{\lambda}$	$G_{rescale}$	$B_{rescale}$
1	-1.52	152.10	0.602431	-1.52	-1.52	193	0.762824	-1.52
2	-2.84	296.81	1.175100	-2.84	-2.84	365	1.442510	-2.84
3	-1.17	204.30	0.805765	-1.17	-1.17	264	1.039880	-1.17
4	-1.51	206.20	0.814549	-1.51	-1.51	221	0.872588	-1.51
5	-0.37	27.19	0.108078	-0.37	-0.37	30.2	0.119882	-0.37
6	1.2378	15.303	0.055158	1.2378	1.2378	15.303	0.055158	1.2378
7	-0.15	14.38	0.056980	-0.15	-0.15	16.5	0.065294	-0.15

Fuente: Chander y Markhan (2003)

2.3.1.6. Mosaico

Un mosaico es un conjunto de dos o más imágenes enlazadas en forma contigua, tal ensamblaje es necesario cuando el área de interés supera el área cubierta por una sola imagen (Fachín, 2008).

2.3.1.7. Recorte de la imagen (ROI)

ROI significa *REGIÓN OF INTEREST*, traducido al español es Región de Interés. El mosaico que se generó de las dos escenas, se tiene que recortar al tamaño del presente estudio, es decir que se tiene que recortar el mosaico con el área de la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja Sonene – Madre de Dios. (Tomado y adaptado de ENVI Tutorial. <http://www.itvis.com/>. Consultado el 20 de Diciembre del 2011)

El área de estudio en el formato mencionado se obtuvo de los planes maestros de ambas ANPs.

¹² Los datos no son iguales antes y después de las fechas indicadas puesto que se ha modificado a partir del 5 de Mayo del 2003, debido a cambios ocurridos en el sistema interno de calibración para determinar el *Gain* y *Offset (Bias)* a aplicarse. (APN & SIB (2005))

2.3.1.8. Exportación de las bandas 3, 4 y 7

Esta exportación quiere decir que se trabajará con esta combinación de colores en R (banda 7), G (banda 4) y B (banda 3). Con esta combinación se procederá a clasificar por razones mencionadas en el Capítulo I. (Fuente: Propia (2012))

2.3.1.9. Colecta de firmas espectrales

La Reflectancia de un objeto o tipo de cubierta a lo largo de todo el espectro electromagnético se denomina firma espectral, estando caracterizado cada objeto por una firma espectral concreta, que lo distingue de los demás. (Chuvieco, 1996, 2010; Jensen, 2009).

Las clases a analizar son Minería, Tumba, Pastizales y Pastizales Remontados. Es decir se tendrá que coleccionar las firmas¹³ de las clases mencionadas.

2.3.1.9.1. Minería

Esta categoría se refiere a suelo desnudo, por acción de la remoción de los mismos por maquinaria pesada, artesanal que están dentro del bosque, orillas de la carretera interoceánica, orillas de los ríos, quebradas y pequeñas cochas, A su vez los que realizan esta actividad son personas con permisos o procesos de derechos para explotar el material aurífero, tienen desde derecho preferencial, título o petitorio (Tomado y adaptado de GOREMAD & IIAP, 2008; Dávila *et al.*, 2009).

2.3.1.9.2. Tumba

Son zonas que anteriormente han sido bosque primario y/o bosque secundario, que por la acción de la agricultura migratoria han sido descremados, para ser utilizados por actividades transitorias como la agricultura, construcción de viviendas, entre otros (Tomado y adaptado de GOREMAD & IIAP, 2008; Dávila *et al.*, 2009).

2.3.1.9.3. Pastizales

Constituye las praderas y tierras de pastoreo que están en actividad. También incluye sistemas con vegetación. La categoría incluye también todos los pastizales de las tierras silvestres a las áreas recreativas, así como los sistemas agrícolas y Silvopastoril. Es

¹³ No hay un límite establecido para el número de colecta de firmas establecidas para una clase en común. (Tomado y adaptado de Chuvieco, 2010)

poco el interés de las familias de realizar como única actividad la ganadería. Sectores más allá de zona de amortiguamiento. Se podría establecer algunos fundos ganaderos que tienen orígenes desde más de dos décadas (Tomado y adaptado de GOREMAD & IIAP, 2008; Dávila *et al.*, 2009; Alarcón, *et al.*, 2010).

2.3.1.9.4. Pastizales Remontados

Constituye praderas y tierras de han sido utilizadas para el pastoreo, es decir que ya no se están utilizando para la actividad ganadera, tienen un buen crecimiento y a su vez están en floración y fructificación, por otra parte, al no ser interrumpidos en su crecimiento, también vienen creciendo especies pioneras por acción de la regeneración natural, como topa, paca, especies forrajeras y otros arbustos (Tomado y adaptado de GOREMAD & IIAP, 2008; Dávila *et al.*, 2009).

2.3.1.10. Generación de Mascara Binaria

Una máscara sirve para aislar un sector de la imagen, definido por un polígono regular y/o irregular, de cara a aplicarle un tratamiento específico (Tomado y adaptado de Chuvieco, 2010; Jensen, 1996).

2.3.1.11. Clasificación multiespectral supervisada en función de las firmas espectrales

En la clasificación multiespectral supervisada, el analista localiza lugares concretos en la imagen de satélite (con ayuda de información de campo e interpretación de fotografías aéreas o por conocimiento propio) que representen ejemplos homogéneos de los tipos de cubierta del suelo a determinar. Estos lugares se suelen denominar “áreas de entrenamiento” porque sus características espectrales se usan para que el algoritmo de clasificación las compare estadísticamente con las de otra parte cualquiera de la imagen. (Jensen, 1996 citado por Díaz ,2007; Chuvieco, 2010).

Para este caso de estudio se utilizará el método de *Spectral Angle Mapper* - SAM.

El clasificador angular (*Spectral Angle Mapper* - SAM) calcula la similitud entre dos espectros a partir de su distancia angular, asumiendo que forman dos vectores en un espacio n-dimensional (siendo *n* el número de bandas disponibles). En síntesis, se trata de un método para comparar espectros desconocidos con otros de referencia, ya sean tomados de la propia imagen, y de bibliotecas espectrales. Puesto que esta técnica

calcula la dirección relativa entre espectros, tiene la ventaja de ser bastante independiente de las condiciones de iluminación, ya que estas hacen referencia a la longitud del vector pero no a su posición, y por tanto los ángulos no cambian aunque cambie el albedo (Chuvieco, 2010).

El algoritmo determina la similitud entre dos espectros calculando el ángulo espectral que los separa (θ):

$$\theta = \arccos \frac{\sum_{k=1,n} \rho_{i,k} \rho_{j,k}}{\sqrt{\sum_{k=1,n} \rho_{i,k}^2} \sqrt{\sum_{k=1,n} \rho_{j,k}^2}}$$

Siendo $\rho_{i,k}$ la reflectividad del píxel i (el espectro objetivo) en una determinada banda k de la imagen, $\rho_{j,k}$ la del espectro de referencia j en la misma banda, y n el número de bandas. El criterio puede utilizarse para comparar pares de espectros determinados, por ejemplo, muestras de suelos con distintos contenidos de materia orgánica, o para asignar un píxel desconocido a una clase de referencia en una clasificación temática. En este caso, el píxel i se asignará a la clase de referencia j con el valor θ más pequeño. Lógicamente, también pueden compararse los cosenos entre vectores, eliminando en la fórmula anterior la necesidad de calcularse arcoseno. Lo habitual para imágenes hiperespectrales es trabajar con valores de reflectividad, pero podrían también emplearse ND escalando la reflectividad como esté oportuno el intérprete, siempre que, como es lógico, tengan la misma métrica los de referencia y los que pretenden clasificar.

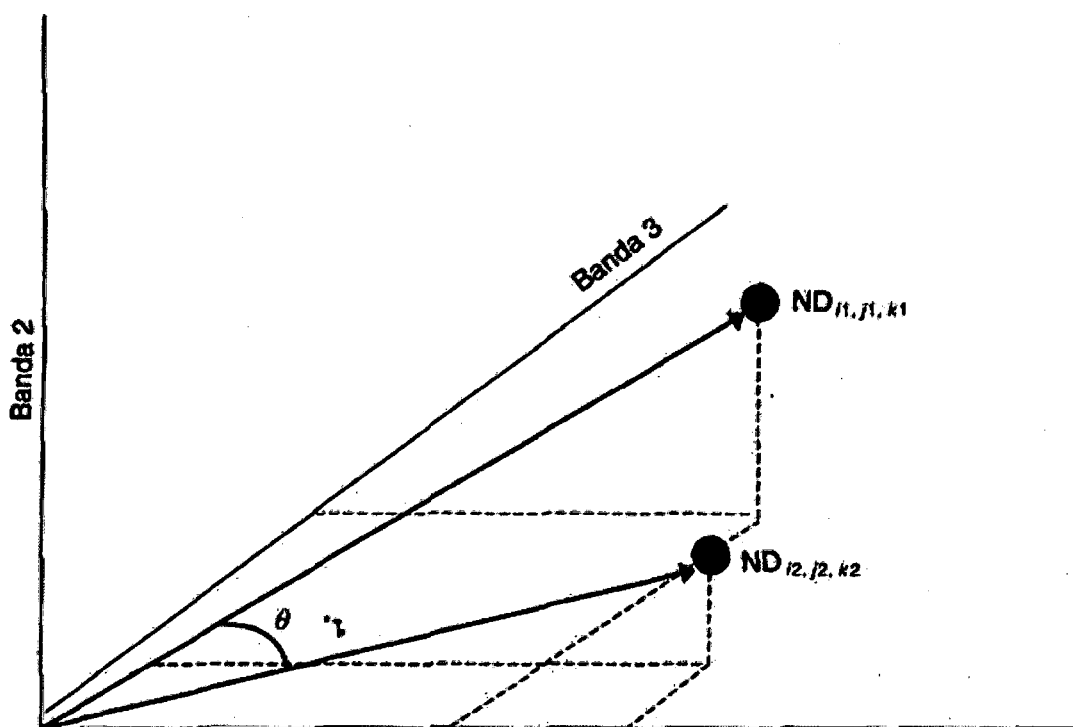


Figura 14. Esquema del Clasificador Angular - SAM
Fuente: Chuvieco (2010)

La figura 14 presenta un esquema del clasificador angular, para un caso sencillo de tres bandas. Aunque se ha desarrollado en el marco del análisis hiperespectral, ésta técnica también puede aplicarse a un menor número de bandas, siendo una alternativa a los clasificadores convencionales. (Chuvieco, 2010)

2.3.1.12. Postclasificación

La Post-clasificación es el método cuantitativo de detección de cambios más comúnmente utilizado. Requiere de la rectificación y clasificación de cada imagen, para luego ser comparados píxel a píxel a través de una matriz de detección de cambios. Desafortunadamente, los errores en la clasificación individual de cada imagen se ven reflejados en la detección final de cambios. (Rutchev and Velcheck, 1994, citado por Jensen, 1996). Por ello es necesario que la clasificación individual de las imágenes sea lo más exacto como sea posible (Augenstein *et al.*, 1991, citado por Jensen, 1996).

2.3.1.13. Transformación del resultado a formato vectorial

Los resultados obtenidos por la Post Clasificación, es necesario exportarlo a formato vectorial de ESRI, es decir a Shapefile, para poder manejar los datos de la manera más fácil en el software ArcGis 10. (Recavarren, 2011).

2.3.1.14. Verificación in SITU

Con la finalidad de minimizar los errores de interpretación, se realizará la verificación in situ, con el objetivo de comprobar la veracidad de los patrones establecidos en la interpretación de la imagen. La ubicación de áreas a verificar se realizará con la ayuda del GPS y formatos en donde se anotarán algunos detalles para su corrección en gabinete (este formato se detalla en los anexos) (Tomado y adaptado de Chuvieco, 2010).

Para saber el número de muestras a coleccionar en campo se utilizará la distribución binomial de probabilidad (Chuvieco, 2010), calculándose el tamaño de muestra mediante la siguiente formula.

$$n = \frac{Z^2 pq}{E^2}$$

Dónde:

Z: Es el valor de la curva normal estandarizada para un nivel determinado de probabilidad

P: indica el porcentaje de aciertos estimado

Q: Indica el porcentaje de errores ($q = 1 - p$)

E: El error permitido

Considerando los porcentajes de acierto y error iguales a 85% y 15%, además del error estándar permisible 10%, para 95% de confianza, la fórmula queda definida en la forma siguiente:

$$n = \frac{((1.96^2) \times 85 \times 15)}{10^2} = 48.98$$

$$n = 49$$

Este resultado nos indica que se debe coleccionar 49 muestras en campo, que serán distribuidos proporcionalmente a las 4 clases mencionadas anteriormente.

2.3.1.15. Mapa de Actividades Humanas

Este último se presentará a continuación en el Capítulo III

1.4. Diseño de la Investigación

Análisis Descriptivo y Explicativo; el primero busca especificar los detalles y características de la imagen satelital, es decir, mide, evalúa o recolecta datos sobre el comportamiento de la unidad mínima de la imagen (píxel). Con respecto al segundo tipo de investigación, tiene como propósito, exponer la relación que existe entre las variables. (Rosales, 2009; Alva, 2009; Calderón *et al.*, 2009)

1.5. Diseño de muestreo

La ubicación de las muestras en campo se realiza de modo al azar, puesto que la ubicación de las clases no está de forma sistemática en campo, por ende aquí el analista tendrá que ubicar los puntos de muestreo en las zonas donde las áreas de interés sean las más representativas para cada clase (Chuvieco, 2010; François *et al.*, 2003).

1.6. Colección de datos en campo

La validación de campo se realizará utilizando el formulario para la muestra de entrenamiento (ME) (ver Anexo) acondicionado por el Centro para el Estudio de Instituciones, Población y Cambios en el Medio Ambiente de la Universidad de Indiana (CIPEC). Al momento de ir a campo se tendrá en claro sobre las fechas de toma de la imagen que es 27 de agosto y 03 de setiembre del 2011 esto es porque las clases de esa fecha ahora puedan verse en terreno en otra clase, por ejemplo la clase “tumba”, que es la acción típica de esas fechas donde se hace el desbosque para fines de agricultura. (Tomado y adaptado de Dávila, 2009; GOREMAD & IIAP, 2008; Chuvieco, 2010).

1.7. Evaluación de precisión

1.7.1. Matriz de confusión

Esta matriz es un test sencillo de estadística descriptiva usada para comparar una clasificación resultante con información fehaciente de terreno. Con los datos obtenidos en campo como los de referencia, se realiza esta matriz. En esta matriz las columnas suelen indicar las clases de referencia (reales) y las filas las categorías deducidas de la

clasificación. La diagonal de esta matriz expresa el número de puntos de verificación en donde se produce el acuerdo entre dos fuentes (mapa y realidad), mientras que los marginales suponen errores de asignación. La relación entre el número de puntos correctamente asignados y el total, expresa la fiabilidad global del mapa. Los residuales en columnas indican tipos de cubierta real que no se incluyeron en el mapa; mientras que los residuales en filas implican categorías del mapa que no se ajustan a la realidad. (Chuvienco, 2010; Jensen, 1996; Alarcón *et al.*, 2011)

1.7.2. Índice de Kappa (k)

Es una medida de la exactitud de la clasificación y su varianza es usada, en la comunidad de teledetección, para realizar pruebas estadísticas de diferencias significativas (Hudson y Ramm, 1987; citado por Alarcón, *et al.*, 2010). El índice e kappa refleja la concordancia inter-observador y puede ser calculado en tablas de cualquier dimensión, siempre y cuando se contrasten dos observadores. (Cerde *et al.*, 2008)

El coeficiente kappa (κ) toma valores entre -1 y +1; mientras más cercano a +1, mayor es el grado de concordancia inter-observador. Por el contrario, un valor de $\kappa = 0$ refleja que la concordancia observada es precisamente la que se espera a causa exclusivamente del azar. La interpretación del coeficiente kappa se realiza correlacionando su valor con una escala cualitativa que incluye seis niveles de fuerza de concordancia (“pobre”, “leve”, “aceptable”, “moderada”, “considerable” y “casi perfecta”), simplificando la comprensión del mismo (Landis & Koch, 1977 citado por Cerda *et al.*, 2008).

Cuadro 13. Valoración del coeficiente kappa

Coeficiente Kappa	Fuerza de la Concordancia
0.00	Pobre (<i>Poor</i>)
0.01 - 0.20	Leve (<i>Slight</i>)
0.21 - 0.40	Aceptable (<i>Fair</i>)
0.41 - 0.60	Moderada (<i>Moderate</i>)
0.61 - 0.80	Considerable (<i>Substantial</i>)
0.81 - 1.00	Casi perfecta (<i>Almost perfect</i>)

Fuente: Landis & Koch, 1977 citado por Cerda *et al.*, 2008

El coeficiente kappa se halla mediante la siguiente fórmula (Landis & Koch, 1977 citado por Cerda *et al.*, 2008):

$$k = \frac{[(\sum \text{Concordancias observadas}) - (\sum \text{Concordancias atribuibles al azar})]}{[(\sum \text{Total de observaciones}) - (\sum \text{Concordancias atribuibles al azar})]}$$

Dónde:

$$\Sigma \text{Concordancias atribuibles al azar} = \frac{\text{Número de acuerdos}}{\text{Número de desacuerdos} + \text{Número de desacuerdos}}$$

1.8. Mapas de pendiente

La pendiente se constituye en uno de los factores que valora el grado de inclinación del substrato litológico en las diversas geoformas. (Tomado y adaptado de Guía Metodológica IIAP de la macro ZEE, Moyobamba, 2005 citado por INRENA & ITTO, 2008).

La herramienta “Slope” o PENDIENTE del ArcGis 10®, permite calcular la tasa máxima de cambio existente entre los valores de una celda y los valores de las celdas inmediatamente aledañas a ella. Esto significa que esta herramienta es capaz de identificar los valores de inclinación para cada una de las celdas analizadas, las cuales son tomadas a partir de un Ráster de Superficie. Conceptualmente la función “Slope” ajusta a un plano, los valores Z de un conjunto de celdas aledañas de 3 por 3 que rodean a la celda proceso ubicada en su centro. La dirección del plano a calcular representa la orientación de la ladera de la celda y por lo tanto la inclinación o pendiente que esta tenga. A menor pendiente, más plano el terreno. Mientras que a mayor pendiente, mayor es la inclinación del terreno. El Ráster de pendiente puede ser calculado para dos tipos de unidades. Grados Sexagesimales (0° a 360°) y porcentaje (0 a 100%). La pendiente en porcentaje equivale a dividir la elevación por la distancia y multiplicar su resultado por 100 (Tomado y adaptado de Santiago, 2006).

Para elaborar el mapa de pendiente se tomará como insumo los datos generados por el IGN es decir las curvas de nivel con sus respectivas cotas de la carta nacional (Tomado y adaptado de Santiago, 2006).

1.9. Mapas de sensibilidad ambiental

Son mapas con la información esencial para determinar en base a una superposición de capas georreferenciada, la sensibilidad ambiental de una área determinada, frente a una amenaza contaminante, proveniente de una fuente terrestre o marítima. Que a su vez

serán insumo para la elaboración de áreas críticas de una determinada zona (Tomado y adaptado de Martínez, 2008).

Para llegar al mapa de sensibilidad ambiental, se tomará como insumo el mapa de pendientes, mapa hidrográfico (de la carta nacional) y el mapa de cobertura vegetal (facilitada por AIDER). El mapa de sensibilidad ambiental se calificará en los rangos Alto, Medio y Bajo (Tomado y adaptado de Guía Metodológica IIAP de la macro ZEE, Moyobamba, 2005 citado por INRENA & ITTO, 2008).

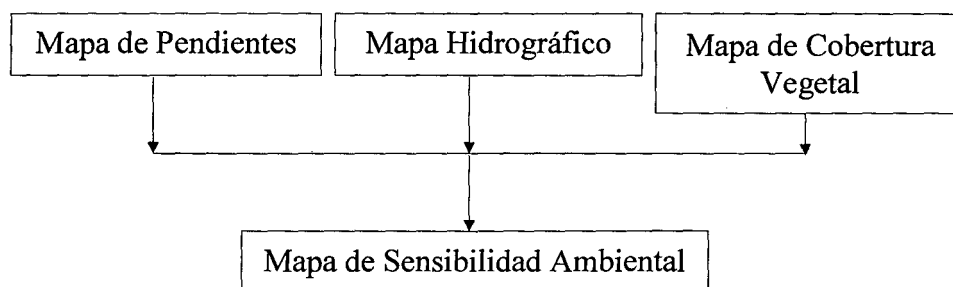


Figura 15. Modelo del Mapa de Sensibilidad Ambiental.

Fuente: Tomado y adaptado de Guía Metodológica IIAP de la macro ZEE, Moyobamba, 2005 citado por INRENA & ITTO, 2008

1.10. Mapa de áreas críticas

Un área crítica de manejo para un territorio, es un sitio determinado que demanda una atención o tratamiento especial en forma eventual o permanente por parte de los programas de manejo y/o administración. Pudiendo identificarse a través de diferentes elementos heterogéneos sobresalientes del paisaje, que pueden influenciar positiva o negativamente la planificación y el manejo del territorio (Morales, 2002 citado por Melgar, 2004).

Un mapa de áreas críticas se determinará mediante el cruce de mapas, el grado de sensibilidad de una zona con las deficiencias, en este caso ya se cuenta con la el problema que es la deforestación (Tomado y adaptado de Melgar, 2004).

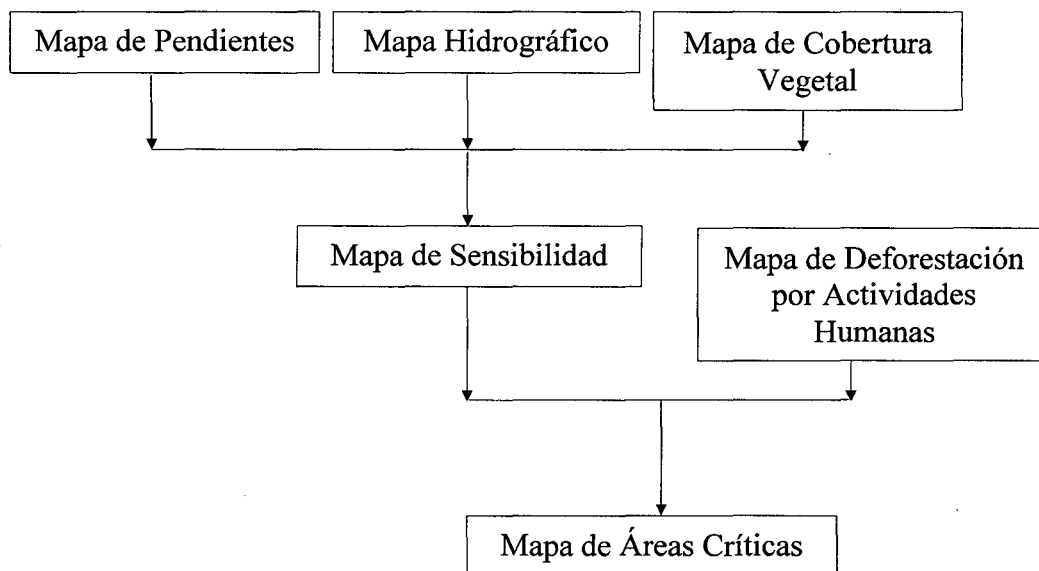


Figura 16. Modelo del Mapa de Áreas Críticas.

Fuente: Tomado y adaptado de Guía Metodológica IIAP de la macro ZEE, Moyobamba, 2005 citado por INRENA & ITTO, 2008

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Corrección Geométrica

La georreferenciación de las imágenes satelitales se realizó con el Software ENVI 4.8®, las imágenes fueron registradas a la proyección UTM Elipsoide de 1984, Datum WGS 84, Huso 19, Zona Sur. Para la corrección geométrica de las imágenes, se utilizó como base, la imagen Landsat ortorrectificada facilitada por AIDER (2010).

Para ello se cumplió el requisito de un error medio cuadrático del orden de medio a un cuarto de píxel, condición fundamental al momento de realizar comparaciones píxel a píxel entre imágenes satelitales multitemporales. El Cuadro 14 indica los parámetros de georreferenciación alcanzados con cada imagen.

Cuadro 14. Parámetros de Georreferenciación de las escenas 002-069 y 003-069

DETALLE	ESCENA 002-069	ESCENA 003-069
Información de referencia	Imagen ortorrectificada de AIDER	Imagen ortorrectificada de AIDER
Orden del polinomio ajustado	2°	2°
Puntos de control	67	51
RMS total	0.67	0.48
Píxel	30*30	30*30

Fuente: Elaboración propia (2012)

3.2. Corrección Atmosférica

Las inestables condiciones de observación, las condiciones atmosféricas o la calibración del sensor, se convierten en un importante problema en la detección digital de cambios, ya que la signatura espectral en un píxel se ve modificada aunque se mantenga constante la cubierta (Chuvieco, 1996, 2010; Chávez, 1975, 1988, 1989, 1991, 1996).

Esta corrección se realizó tomando los datos mencionados en el Capítulo II (2.3.1.4), la cual menciona que se debe realizar banda por banda (ver Cuadro 9 y 10)

3.3. Calibración (Reflectancia)

La reflectancia espectral incorpora el ángulo del sol, la distancia sol - tierra, y la radiancia calibrada (Chuvieco, 1996, 2010; Jensen, 1996).

Para este proceso se utilizó los datos que están en el capítulo II (2.3.1.5).

Minería

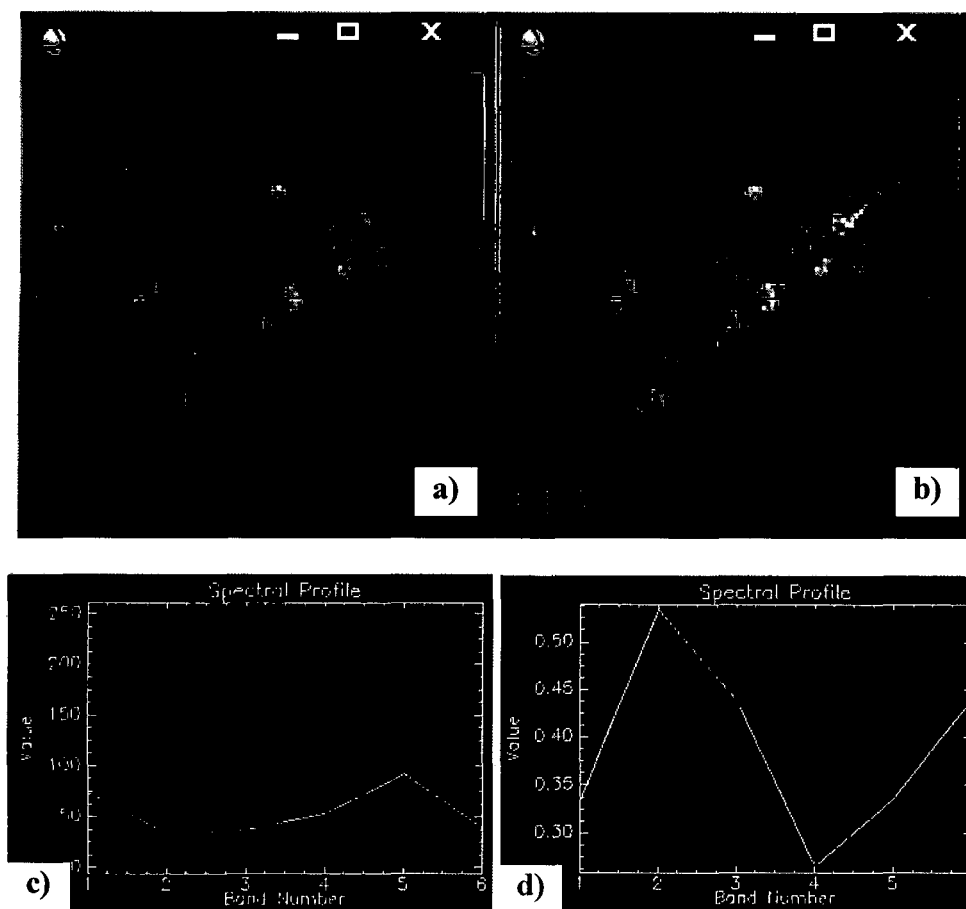


Figura 17. a) imagen cruda que viene tal cual como se ha descargado de la web y que representa una zona minera en la zona de estudio; c) firma espectral de “a”; b) imagen tratada y convertida en reflectancia; d) firma espectral de “b”. Se observa un cambio no solo visual entre “a” y “b” sino también entre sus firmas espectrales (“c” y “d”). Se observa un incremento en la banda 7 de la figura “c” (Nota: lo que aparece en el histograma (“c” y “d”) como banda 6, es en realidad la banda 7, sino que el programa lo ordena numéricamente sin saltarse), ya que este es el que discrimina mejor los suelos desnudos a diferencia de la firma espectral de la figura “c”. En la figura “d”, banda 4, se observa que no hay presencia de vegetación en esa área, puesto que como se sabe la banda 4 es la que discrimina pigmentos como la clorofila, y que a su vez esto es certero puesto que en la zona minera toda la vegetación es destruida, mientras que en la figura “b”, muestra que hay presencia de vegetación, lo cual es poco creíble. En la banda 3 que es el espectro visible, se muestra que se tiene presencia de agua en ambos tanto en “c” y “d” de las firmas espectrales, lo cual es aceptable puesto que en la zona minera se

trabaja necesariamente con agua (Tomado y adaptado de Chuvieco, 2010; Samaniego, 2008; GOREMAD & IIAP, 2008).

Pastizales

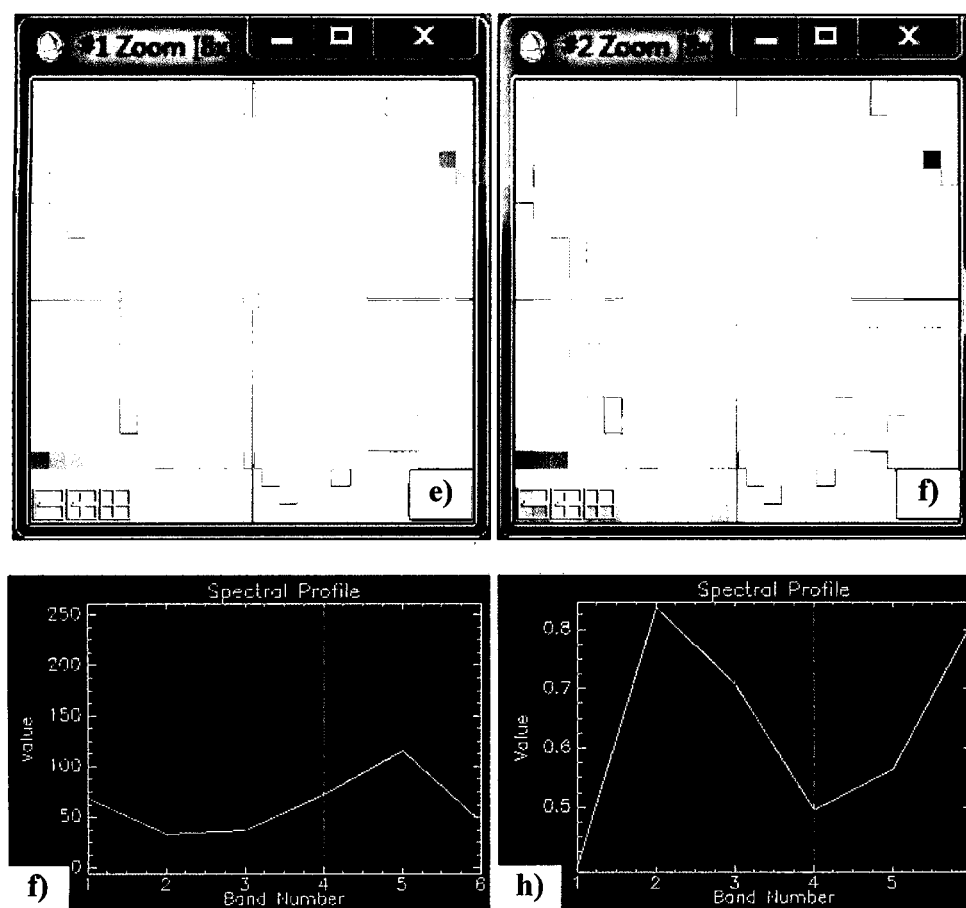


Figura 18. e) imagen cruda que viene tal cual como se ha descargado de la web y que representa una zona donde se realiza la actividad pecuaria (pastizales) en el área de estudio; g) es la firma espectral de “e”; f) es la imagen tratada y convertida en reflectancia; h) firma espectral de “f”. Se observa un cambio total en las firmas espectrales (“g” y “h”). En el caso de la firma espectral “h”, la banda 7, discrimina también suelos desnudos, esto es porque, los pastizales no cubren en su totalidad el suelo, siempre dejan pequeñas áreas descubiertas y esto hace que el sensor los detecte. En la banda 4 de “g” y “h”, se observa que hay discriminación de vegetación, lo cual es correcto por contar la presencia de pastos (clorofila, entre otros). Y la banda 3 también se observa que hay presencia de agua, pero ésta está contenida en la misma vegetación y/o también cuando hay transpiración de las mismas (Tomado y adaptado de Chuvieco, 2010; Samaniego, 2008; GOREMAD & IIAP, 2008).

Tumba

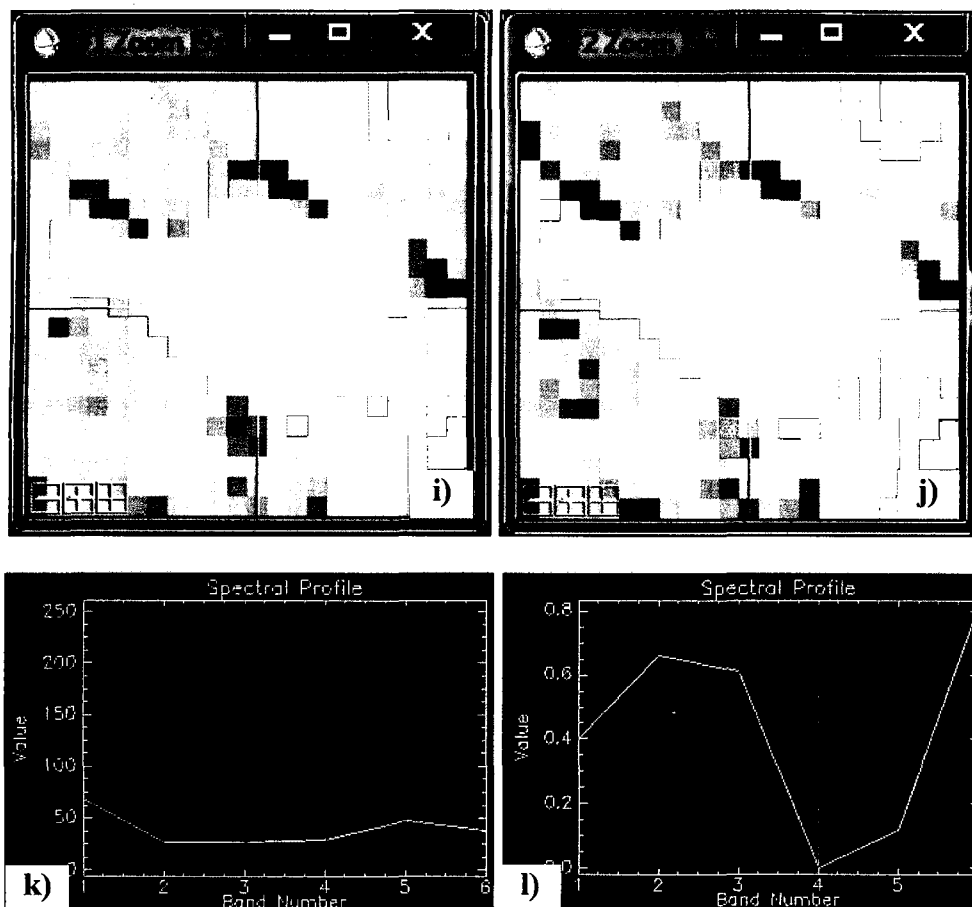


Figura 19. i) imagen cruda que viene tal cual como se ha descargado de la web y que representa una zona donde se ha realizado la tumba de la cobertura boscosa para la actividad agrícola en el área de estudio; k) firma espectral de la figura “i”; j) imagen tratada y convertida en reflectancia; l) firma espectral de la figura “j”. En la figura “k”, se observa como si todo fuera homogéneo, es poco creíble, puesto que la actividad de tumba de la cobertura boscosa ya sea en bosque secundario y/o bosque primario, los pigmentos de la hoja mueren, es decir en la banda 4 no debería haber incremento de la longitud de onda. En la figura “l”, se observa que en la banda 4, si detalla que no hay presencia de vegetación lo cual es certero, y un incremento de la banda 7 que discrimina suelos desnudos, lo cual es óptimo puesto que si quitáramos un techo de hojas, quedaría descubierto lo que hay debajo, en este caso el suelo (Tomado y adaptado de Chuvieco, 2010; Samaniego, 2008; GOREMAD & IIAP, 2008).

Pastizales Remontados

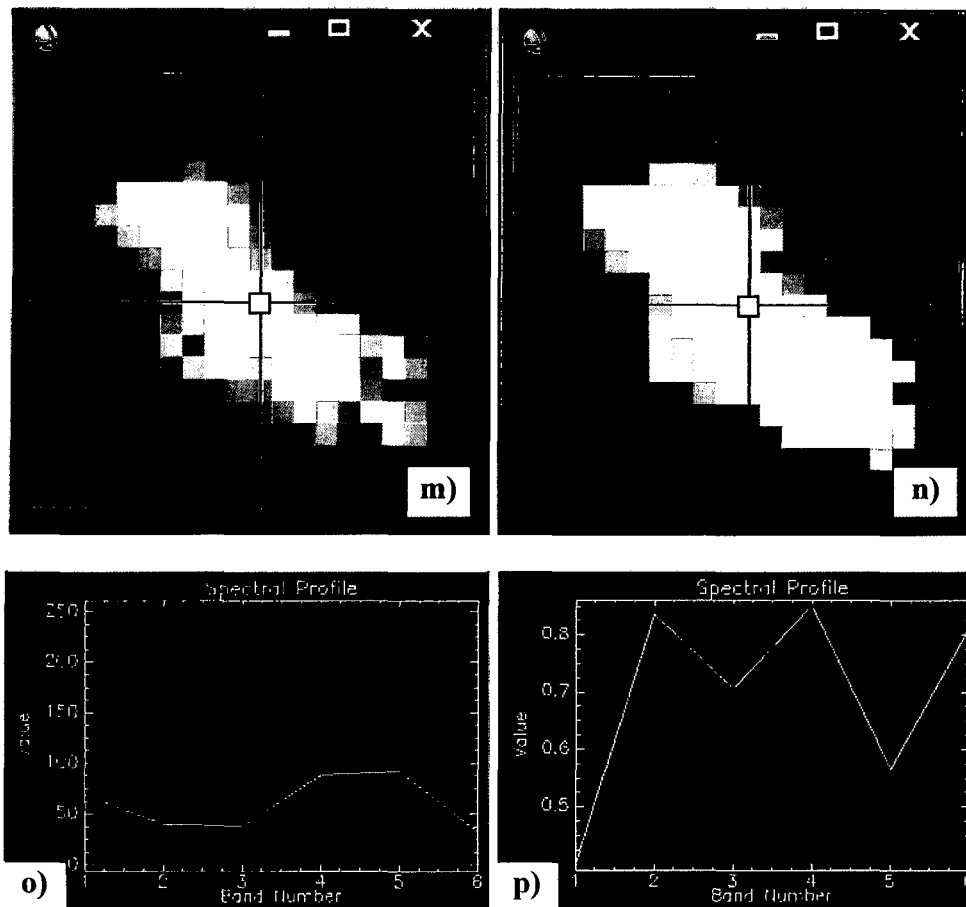


Figura 20. m) imagen cruda que viene tal cual como se ha descargado de la web y que representa una zona donde se ha realizado la actividad pecuaria, pero que actualmente esos pastizales no se utilizan para dicha actividad, por ende la vegetación está en estadio de floración y fructificación y en peor de los casos están en transición de pastizales a purma; o) firma espectral de la figura “m”; n) imagen tratada y convertida en reflectancia; p) firma espectral de la figura “n”. En la figura “p”, se observa como si las longitudes de ondas estuviesen en desorden y se podría pensar que esto es un error, pero no es así. Como es un área de pastos con presencia de purma o bosque secundario que recién está emergiendo, los pigmentos de la planta se van renovando constantemente puesto que están en pleno crecimiento, es decir que se tiene una vegetación vigorosa, es por eso que en la banda 4 se diferencia la discriminancia de vegetación. En la banda 7, aun discrimina suelos, esto es porque esta zona está asociado con pastos, y como se vio líneas arriba los pastos no cubren en su totalidad el suelo, es por eso que la banda 7 aun lo reconoce. Y la banda 3 que detalla que ve presencia de agua que está contenido en la

vegetacion vigorosa asi como tambien en la evapotranspiracion de las mismas (Tomado y adaptado de Chuvieco, 2010; Samaniego, 2008; GOREMAD & IIAP, 2008).

3.4. Delimitación del área de estudio

El área de estudio se encuentra localizada entre los 13° 7' 0.1376'' y 12° 30' 8.978'' de latitud Sur y entre los 70° 21' 19.3834'' y 68° 39' 13.2985'' de longitud Oeste. El área de estudio representa el 2.73 % de la Región de Madre de Dios

Para la delimitación del área, se utilizó la cobertura vectorial desarrollada por el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP). La misma que permitió el corte espacial de las imágenes del año 2011.

La importancia de determinar el cambio de cobertura boscosa en la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja Sonene – Madre de Dios (área de estudio), se fundamenta, porque es que es una de las zonas que fundamenta su economía en la extracción aurífera, forestal, agrícola, ganadería, en suelos con limitaciones físicas y químicas, razones por las que la zona minera y agrícola se encuentra en progresivo avance hacia zonas de vegetación de las ANPs, iniciándose un proceso de cambio de cobertura y pérdida del hábitat para especies locales. Este proceso no podrá ser modificado a menos que se realicen estudios sobre la magnitud del cambio de cobertura y uso de las tierras en el área de influencia, como punto inicial de una planificación integrada para el uso sostenible de los recursos naturales (GOREMAD & IIAP, 2008).

3.5. Generación de la máscara binaria

El concepto de imagen máscara también aparece en la literatura especializada como imagen binaria. Consiste en una imagen que contiene sólo valores “1” y “0”. Su utilidad es seleccionar en otras imágenes, solamente las áreas que al usuario le interesa analizar (Fariás & Núñez, 2005).

Con el fin de aislar zonas de la imagen, donde no quiere que se considere, se aplicará una máscara sobre la imagen a clasificar, mediante el uso del software ENVI 4.8 ®.

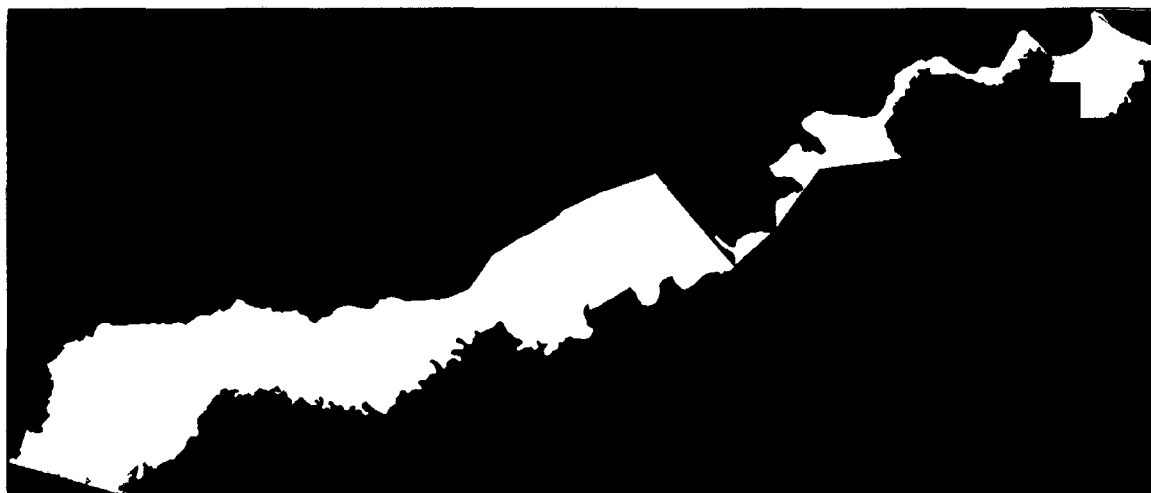


Figura 22. Máscara del área de estudio.
Fuente: Elaboración propia (2012)

3.6. Definición de las categorías de uso del suelo y de las firmas espectrales

Las clases definidas para la clasificación digital supervisada de las imágenes, se definieron las siguientes categorías de uso del suelo: Minería, Pastizales, Pastizales Remontados y Tumba.

3.7. Selección de áreas de entrenamiento

El cálculo de área cartografiada consignó a la utilización de 49 puntos, las cuales fueron calculadas por el método de distribución binomial de probabilidad propuesta por Chuvieco, 2010; Jensen, 1996. Para la estratificación de los puntos se utilizó el método de proporcionalidad propuesto por Díaz (2007). Donde las clases más abundantes en el área serán evaluadas con un mayor número de puntos y las clases menos representativas con un menor número.

Cuadro 15. Distribución de muestra por clase

CLASE	PUNTOS
Pastizales Remontados	19
Minería	16
Pastizales	10
Tumba	4
TOTAL	49

Fuente: Elaboración propia (2012)

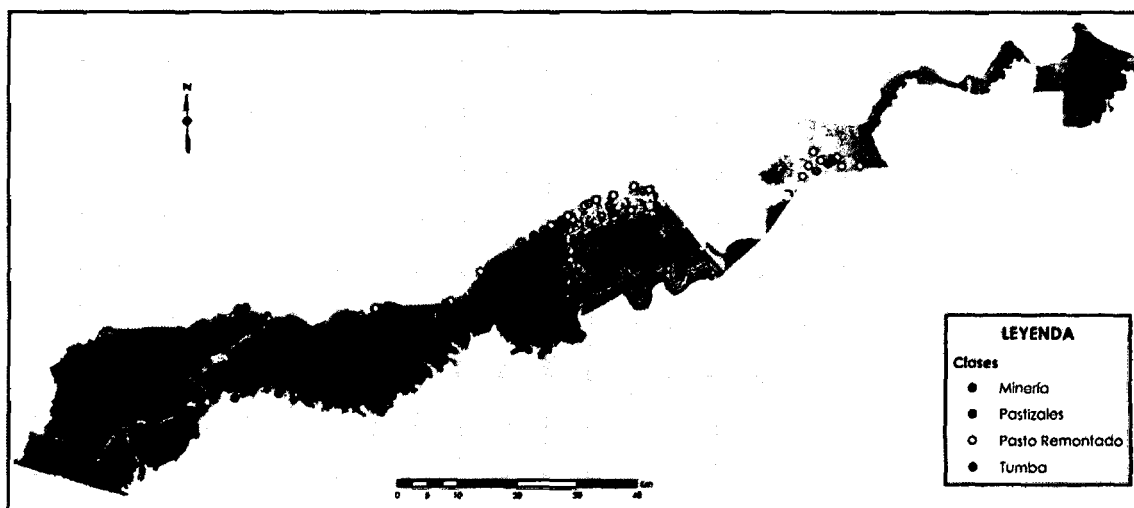


Figura 23. Distribución de los puntos de muestreo.
Fuente: Elaboración propia (2012)





3.8. Clasificación Multiespectral Supervisada: determinación de la deforestación

A las imágenes Landsat, correspondientes a las fechas indicadas, se le aplicó una clasificación multiespectral supervisada de clasificador angular (SAM). Las clases consideradas fueron: minería, pastizales, pastizales remontados y tumba.

La figura 25, muestra el resultado de la clasificación aplicada a la imagen Landsat TM 5 (2011). Hasta el año de estudio se tiene un total de 22,366.36 ha deforestadas en la Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja Sonene – Madre de Dios.

Las clase más representativa es la de Pastizales remontados con un área de 9,113.22 ha que representa el 40.71% del total, Minería con 7,178.50 ha que representa el 32.10% del total, pastizales con un área de 4,631.49 que representa el 20.71% del total, la clase Tumba es la que reportó menor representatividad con 1,443.15 ha con 5.45% del total.

Cuadro 16. Cantidad de hectáreas deforestadas por actividades humanas





Clases	Color	ha	%
Minería		7, 178. 50	32.10
Pastizales		4, 631. 49	20.71
Pastizales Remontados		9, 113. 22	40.75
Tumba		1, 443. 15	5.45
Total		22, 366. 36	100

Fuente: Elaboración Propia (2012)

3.9. Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata

En esta zona reportó a la clase “pastizales remontados” como la más representativa con 8, 821. 59 ha seguida de “pastizales” con 4, 503. 71 ha, “minería” con 4, 273. 43 ha, la clase tumba con 1, 406. 55 ha. De los resultados se asume que la clase “tumba” tiene una menor presencia en esta zona, debido al ciclo de vida de la agricultura migratoria.

Cuadro 17. Cantidad de hectáreas deforestadas por actividades humanas en la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata

Clases	Color	Ha
Minería		4, 273. 43
Pastizales		4, 503. 71
Pastizales Remontados		8, 821. 59
Tumba		1, 406. 55
Total		19, 005. 28

Fuente: Elaboración propia (2012)

El estudio, demuestra una disminución de cobertura boscosa y un aumento de áreas desboscadas producto de actividades que se vienen generando, una de las principales actividades causantes de la pérdida de cobertura boscosa es la minería aurífera informal y formal. Estos cambios se muestran en el margen izquierdo de la carretera Puerto Maldonado – Cusco, específicamente en el km 103 – 123, en el sector de la quebrada Jayave, río Manuani, Quebrada Guacamayo Grande y orillas del río Malinowsky, ésto, como resultado de los impactos directos e indirectos de la construcción de la carretera interoceánica y por los altos precios de la extracción del oro (Dourojeanni, 2006; GOREMAD & IIAP, 2008).

ACCA en su estudio realizado en la Reserva Nacional Tambopata y su zona de amortiguamiento (2011), sostiene que la principal causa de la deforestación, es la actividad minera, reportando 1, 583. 02 ha deforestadas, sin embargo al comparar con el presente estudio se observa un desfase de 2, 690. 41 ha, esto debido a las diferentes metodologías de clasificación (algoritmos, conversión de DN a Reflectancia, etc.), y verificación o validación de los resultados en campo (Chuvieco, 2010; Jensen, 1996).

Por otro lado, Alarcón *et al.*, (2011), en su estudio en el distrito de Inambari en los años 2000 - 2009, utilizando dos métodos, sin mejoramiento espectral (6, 931,541 ha) y con mejoramiento espectral (7, 641,50 ha), manifestando que el principal causante de la

deforestación, es la actividad minera, sin embargo, no especifica cuanto es la extensión devastada por ésta acción.

Rosales (2008), en su estudio en el tramo El Castañal – Santa Rosa (carretera Puerto Maldonado –Cusco), manifiesta que el principal agente de la deforestación es la actividad agropecuaria debido al considerable aumento de purmas, seguido de las redes viales, minería y la extracción forestal tradicional legal e ilegal. No obstante el presente estudio demuestra, que al año 2011, la actividad minera se ha convertido en uno de los principales agentes de la deforestación y como menores los pastizales y la tumba de cobertura boscosa para la actividad agrícola.

El CDC de la UNALM (2002), realizó un estudio de deforestación en el año 2000, en la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata y en toda la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Bahuaja Sonene, encontrando un total de 147 ha por minería, mientras que el presente estudio encontró en la clase minería 7,178.50 ha al 2011. Donde hay una diferencia de 7,031 ha. Esto debido principalmente al tiempo de desfase de 10 años y otras por las diferencias sobre la metodologías en el análisis de las imágenes y porque en el informe no se menciona el proceso de verificación en campo. Del mismo modo observamos que la minería se ha vuelto una de las potenciales actividades que causan la deforestación y degradación del suelo por lo que debe monitoreada como estrategia para la protección y conservación de las áreas naturales protegidas colindantes.

3.10. Zona de Amortiguamiento del Parque Nacional Bahuaja Sonene – Madre de Dios

Esta zona presenta una diferencia total con respecto a la Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata. Siendo la clase minería la más representativa con un total de 2, 877. 89 ha, pastizales remontadas con 142.77 ha, pastizales con 14.21 ha y la clase tumba con 4.59 ha.

Cuadro 18. Cantidad de ha deforestadas por actividades humanas en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Bahuaja Sonene, Madre de Dios, Perú.

Clases	Color	ha
Minería		2,877.86
Pastizales		14.21
Pastizales Remontados		142.77
Tumba		4.59
Total		3,039.43

Fuente: Elaboración propia (2012)

El CDC de la UNALM (2002) obtuvo una deforestación por minería de 79 ha al año 2000. Para el presente estudio se reportó 2,877.86 ha, esto debido a una diferencia de tiempo y espacio en el procesos de análisis de las imágenes. En 11 años se ha deforestado 2, 798.86 ha. Determinándose por año 254.44 ha deforestadas por esta clase. Asimismo, En el año 2000 esta actividad no era visible en esta zona, situación que ha variado debido al incremento de la demanda del oro a nivel nacional e internacional.

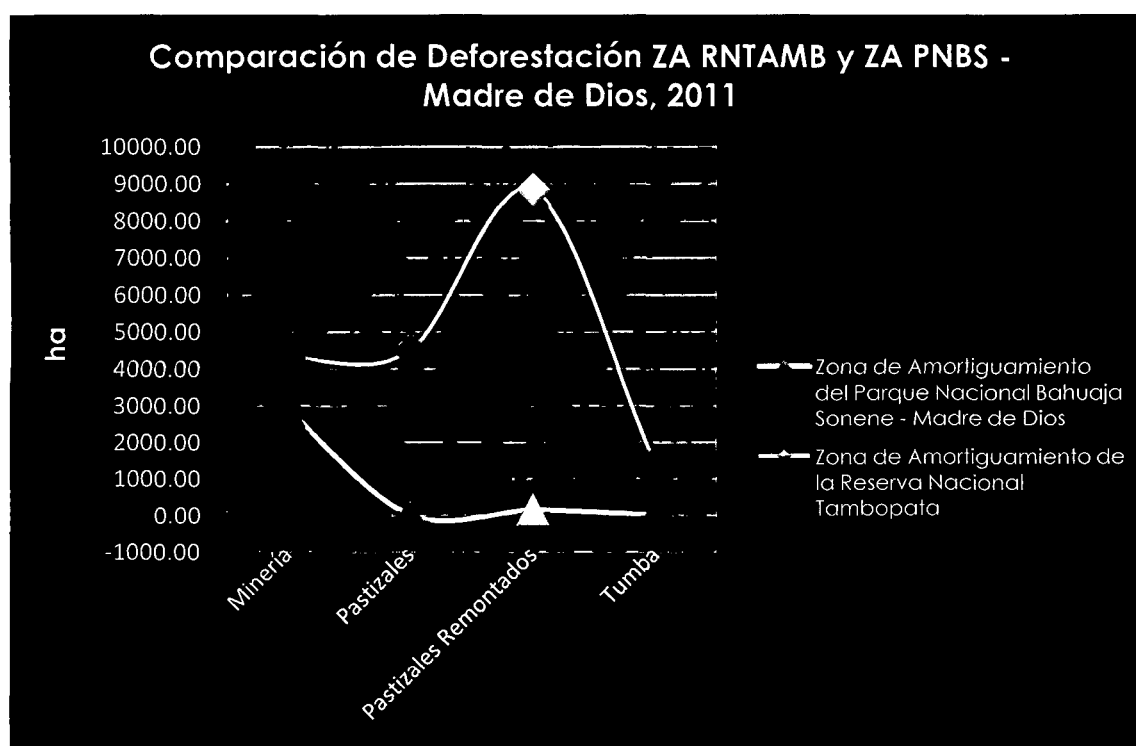


Figura 24. Superficie de la deforestación 2011.

Fuente: Elaboración propia (2012)

En la Figura 24. Se observa las diferencias encontradas entre ambas zonas, siendo la ZA de la RNTAMB la más representativa en todas sus clases. No obstante podemos deducir que la clase “minería” en la ZA RNTAMB y ZA PNBS - MDD posee una diferencia de

1,395.67 ha, sin embargo se debe considerar que la ZA PNBS MDD reporta una menor área dentro del departamento de Madre de Dios.

El estudio diferencia un cambio en cuanto al tipo de actividad humana desarrollada entre ambas zonas. En la ZA RNTAMB se observa que la clase más representativa son “pastizales remontados” pero en la ZA PNBS – MDD la clase más representativa es la clase “minería”.

3.11. Evaluación de precisión

3.11.1. Matriz de Confusión

Con los datos obtenidos en campo como los de referencia (imagen), se realiza esta matriz. Las columnas indican las clases de referencia (reales) y las filas las categorías deducidas de la clasificación. La diagonal de esta matriz expresa el número de puntos de verificación en donde se produce el acuerdo entre dos fuentes (mapa y realidad), mientras que los marginales indican errores de asignación. Los residuales en columnas indican tipos de cubierta real que no se incluyeron en el mapa; mientras que los residuales en filas implican categorías del mapa que no se ajustan a la realidad (Chuvieco, 2010; Jensen, 1996).

Para el estudio, en el cuadro 20, la diagonal (de izquierda a derecha 18, 14, 8 y 3) expresa las muestras de entrenamiento (ME) que reportan el acuerdo imagen y mapa. En cambio los residuales de columna (de arriba hacia abajo 1; 1; 1, 1, 1; 1, 1) no han sido considerados en el mapa, así mismo los residuales en fila (de izquierda a derecha 1; 1; 1, 1, 1; 1) son falsos verdaderos. La relación entre el número de puntos correctamente asignados y el total, expresa la fiabilidad global del mapa.

Cuadro 19. Matriz de Confusión para el año de estudio

CLASIFICACION	DATOS DE REFERENCIA			
	Pastizales Remontados	Minería	Pastizales	Tumba
Pastizal Remontado	18	0	1	0
Minería	0	14	0	1
Pastizales	1	1	8	1
Tumba	0	0	1	3
TOTAL COLUMNA	19	15	10	5

Fuente: Elaboración Propia (2012)

Cuadro 20. Precisión de los resultados para el año de estudio

CLASIFICACION	Referencia	Clasificados	Número	Productores (Omisión)	Usuarios (Comisión)
	Totales	Totales	Correcto	Precisión (%)	Precisión (%)
Pastizal Remontado	19	19	18	94.74	94.74
Minería	15	15	14	93.33	93.33
Pastizales	10	11	8	80.00	72.73
Tumba	5	4	3	60.00	75.00
TOTAL	49	49	43		
PROMEDIO					83.95

Fuente: Elaboración propia (2012)

En el cuadro 21 se observa el resultado de la matriz de confusión, teniendo como resultado un promedio del 83.95% de exactitud, es decir que sobrepasa el mínimo de exactitud que vendría a ser el 80%. Lo cual resulta ser óptimo para este periodo de análisis (Chuvieco, 2010; Jensen, 1996).

Los errores de “omisión” y “comisión” expresan dos enfoques del mismo problema. Los primeros se refieren a una definición imperfecta de la categoría y los segundos, a una delimitación excesivamente amplia. Desde otro punto de vista, algunos autores hablan de exactitud del usuario y del productor. La primera está en relación inversa con los errores de omisión, mientras la segunda lo está con los de comisión. De la matriz de confusión no sólo se conoce la cantidad de puntos que nuestra clasificación asignó correctamente, sino también la fiabilidad para cada una de las clases y las principales confusiones entre ellas (Barandela, 1987; Cortijo, 1996 citado por Alarcón *et al.*, 2011).

3.11.2. Índice de Kappa

Al realizar la ecuación de kappa, nos arroja un valor de **0.83**. Así mismo Cerda *et al.*, 2008; Zambrano, *et al.*, 2008, sostienen que la concordancia inter-observador está dentro del rango de casi perfecta.

Debe puntualizarse que el Índice de Kappa (k) o coeficiente de conformidad de Kappa (k), es una medida de la exactitud de la clasificación y su varianza es usada, en la comunidad de teledetección, para realizar pruebas estadísticas de diferencias significativas (Hudson & Ramm; 1987 citado por Alarcón *et al.*, 2011).

El Índice Kappa (k) considera todos los valores de la matriz de confusión y tiene en cuenta que parte de la coincidencia o acierto entre lo existente en campo y lo clasificado se ha debido al azar (Angueira, *et al.*, 2008).

3.12. Mapa Temático de Pendiente

El mapa de pendiente se obtuvo utilizando la herramienta “slope” del ArcGis 10®, introduciendo las curvas de nivel y sus respectivas cotas, obteniendo pendientes en porcentaje de 0 – 35 % (Tomado y adaptado de Santiago, 2006) (Ver Figura 26).

La Pendiente es una variable de los factores físico-ambientales que inciden en el comportamiento de muchos eventos anómalos que pueden suscitar en las zonas urbanas, rurales, bosques, orillas de los ríos, etc., como por ejemplo incendios, inundaciones, entre otros. (Tomado y adaptado de Suárez, *et al.*, 2010). Por eso resulta necesario determinar la pendiente para el presente estudio.

Además el mapa temático de pendiente, sirve como insumo para la elaboración del mapa de áreas crítica (Tomado y adaptado de Guía Metodológica IIAP de la macro ZEE, Moyobamba (2005) citado por INRENA & ITTO, 2008), con el fin de identificar sitios dentro del área estudio, que por sus características biofísicas y sociales presentan condiciones limitantes u oportunidades de planificación.

3.13. Mapa de uso actual del territorio

El mapa de uso de recursos, forma parte del escenario socioeconómico de un determinado territorio, siendo esta información necesaria, que permite identificar de manera sencilla la distribución espacial de los procesos socioeconómicos más sobresalientes que tienen ocurrencia en el ámbito del área de estudio (Tomado y adaptado de Ramírez, 2008) (Ver figura 31).

3.14. Mapa de Sensibilidad Ambiental

Son mapas con la información esencial para determinar en base a una superposición de capas georreferenciada, la sensibilidad ambiental de una área determinada, frente a una amenaza contaminante, proveniente de una fuente terrestre o marítima. Este mapa se obtuvo mediante un cruce de información entre cada una de las variables que compone un mapa temático (Tomado y adaptado de Guía Metodológica IIAP de la macro ZEE, Moyobamba (2005) citado por INRENA & ITTO (2008)) (Se anexa mapa de sensibilidad).

Que a su vez serán insumo para la elaboración de áreas críticas de una determinada zona (Tomado y adaptado de Martínez (2008)), con la finalidad de identificar áreas con mayor vulnerabilidad a los impactos potenciales de las actividades humanas que se vienen dando en el área de estudio y tomar así las previsiones respectivas.

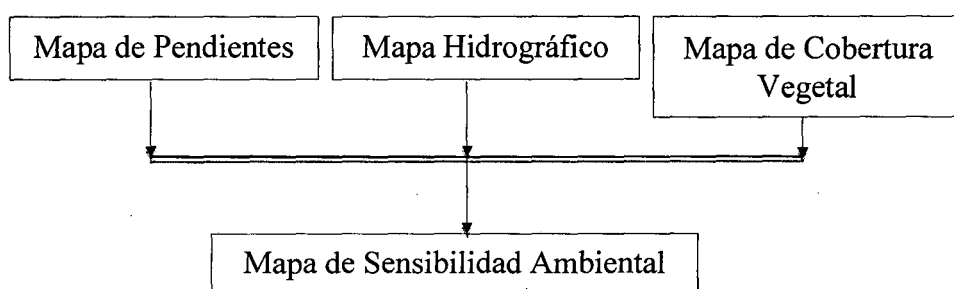


Figura 27. Modelo de Mapa de Áreas Críticas.

Fuente: Tomado y adaptado de Guía Metodológica IIAP de la macro ZEE, Moyobamba (2005) citado por INRENA & ITTO (2008)

3.15. Mapa de áreas críticas

El mapa de áreas críticas se determinó mediante el cruce de mapas, entre el grado de sensibilidad de una zona con las deficiencias, en este caso ya se cuenta con el problema que es la deforestación (Tomado y adaptado de Melgar, 2004).

Un área crítica de manejo para un territorio, es un sitio determinado que demanda una atención o tratamiento especial en forma eventual o permanente por parte de los programas de manejo y/o administración. Pudiendo identificarse a través de diferentes elementos heterogéneos sobresalientes del paisaje, que pueden influenciar positiva o negativamente la planificación y el manejo del territorio (Morales, 2002 citado por Melgar, 2004).

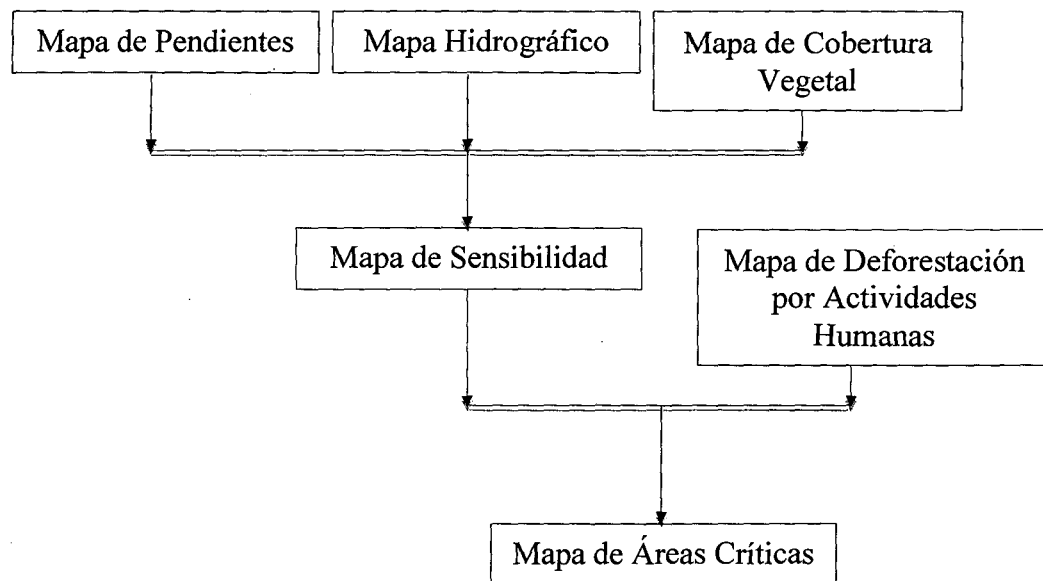


Figura 28. Modelo de Mapa de Áreas Críticas.

Fuente: Tomado y adaptado de Guía Metodológica IIAP de la macro ZEE, Moyobamba (2005) citado por INRENA & ITTO (2008)

En el mapa de áreas críticas (Figura 29), se observa que tres áreas que se han designado como zonas críticas de la zona de amortiguamiento.

Área I.

Posee condicionantes y deficiencias que la hacen un área prioritaria con pendientes mayores a 35% altas (Figura 26), actividades de minería no compatible con la conservación. Posee en ella la micro cuenca del Manuani y Malinowsky por la cual es necesario brindar atención ya que esta micro cuenca pasa por el límite entre la Reserva Nacional Tambopata y desemboca en el río Tambopata, no obstante se manifiesta que la fauna acuática y todos los seres vivientes que viven de estos cuerpos de agua se han venido afectando por la constante contaminación. Actualmente existe mayor presión sobre los recursos naturales por los asentamientos humanos establecidas dentro de la zona de amortiguamiento, estos presionan a través del uso recursos lo cual afecta la flora, fauna y cuerpos de agua. Así mismo, existen conflictos entre los derechos otorgados entre los habitantes, los cuales requieren atención especial, como el establecimiento de acciones dirigidas a su solución de conflictos.

El CDC (2002), en su estudio, determinó áreas críticas por su grado de deforestación, mencionando que la principal zona crítica fue el distrito de Huepetuhe, por la creciente extensión de la actividad minera, más el presente estudio, reporta una dinámica antrópica diferente después de 10 años, siendo para este caso el área crítica principal la cabecera del río Malinowsky, río Dos de Mayo, río Manuani, y el Km 103 – 123 (carretera Puerto Maldonado – Cusco, margen izquierdo).

Área II.

Existe presión sobre los recursos naturales renovables como las actividades ganaderas, crianza de animales menores, cultivos (donde se realiza la tumba de bosque primario y/o bosque secundario) y cacería. Básicamente estas zonas comprenden los poblados de San Bernardo, las Mercedes, los Cedros, Florida Baja y Alta, Manantiales, San Juan, Aguas Blancas, Sachavacayoc, Condenado, la Torre, Filadelfia y el Gato.

Área III.

Existe el aumento de la frontera agrícola hacia los remanentes de bosque y la presión sobre los recursos naturales que puede llegar al ANP.

Así mismo el CDC (2002), consideraba para el presente estudio las zonas II y III, como la tercera área crítica, debido a la dinámica de la acción antrópica que es causada por actividades agropecuarias, determinando que no sería área crítica si ésta no estuviese extendiéndose hacia el valle del Tambopata (Reserva Nacional Tambopata). Comprende Jorge Chávez, Nueva América, Loero, Cascajal, Infierno, Chonta, Izuyama, Bajo Madre de Dios izquierda, Nuevo Sol Naciente.

La denominación de áreas críticas han sufrido una dinámica distinta comparada con el reporte del CDC y con los datos del presente estudio, esto debido a la creciente demanda del precio del oro, la cual hizo que sigan cambiando los sectores críticos, y es ahí, donde los tomadores de decisiones deben enfocar sus medidas de mitigación de impactos que dañan el ecosistema.

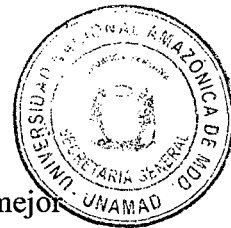
CONCLUSIONES

Uno de los inconvenientes en el proceso de la clasificación fue la confusión que hay entre las distintas clases que existen en el terreno debido a su heterogeneidad. Los resultados obtenidos en el presente estudio entregan una orientación en el proceso de la aplicabilidad de la imagen Landsat TM 5 en el monitoreo de la deforestación, y además puede utilizarse en demás estudios ambientales.

Se ha dilucidado un total de 22,366.36 ha deforestadas en la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja Sonene - Madre de Dios. Siendo la más representativa aquellos pastizales que están inactivos (pastizales remontados), sin embargo se dio una sorpresa que la segunda clase más representativa es la actividad minera, superando a todos los pastizales activos y la clase tumba juntos en el área de estudio.

Se han obtenido tres áreas críticas (I, II y III), donde el área I, es la que está actualmente siendo fuertemente impactada por la actividad minera, debido a una creciente “fiebre” del oro ocasionada por su constate subida del precio de éste metal. No obstante, no se puede dejar de lado la zona II y III, a pesar que sus impactos no son iguales a los de la zona I, pero sus actividades agropecuarias que hay dentro de ellas, pueden aumentar su frontera significativamente si no se toma en consideración que su actividades también son de importancia de monitoreo.

Finalmente se concluye, que el mapa de áreas críticas, representa una herramienta como aporte para la gestión y planificación de la Reserva Nacional Tambopata, el Parque Nacional Bahuaja Sonene y su ejecutor del Contrato de Administración (AIDER) en donde pueden enfocar proyectos que ayuden a mitigar el avance de actividades incompatibles que en un momento si no se emplean medidas precautorias podrían afectar la integridad de las dos ANPs.



RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con el monitoreo y trabajar con otras imágenes de mejor resolución espacial, como por ejemplo una imagen SPOT de 10x10m o de 5x5m u otras que poseen aún mejor su resolución espacial, esto con el fin de obtener resultados más exactos y determinar más clases que se generan por la fuerte presión antrópica en las zonas de amortiguamiento, especialmente la actividad minera que en los últimos años se ha acelerado su crecimiento.

Probar con este monitoreo en las meses de enero, febrero y marzo (aunque estos meses se ve la presencia de nubes por la temporada lluvias) en donde se ve en nuestro departamento de Madre de Dios, la actividad agrícola, como el cultivo de maíz, arroz, etc., ya que estas actividades no se diferencian en las fechas en la cual se ha adquirido las imágenes.

Es necesario que el Gobierno Regional de Madre de Dios (GOREMAD), implemente el Sistema de Vigilancia y Protección de la Amazonía (SIVAN / SIPAM) en donde se tendrá que realizar la actuación integrada de sus miembros para la búsqueda y promoción de un desarrollo sostenido, protección del medio ambiente y seguridad de la región.

La Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD), tiene que implementar su centro de SIG & Teledetección, ya que este centro permitirá generar y liderar en diversos campos como, académico, investigación, capacitaciones, planificación, almacenamiento, entre otros, en el cual será una de las instituciones que impulse al desarrollo local, regional y nacional para la toma de decisiones. A su vez con implementos de difusión.

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía textual

- Alarcón, G. Frisancho, R. Correa, N. Ulloa, J. Vela, M. Díaz, J. Puma, M. Portal, L. Bouroncle, C. Mendoza, R. Vásquez, J. 2011. Detección de cambios de cobertura boscosa a través del análisis multitemporal de imágenes satelitales en el distrito de Inambari. Madre de Dios, Perú. 09 pp.
- Alva, S. 2009. Diseño de la Investigación. 7 pp.
- Angueria, C. López, J. Barraza, G. Prieto, S. Agella, G. Prieto, D. 2008. Estimación de cultivos mediante teledetección y SIG en el área del riego del río dulce, Santiago del Estero, Argentina. 99 pp.
- Avery, E. and Graydon B. 1992. Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation. Macmillan Publishing Company. 5ª Edición. 472 pp.
- Calderón, J. & Alzamora, L. & Del Águila, E. 2009. Guía de elaboración de proyectos de tesis doctoral. Vicerrectorado de Investigación y Postgrado. Universidad Alas Peruanas. Lima, Perú. 20 pp.
- Cerda, J. Villarroel, L. 2008. Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. 05 pp.
- Centro de Datos para la Conservación (CDC) – Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) & Sociedad Zoológica de Frankfurt (SZF) & Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), 2002. Hacia un sistema de monitoreo ambiental remoto estandarizado para el SINANPE. Informe final piloto, 2002. Parque Nacional Bahuaja Sonene, Reserva Nacional Tambopata y Reserva Comunal Amarakaeri. 2003. Lima, Perú. 88 pp.
- Chávez, A. Béjar, N. Fernández, R. Huamaní, L. Valera, F. 2012. Reporte de estudios de áreas deforestadas en la provincia de Tahuamanu 2008-2010. 31 pp.
- Chávez, P. S. 1975. "Atmospheric, solar, and MTF corrections for ERTS digital imagery". Proceedings of the American Society of Photogrammetry. Falls Church, VA.

- Chávez, P. S. 1988. "An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data", *Remote Sensing of Environment*. 479 pp.
- Chávez. P. S. & Kwarteng, A. Y. 1989. "Extracting spectral contrast in Landsat Thematic Mapper image data using selective principal component analysis" *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 348 pp.
- Chávez. P. S & Sides, S. C. & Anderson, J. A. 1991. "Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT Panchromatic", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 295 pp.
- Chávez, P. S. 1996. "Image-based atmospheric corrections. Revisited and improved", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1036 pp.
- Chuvieco, E. 1996. *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Tercera Edición. Ediciones Rialp S. A. Madrid, España. 568 pp.
- Chuvieco, E. 2010. *Teledetección Ambiental, la Observación de la Tierra desde el Espacio*. Nueva Edición Actualizada. Madrid, España.
- Dávila, J. 2009. *Diagnóstico socioeconómico en la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata y en el ámbito del Parque Nacional Bahuaja Sonene en el departamento de Madre de Dios*. Madre de Dios, Perú. 60 pp.
- Dávila, J. 2009. *Diagnóstico socioeconómico participativo de Nueva América*. Madre de Dios, Perú. 49pp.
- Dávila, J. 2010. *Dialogo participativo para las mejores oportunidades y propuesta de nuestro desarrollo comunal*. Asociación de productores agropecuarios San Bernardo. Madre de Dios, Perú. 58 pp.
- Dávila, J. 2010. *Dialogo participativo para las mejores oportunidades y propuesta de nuestro desarrollo comunal*. Asociación de productores agropecuarios Las Mercedes. Madre de Dios, Perú. 45 pp.
- Dávila, J. 2010. *Dialogo participativo para las mejores oportunidades y propuesta de nuestro desarrollo comunal*. Centro poblado Virgen de la Candelaria. Madre de Dios, Perú. 44 pp.

- Dávila, J. 2010. Dialogo participativo para las mejores oportunidades y propuesta de nuestro desarrollo comunal. Asociación de productores agrarios de la comunidad Sol Naciente. Madre de Dios, Perú. 51 pp.
- De la Mora, A. Reyes, N. 2011. Manual de prácticas de teledetección y sistemas de información geográfica. Universidad autónoma de ciudad de Juárez. Ciudad de Juárez, Chihuahua, México. 49 pp.
- Dourojeanni, M. 2006. Estudio de caso sobre la carretera interoceánica en la amazonía sur del Perú. 85 99.
- Fachín, L. 2008. Teledetección Procesamiento Digital de Imágenes de Satélite. ERDAS Imagine. Iquitos, Perú. 110 pp.
- Farías, M. & Núñez, R. 2005. Manual de laboratorio de percepción remota, Software Idrisi. Postítulo en Geomática. Pontificia Universidad de Chile. 42 pp.
- François, J. & Reyes, J. & Pérez, A. 2003. Evaluación de la confiabilidad temática de mapas de imágenes clasificadas: una revisión. Instituto de Geografía, UNAM. Michoacán, México. 20 pp.
- García, A. 2008. LANDSAT. 40 pp.
- Gobierno Regional de Madre de Dios - GOREMAD & Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana - IIAP, 2008. Propuesta de Zonificación Ecológica y Económica del Departamento de Madre de Dios. Madre de Dios – Perú. 209 pp.
- Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana - IIAP, 2002. Propuesta de zonificación ecológica económica de la Región Madre de Dios “Documento de trabajo. BID-CONAM-USAID/BIOFOR.
- Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana - IIAP, 2003. Macrozonificación Agroecológica para la promoción de cultivo de ciclo corto en zonas inundables del río Ucayali (Región Ucayali). 51 pp.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales - INRENA & Organización Internacional de Maderas Tropicales - ITTO, 2008. Guía de referencia metodológica técnica para la elaboración de zonificación ecológica económica. Proyecto PD 138/02 Rev. 2 (F).

- Evaluación Integral y Estrategia para el Manejo Sostenible de los Bosques Secundarios de la Región Selva Central del Perú”. Lima, Perú. 1era edición. 41pp.
- Jensen, J. 1996. Introductory Digital Image Processing A Remote Sensing Perspective.
 - Medina, J. 2001. Evaluación de metodologías de detección de cambios de uso del suelo a través del análisis digital multitemporal de imágenes satelitales Landsat TM en la IX región, Chile. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Forestal. Universidad Católica de Temuco. Temuco, Chile. 112 pp.
 - Melgar, M. 2004. Manual 3: Metodología diagnóstico de áreas críticas (DAC) ordenamiento territorial de la cuenca alta del río Yaque del norte y del municipio de Jarabacoa. República Dominicana. 51 pp.
 - Programa de Fortalecimiento de Capacidades Nacionales para Manejar el Impacto del Cambio Climático y la contaminación del Aire - PROCLIM, 2005. Mapa de Deforestación de la Amazonía Peruana – 2000. Memoria Descriptiva. INRENA & CONAM & PROCLIM. Lima – Perú. 74 pp.
 - Ramírez, J. 2008. Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Madre de Dios. Uso actual de las tierras. Madre de Dios, Perú. 35 pp.
 - Recavarren, P. Angulo, M. 2011. Cuantificación de la deforestación en Madre de Dios y un análisis frente al impacto de la minería. Proyecto REDD en Madre de Dios. Lima, Perú. 54 pp.
 - Rosales, R., 2008. “Potencial forestal y deforestación en márgenes de la carretera El Castañal - Santa Rosa en Tambopata”. Tesis para optar el grado de Máster en Gestión y Auditorías Ambientales. Universidad de Piura. Piura 1 – 16 pp.
 - Rosales, R. 2009. Métodos experimentales en la ciencia forestal y ambiental. 155 pp. Huánuco, Perú.
 - Samaniego, L. 2008. Procesamiento digital de imágenes de satélite con el ENVI. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú. 92 pp.
 - Santiago, I. 2006. Fundamentos de ArcGis segunda parte (otras herramientas) versión ArcView 9.1. Tutorial de lecturas versión preliminar. Área de tecnologías de

la información gubernamental. Oficina de gerencia y presupuesto del estado libre asociado de Puerto Rico. San Juan, Puerto Rico. 164 pp.

- SELPER, 2007. Tutorial – introducción a la percepción remota. Uruguay. 106 pp.
- Suárez, V. 2010. Los arroyos de baja california sur (México): Caracterización ambiental y aplicación de un índice de estado de alteración (IAR). Universidad de Murcia. España. 13 pp.
- Suri, W. 2008. Identificación de áreas potenciales para la instalación de plantaciones de castaña (*Bertholetia excelsa* H.B.K.) en áreas deforestadas – Madre de Dios. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco sede Puerto Maldonado. Madre de Dios, Perú. 98 pp.
- Shenck, C. 1999. Lobo de río "*Pteronura brasiliensis*": presencia, uso de hábitat y protección en el Perú. GTZ/FSZ/SURAPA/INRENA. Proyecto FANPE-GTZ-INRENA. Lima, Perú.
- Zambrano, R. Henríquez, C. Gonzales, K. 2008. Contribución de la Teledetección y los sistemas de información geográfica en la evaluación de los daños producidos en la ciudad de Pisco por el terremoto del 15 de agosto del 2007. Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial - CONIDA. 6 pp.

Bibliografía electrónica

- Administración de Parques Nacionales (APN) & Sistema de Información de Biodiversidad (SIB), 2005. Protocolo para el Procesamiento de Imágenes Satelitales Landsat para Aplicaciones de la Administración de Parques Nacionales. Disponible en http://www.sib.gov.ar/archivos/Protocolo_img_Landsat.pdf. Consultado el 02 de enero del 2012.
- Belspo, 1999. Prime Minister's Services Belgian Federal Office for Scientific, Technical and Cultural Affairs. Landsat Thematic Mapper Data. Disponible en Internet: http://www.belspo.be/telsat/landsat/tmap_001.htm. Consultado 02 de enero del 2012.
- Brizuela, A.^{1,2}. Aguirre, C.^{1,2}. Velasco, I.^{1,3}. 2007. Aplicación de Métodos de Corrección Atmosférica de Datos LANDSAT 5 para Análisis Multitemporal.¹



Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER - Ruta 11 km 10, Oro Verde, Entre Ríos.
²CICyTTP – CONICET - Materi y España, Diamante Entre Ríos. ³Departamento de Cs. de la Atmósfera – FCEyN UBA - Ciudad Universitaria – Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Disponible en <http://www.aet.org.es/congresos/xii/arg27.pdf>. Consultado el 26 de Diciembre del 2011.

- Chander, C. & Markham B. 2003. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING. Disponible en http://landsat.usgs.gov/documents/L5_TM_Cal_2003.pdf. Consultado el 03 de Enero del 2012.
- Chuvieco, E. & Hantson, S. 2010. Documento técnico de los algoritmos a aplicar sobre las imágenes de satélite de media resolución. Plan Nacional de Teledetección de Media Resolución. Procesamiento estándar de imágenes LANDSAT. Documento Técnico de algoritmos a aplicar. Versión 1. Madrid, España. Disponible en http://www.ign.es/PNT/pdf/especificaciones-tecnicas-pnt-medar-landsat_v2-2010.pdf. Consultado el 15 de Diciembre del 2012.
- Díaz, A. 2007. “Series Temporales de Vegetación para un Modelo Hidrológico Distribuido”. Trabajo Fin de Master. Universidad de Córdoba. Disponible en http://www.cuencaguadalfeo.com/archivos/Guadalfeo/Libros/TFM_Adolfo%20D%C3%ADaz.pdf. Consultado el 06 de Diciembre del 2012.
- ENVI, ENVI Tutorials: Atmospherically Correcting Multispectral Data Using the FLAASH Module. Disponible en <http://www.itvis.com/>. Consultado el 20 de Diciembre del 2011.
- ENVI, Computing Spectral Radiance and Reflectance. ENVI Spectral Radiance and Reflectance. Disponible en <http://www.itvis.com/>. Consultado el 20 de Diciembre del 2011.
- ENVI. ENVI Tutorial: Classification Methods. Disponible en Disponible en <http://www.itvis.com/>. Consultado el 20 de Diciembre del 2011.

- ENVI. ENVI Tutorial: Orthorectifying Imagery using Rational Polynomial Coefficients (RPCs). Disponible en: Disponible en <http://www.ittvis.com/>. Consultado el 20 de Diciembre del 2011.
- ENVI. ENVI Tutorial: Spectral Angle Mapper (SAM) and Spectral Information Divergence (SID) Classification. Disponible en <http://www.ittvis.com/>. Consultado el 20 de Diciembre del 2011.
- ERDAS, Guía ERDAS, Glosario Nuevo. Disponible <http://www.gi.leica-geosystems.com>. Consultado el 20 de Enero del 2012.
- Grupo GISITS, 2012. ENVI. Disponible en <http://www.gisits.com/envi.html>. Consultado el 21 de Mayo del 2012.
- Geo Tux, 2010. SPRING. Disponible en <http://geotux.tuxfamily.org/index.php/es/geo-noticias/item/272-spring-gis-por-fin-es-software-libre>. Consultado el 21 de Mayo del 2012.
- Geoinfo. 2010. ArcGis. Disponible en <http://www.softwaregis.cl/arcgis.html>. Disponible el 21 de Mayo del 2012.
- Instituto Nacional de Pesquisas del Estado de Brasil - INPE, 2011. Imágenes satelitales LANDSAT gratuitas disponible en <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Consultado 15 de Diciembre del 2011.
- InfoSAT Geomática, 2010. ERDAS. Disponible en http://www.erdas.com.ar/productos_imagine.htm. Consultado el 21 de Mayo del 2012.
- Fernández, I. ¹. & Herrero, E. ². 2001. El Satélite LANDSAT. Análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+. Satélite LANDSAT. ¹Área de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y fotogrametría. ²Dasometria en Inventariarían. Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal. Universidad de Valladolid, España. Disponible en: <http://www.cartesia.org/data/apuntes/teledeteccion/landsat-analisis-visual.pdf>. Consultado el 10 de Enero del 2012.
- Martínez, R. 2008. Mapas de sensibilidad ambiental, una herramienta para el diseño de infraestructura costera y portuaria. Disponible en

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/ecuador10/coste.pdf>. Consultado el 12 de Febrero del 2012.

- Molinero, L. (2001). Medidas de concordancia para variables cualitativas. Asociación de la sociedad española de hipertensión. Liga española de la lucha contra la hipertensión arterial. España. Consultado el 23 de Marzo del 2011. Disponible en <http://www.seh-lilha.org/concor2.htm>
- Pinedo, C. Pinedo, A., Quintana, R., Martínez, M., 2007. "Análisis de áreas deforestadas en la región centro-norte de la Sierra Madre Occidental, Chihuahua, México". 36 - 43 pp. Disponible en http://tecnociencia.uach.mx/data/files/num1/analisis_de_areas_deforestadas.pdf. Consultado el 18 Diciembre del 2011.
- Pinilla, C¹. & Ariza, F.J¹. & Sánchez, M². & Tovar, J³. 2001. Mejora de la Fiabilidad en la Identificación del Olivar Utilizando un Modelo Geométrico de Reflectancia. ¹Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica. Universidad de Jaén. ²Departamento de Ingeniería Gráfica e Ingeniería de Sistemas de Información Cartográfica. Universidad de Córdoba. ³Departamento de Física. Universidad de Jaén. Disponible en <http://www.aet.org.es/revistas/revista16/AET16-02.pdf>. Consultado el 14 de Enero del 2012.
- Ramírez, J. 2006. Glosario para el Análisis Geoespacial. Disponible en http://www.microimages.com/documentation/miglossary/glossary_esp.pdf. Consultado el 13 de enero del 2012.
- Rodríguez, O. & Arredondo, H. 2005. Manual para el manejo y procesamiento de imágenes satelitales obtenidas del sensor remoto MODIS de la NASA, aplicado en estudio de ingeniería civil. Trabajo de Grado. Pontificia Universidad Javeriana. Disponible en <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis123.pdf>. Consultado el 09 de Diciembre del 2011.
- Rodríguez, A. 2010. CLASlite una herramienta para REDD. Disponible en <http://geoinformacion.wordpress.com/2010/03/19/claslite-una-herramienta-para-redd/>. Consultado el 21 de Mayo del 2012.

- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP), 2011. Plan Maestro de la Reserva Nacional Tambopata 2011 - 2016. Disponible en <http://www.sernanp.gob.pe>. Consultado el 15 de Noviembre del 2011.
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP), 2011.. Plan Maestro del Parque Nacional Bahuaja Sonene 2003- 2008. Disponible en <http://www.sernanp.gob.pe>. Consultado el 14 de Noviembre del 2011.
- Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA) 2011. Actual Ambiental. Alerta en RN de Tambopata: en un año, más de mil hectáreas han sido deforestadas por mineros informales. <http://www.actualidadambiental.pe/?p=12797>. Consultado el 15 de Enero del 2011.
- Filling Gaps in Landsat ETM Images. Disponible en: <http://www.yale.edu/ceo>. Consultado el 24 de octubre del 2011.

ANEXOS

(Fuente: Guía ERDAS)

Glosario

Acimut. Ángulo medido en sentido horario a partir de un meridiano, avanzando del norte hacia el este.

Agrupamiento estadístico. Un método de agrupamiento que prueba la homogeneidad de conjuntos de píxeles de 3 X 3 y que crea cúmulos únicamente a partir de las estadísticas de los conjuntos de píxeles homogéneos.

Agrupamiento RGB. Un método de agrupamiento para datos de 24 bits (tres bandas de 8 bits) que grafica píxeles en el espacio espectral tridimensional y divide ese espacio en secciones que son utilizadas para definir grupos (clúster). El esquema de color de salida de una imagen con agrupamiento RGB se asemeja al archivo de entrada.

Agrupamiento secuencial. Un método de agrupamiento que analiza los píxeles de una imagen, línea por línea, y los agrupa por distancia espectral. Los agrupamientos se determinan con base en la distancia espectral relativa y el número de píxeles por agrupamiento.

Ajuste basado en el área. Una técnica de ajuste de imágenes que determina la correspondencia entre un área común a dos imágenes de acuerdo a la similitud de sus niveles digitales.

Ancho de barrido. En un sistema satelital, el ancho total del área del terreno cubierta por el barredor.

Angulo de orientación. El ángulo entre una perpendicular al centro de la línea de barrido y la dirección Norte en una escena de satélite.

Archivo de encabezado. Un archivo usualmente encontrado al inicio de los datos de una imagen (cuando los datos están almacenados en medio magnético como cintas o CD-ROMs), que contiene información sobre los datos, tales como número de bandas, las coordenadas de la esquina superior izquierda, la proyección cartográfica, etc.

Área. Una medición de una superficie.

Atributo. Información tabular asociada con una capa ráster o vectorial.

Banda. Conjunto de valores de niveles digitales de energía reflejada o emitida que corresponden a una porción específica del espectro electromagnético (rojo, verde, azul, infrarrojo, termal, etc.) o, también, otra información creada por el usuario mediante la combinación o mejoramiento de las bandas originales o mediante la creación de nuevas bandas a partir de otras fuentes. Algunas veces se denomina canal.

Bandeamiento. Un error de los datos que ocurre cuando un detector de un sistema de barrido se desajusta. Es decir que proporciona lecturas sistemáticamente mayores o menores que las de los demás detectores para la misma banda sobre la misma cobertura terrestre.

Barra de escala. Un elemento de anotación gráfica que describe la escala de un mapa. Muestra la distancia en el papel que representa una distancia geográfica en el mapa.

BIL. Banda intercalada por línea. Un formato de almacenamiento de datos en el cual cada registro del archivo contiene una línea de barrido (fila) de datos de cada banda. Todas las bandas de datos de una línea específica se almacenan consecutivamente dentro del archivo.

Bins. Conjunto ordenado de píxeles. Los píxeles son ordenados en un número especificado de bins. Los píxeles reciben nuevos niveles digitales de acuerdo con los bins a los cuales han sido asignados.

BIP. Banda intercalada por pixel. Un formato de almacenamiento de datos en el cual los valores de cada pixel son ordenados por banda. Los píxeles están organizados secuencialmente en el medio magnético.

Bit. Un dígito binario o sea que puede tener valores de 0 y 1 ó de prendido y apagado. Un conjunto de bits puede tener muchos más valores dependiendo del número de bits usado. El número de valores posibles se obtiene elevando 2 a la potencia del número de bits usado. Por ejemplo, el número de valores que puede ser expresado con 3 bits es de 8 ($2^3=8$).

BPI. Bits por pulgada. Una medida de densidad de almacenamiento en medios magnéticos.

BSQ. Banda consecutiva. Un formato de almacenamiento de datos en el cual cada banda es almacenada en forma consecutiva.

Byte. 8 bits de datos.

Campo Instantáneo de Vista. (IFOV). Una medida del área vista por un detector simple en un sistema de barrido en un instante dado de tiempo.

Capa vectorial. Un conjunto de objetos vectoriales y sus atributos asociados.

Cartesiano. Sistema de coordenadas en el cual los datos se organizan en una cuadrícula y los puntos se identifican por sus coordenadas X, Y.

Cartografía. El arte y la ciencia de crear mapas.

Clase. Un conjunto de píxeles en un archivo SIG que representan áreas que comparten alguna característica. Las clases se crean usualmente mediante la clasificación de un tema ráster continuo.

Clasificación. El proceso de asignación de los píxeles de una imagen ráster continua a categorías discretas.

Clasificación multiespectral. El proceso de ordenar los píxeles en un número finito de clases individuales -o categorías de datos- basado en los niveles digitales de los datos en Múltiples bandas.

Código Estándar Americano para Intercambio de Información (ASCII). "Conjunto de caracteres básicos, para representar algunos códigos de control, espacios, números, signos de puntuación básicos y letras sin acento entre a-z y A-Z" (Free On-Line Dictionary of Computing, 1999).

Coeficiente. Un número de una matriz o una constante en una expresión polinómica.

Coeficiente de variación. Un parámetro derivado de la imagen que es usado como entrada en los filtros de realce de radar sigma y estadísticas locales.

Coeficiente kappa. Un número que expresa el error en un proceso de clasificación reduciendo los aciertos debidos a una clasificación completamente aleatoria.

Color verdadero. Un método de despliegue de una imagen (usualmente a partir de una capa ráster continua) que conserva las relaciones entre los niveles digitales de los datos y representa múltiples bandas con cañones de color separados. Los valores de memoria

de imagen de cada banda desplegada son traducidos mediante la función de memoria del correspondiente cañón de color.

Correcciones geométricas. La corrección de los errores de deriva, rotación y perspectiva en datos de sensores remotos crudos.

Corrección radiométrica. La corrección de las variaciones en los datos que no son causadas por el objeto o escena que se está registrando, tales como la interferencia atmosférica o el funcionamiento anómalo del barredor.

Convolución cúbica. Un método para hacer el re muestreo de los niveles digitales que usa los valores de 16 pixeles de una ventana de 4 x 4 para calcular un nivel digital de salida mediante una función cúbica.

Covarianza. Mide la tendencia de los niveles digitales de los datos del mismo pixel pero en bandas diferentes, con relación a los promedios de sus bandas respectivas. Estas bandas deben ser lineales. La covarianza es definida como el producto promedio de las diferencias entre los niveles digitales en cada banda y el promedio de cada banda.

Datos. 1. En el contexto de teledetección, un archivo de computador que tiene números que representan imágenes adquiridas con sensores remotos y que pueden ser procesados para desplegar esa imagen 2. Una colección de números, cadenas, o cifras que requiere algún procesamiento antes de que pueda tener significado.

Datos TIFF. Datos en formato ráster desarrollado por Aldus, Corp (Seattle, Washington), en 1986 para hacer fácil el transporte de los datos.

Datos vectoriales. Datos que representan formas físicas (elementos) tales como puntos, líneas y polígonos. Únicamente se almacenan los vértices de los datos vectoriales, en lugar de cada punto que conforma el elemento.

DEM. Ver modelo de elevación digital.

Desviación estándar. (SD) 1. La raíz cuadrada de la varianza de un conjunto de valores que es usado como una medida de la dispersión de los valores. 2. Una técnica de análisis de vecindad que produce la desviación estándar de los niveles digitales de los datos de una ventana especificada por el usuario.

Digitalización. Cualquier proceso que convierte datos no digitales en datos numéricos, usualmente para ser almacenados en un computador.

Distribución. El conjunto de frecuencias dentro de las cuales ocurre un evento, o el conjunto de probabilidades de que una variable tenga un valor en particular.

Divergencia. Una medida estadística de distancia entre dos o más firmas espectrales. La divergencia puede ser calculada para cualquier combinación de bandas utilizada en la clasificación; las bandas que disminuyan los resultados de la clasificación pueden ser excluidas.

Electromagnético. (EM) Tipo de espectro que cubre diferentes regiones tales como infrarrojo termal e infrarrojo reflectivo de onda corta y de onda larga.

Elemento. Una entidad de datos vectoriales, tales como un punto, una línea o un polígono.

Elipse. Una figura bi-dimensional que se forma al hacer una gráfica de dispersión, en la cual las dos bandas en consideración tienen distribuciones normales. La elipse está definida por las desviaciones estándar de las bandas de entrada. Los gráficos de elipse son utilizados muy a menudo para evaluar las firmas espectrales antes de realizar una clasificación.

Entrenamiento. El proceso de definir los criterios mediante el cual los patrones de los datos de imágenes son reconocidos con el propósito de clasificación.

Entrenamiento supervisado. Cualquier método para generar firmas para la clasificación, en el cual el analista está directamente involucrado en el proceso de reconocimiento de patrones. Usualmente, el entrenamiento supervisado requiere que el analista seleccione muestras de entrenamiento de los datos que representan los patrones que van a clasificar.

Environmental Systems Research Institute. (ESRI) Compañía basada en Redlands, California, que produce el software ArcInfo y ArcView. ESRI ha creado muchos formatos de datos, incluyendo GRID y GRID Stack.

Equidistancia. La propiedad de una proyección cartográfica de representar distancias verdaderas desde un punto identificado.

Error medio cuadrático. Usado para medir que tan bien una solución específica calculada funciona con los datos originales. Por cada observación de un fenómeno, se puede calcular la variación entre la observación real y el valor calculado. (El método de obtener un valor calculado es específico a cada aplicación). Cada variación es elevada al cuadrado. La suma de los valores al cuadrado es dividida por el número de observaciones y luego se saca la raíz cuadrada. Este es el valor RMSE.

Error RMS. La distancia entre la posición de entrada (fuente) de un GCP y la posición re transformada para el mismo GCP. El error RMS es calculado con una ecuación de distancia.

Error RMS total. El error medio cuadrático (RMS) total para una imagen completa. El error RMS total toma en cuenta el error RMS para cada GCP.

Error RMS X. El error medio cuadrático (RMS) en la dirección X.

Error RMS Y. El error medio cuadrático (RMS) en la dirección Y.

Escala. 1. La proporción entre la distancia de un mapa y la distancia verdadera en el terreno. 2. El tamaño de celda. 3. El procesamiento de valores a través de una tabla de referencia (lookup).

Escala de grises. Un esquema de color con una gradación de tonos de grises que varían desde blanco hasta negro.

Escala de imagen. (SI) Expresa la relación promedio entre una distancia en la imagen y la misma distancia en el terreno. Se calcula tomando la longitud focal y dividiéndola sobre la altura de vuelo sobre el terreno.

Escala grande. Una descripción utilizada para representar un mapa o archivo de datos que mantiene una relación alta entre el área del mapa (tales como pulgadas o pixeles) y el área que está representada (tal como pies). En datos de imagen de escala grande, cada píxel representa un área pequeña en el terreno, tal como datos SPOT, que tienen una resolución espacial de 10 o de 20 metros.

Escala pequeña. Para un mapa o archivo de datos, que tiene una proporción pequeña entre el área de la imagen (tales como pulgadas o pixeles) y el área que está representada (tales como pies). En datos de imágenes de escala pequeña, cada píxel

representa una gran área en el terreno, tales como los datos NOAA AVHRR, con una resolución espacial de 1.1 km.

Escena. La imagen capturada por un satélite.

Espectro de absorción. Rango de longitudes de onda de radiación electromagnética que son absorbidas por materiales específicos de interés.

Espectro de reflexión. Las longitudes de onda de radiación electromagnética que son reflejadas por materiales específicos de interés.

Espectro electromagnético. El rango de radiación electromagnética que se extiende desde las ondas cósmicas hasta las ondas de radio; su unidad característica es la frecuencia o la longitud de onda.

Esquema de clasificación. (O sistema de clasificación) Un conjunto de clases de referencia. El propósito de este esquema es proporcionar un marco de organización y categorización de información que va a ser extraída de los datos.

Falso color. Una composición a color en la cual los objetos tienen los colores esperados. Por ejemplo, la vegetación es verde, el agua es azul, etc. Estos no son necesariamente los colores verdaderos de esos objetos.

Falso este. Un desplazamiento entre el origen Y de una proyección cartográfica y el origen Y de un mapa. Usado típicamente para evitar que las coordenadas Y sean negativas.

Falso norte. Un desplazamiento entre el origen X de una proyección cartográfica y el origen X de un mapa. Usado típicamente para evitar que las coordenadas X sean negativas.

Firma. Un conjunto de estadísticas que define un agrupamiento o una muestra de entrenamiento. La firma es usada en un proceso de clasificación. Cada firma corresponde a una clase SIG que es creada a partir de las firmas con una regla de decisión de clasificación.

Firma no paramétrica. Una firma para clasificación que está basada en polígonos o rectángulos que se definen en el espacio de objeto de la imagen para el archivo de la

imagen. No existe base estadística para una firma no paramétrica; es simplemente un área en el espacio de objeto de la imagen.

Firma paramétrica. Una firma que se basa en parámetros estadísticos (por ejemplo, promedio y matriz de covarianzas) de los píxeles que están en el clúster o muestra de entrenamiento.

Fotogrametría. El "arte, ciencia y tecnología de obtener información confiables sobre los objetos físicos y el medio ambiente mediante el proceso de registrar, medir e interpretar imágenes fotográficas y patrones de imágenes de radiación electromagnética y otros fenómenos" (ASP 1980) .

Formato de intercambio de archivos JPEG. (JFIF) Formato de archivo estándar utilizado para almacenar imágenes comprimidas JPEG.

Formato rápido. Un tipo de formato BSQ usado por EOSAT para almacenar datos de LANDSAT™.

GCPs correspondientes. Los GCPs que están localizados en la misma posición geográfica que los GCPs seleccionados pero que están en diferentes archivos.

Georreferenciación. El proceso de asignar coordenadas de mapas a datos de imágenes y de re muestrear los píxeles de la imagen para ajustarlos a la grilla de la proyección cartográfica.

GeoTIFF. Archivos TIFF que han sido geocodificados.

Gigabyte. (Gb) Aproximadamente un billón de bytes.

GRID. Una estructura de datos ráster, dividida en planchas, comprimida, que es almacenada en un conjunto de archivos en un directorio, incluyendo los archivos que tienen los atributos propios de la GRID.

Histograma. Un gráfico de distribución de datos o un diagrama del número de píxeles que tienen cada nivel digital posible. Para una banda única de datos, el eje horizontal de un histograma es el rango de todos los niveles digitales posibles. El eje vertical es una medida de los píxeles que tienen cada uno de los niveles digitales.

Imagen. Un gráfico o representación de un objeto o escena en un papel o un dispositivo de despliegue. Las imágenes de teledetección son representaciones digitales de la tierra.

Imagen de pendientes. Una imagen ráster temática que muestra cambios en elevación de acuerdo a la distancia. Las imágenes de pendiente son usualmente codificadas con colores para mostrar la inclinación del terreno en cada pixel.

Inclinación. El ángulo entre una vertical al terreno en el centro de la escena y un rayo de luz proveniente de la estación de exposición, que define el grado de inclinación respecto al Nadir, cuando la escena fue registrada.

Inclinación negativa. Los sensores están inclinados en incrementos de 0.6° a máximo 27° hacia el este.

Inclinación positiva. Los sensores están inclinados en incrementos de 0.6° hasta un máximo de 27° hacia el este.

Índices. El proceso utilizado para crear imágenes de salida de una manera matemática a partir de la combinación de los niveles digitales de diferentes bandas.

Información. Algo que tiene significado

LANDSAT. Una serie de satélites que orbitan la Tierra y que recolectan datos MSS y TM, operado por EOSAT.

Lat/Lon. Latitud/Longitud, un sistema cartográfico de coordenadas.

Línea de nadir. El promedio de las líneas de borde izquierda y derecha en una imagen de LANDSAT.

Mapa. Una representación gráfica de las relaciones espaciales que ocurren sobre la Tierra u otros planetas.

Mapa base. Mapa que representa información de referencia sobre la cual se agrega otra Información. Los mapas base muestran usualmente la posición y la extensión de elementos naturales y culturales.

Mapa de pendientes. Un mapa que está codificado con colores para mostrar los cambios en elevación de acuerdo a la distancia.

Mapa de ubicación. Un mapa que muestra los límites de un conjunto específico de entidades cartográficas tales como condados. Los mapas de ubicación contienen usualmente un número pequeño de detalles de límites con sus códigos descriptivos.

Mapa temático. Un mapa que ilustra las clases que caracterizan una variable espacial particular como suelos, cobertura de la tierra, hidrología, etc.

Matriz de contingencia. Una matriz que contiene el número y los porcentajes de pixeles que fueron clasificados tal como se esperaba.

Matriz de covarianza. Una matriz cuadrada que contiene todas las varianzas y covarianzas de todas las bandas en un archivo de datos.

Marcas fiduciales. Cuatro u ocho marcas de referencia que están fijas en el marco de una cámara aérea y que son visibles en cada exposición. Las marcas fiduciales son utilizadas para calcular la transformación entre las coordenadas de archivo y las coordenadas de imagen.

Matriz. Un conjunto de números ordenados de acuerdo a un arreglo rectangular. Si la matriz tiene i filas y j columnas, se dice que es una matriz i por j .

Matriz de error. En la evaluación de la exactitud de una clasificación, una matriz cuadrada que muestra el número de pixeles de referencia que tienen los mismos valores en la realidad y en la clasificación.

Matriz de transformación. Un conjunto de coeficientes que es calculado a partir de GCPs y que es utilizado en ecuaciones polinómicas para convertir las coordenadas de un sistema a otro. El tamaño de la matriz depende del orden de la transformación.

Modelamiento. El proceso de crear unos temas a partir de la combinación, u operación de temas existentes. El modelamiento permite la creación de nuevas clases a partir de clases existentes y la creación de un conjunto pequeño de imágenes -quizás incluso una imagen simple- las cuales, a simple vista, contienen muchos tipos de información sobre una escena.

Modelo de elevación digital. (DEM) Niveles continuos de estructura ráster, en los cuales los niveles digitales representan la elevación. USGS suministra DEMs en escalas 1:24,000 y 1:250,000.

Mosaico. El proceso de colocar juntas varias imágenes, unas al lado de las otras, para crear una imagen con un mayor cubrimiento.

Muestra de entrenamiento. Un conjunto de píxeles seleccionado para representar una clase potencial. También llamada muestra.

Multitemporal. Datos de dos o más fechas diferentes.

Nadir. El área en el terreno que está directamente abajo de los detectores de un barredor.

Nivel de confianza. El porcentaje de píxeles que se consideran clasificados incorrectamente.

Nodo. Los puntos extremos de una línea.

Normalized Difference Vegetation Index. (NDVI) La fórmula para NDVI es $(IRR) / (IR+R)$, donde IR indica la porción infrarroja del espectro electromagnético y R indica la porción roja del espectro electromagnético. NDVI permite encontrar las áreas de vegetación en una imagen.

Número Digital o Nivel Digital. (DN) Variación en la intensidad del pixel debido a la composición de lo que él representa. Por ejemplo, el DN del agua es diferente del DN de la superficie terrestre. El DN está expresado usualmente en un valor que está en el rango de 0 a 255.

Ortorrectificación. Una forma de rectificación que corrige el desplazamiento debido al relieve y que puede ser realizada si se dispone de un DEM del área de estudio.

Paralelepípedo. 1. Una regla de decisión de clasificación en la cual los valores de los niveles digitales de los píxeles candidatos son comparados con los valores mínimo y máximo. 2. Los límites de una clasificación de paralelepípedo, especialmente cuando se grafican como rectángulos.

Parámetro. 1. Cualquier variable que determina el resultado de una función u operación. 2. El promedio y la desviación estándar de los datos, los cuales son suficientes para describir una curva normal.

Pendiente. El cambio en elevación sobre una cierta distancia. La pendiente puede ser reportada como un porcentaje o también en grados.

Percepción remota o teledetección. La medición o adquisición de datos sobre un objeto o escena por un satélite u otro instrumento sobre o lejos del objeto. Las fotografías aéreas, las imágenes de satélite y de radar son todas formas de percepción remota.

Píxel.- El elemento más pequeño de una imagen, que puede procesarse individualmente en un sistema de despliegue de video. (Ramírez, 2006)

Proyección cartográfica. Un método de representar la superficie esférica tridimensional de un planeta en una superficie cartográfica bidimensional. Todas las proyecciones cartográficas involucran la transferencia de latitud y longitud en una superficie que es fácil de aplanar.

Proyección cilíndrica. Una proyección cartográfica que es creada mediante la proyección de la superficie de la tierra a la superficie de un cilindro.

Proyección cónica. Una proyección cartográfica que es creada mediante la proyección de la superficie de la tierra a la superficie de un cono.

Proyección de equilibrio. Una proyección cartográfica que establece un punto medio entre dos o más de las propiedades de conformidad, equivalencia, equidistancia y dirección verdadera de las proyecciones cartográficas.

Proyección modificada. Una proyección cartográfica que es una versión modificada de otra proyección. Por ejemplo, la proyección espacial u oblicua de Mercator es una modificación de la proyección de mercator.

Proyección perspectiva. La proyección de los puntos mediante líneas rectas que conectan un punto de perspectiva dado y la intersección con el plano de proyección.

Proyección pseudo. Una proyección cartográfica que tiene solamente algunas de las características de otra proyección.

Punto de control. Punto de coordenadas conocidas en el sistema de coordenadas de terreno, expresadas en las unidades de la proyección cartográfica especificada.

Puntos de control terrestre. (GCP) Píxel específico de una imagen para el cual se conocen las coordenadas de mapa u otras coordenadas de salida. Los GCPs son utilizados para calcular la matriz de transformación que se utiliza en la rectificación de una imagen.

Radiación electromagnética. (EMR) La energía transmitida a través del espacio en forma de ondas eléctricas y magnéticas.

Reducir. El proceso de ignorar (skipping) los píxeles de archivo cuando se despliega una imagen de manera tal que un área mayor pueda ser representada en la pantalla de despliegue. Por ejemplo, un factor de reducción de 3 hace que únicamente el píxel de cada tercera fila o columna sea desplegado, así que cada píxel desplegado representa un bloque de 3x3 píxeles.

Reflectancia relativa promedia interna. (IARR) Una técnica diseñada para compensar la contaminación atmosférica del espectro electromagnético.

Región de infrarrojo lejano. (LWIR) La región de infrarrojo termal o lejano del espectro electromagnético.

Región infrarroja de onda corta. (SWIR) Las regiones de infrarrojo cercano y medio del espectro electromagnético.

Registro. 1. El conjunto de todos los atributos para una clase de objeto 2. La unidad de almacenamiento básico en una cinta de nueve pistas.

Regresión de mínimos cuadrados. El método utilizado para calcular la matriz de transformación a partir de GCPs. Este método es discutido en textos de estadística.

Resolución. Un nivel de precisión de los datos. Para tipos específicos de resolución vea resolución de despliegue, resolución radiométrica, resolución espacial, resolución espectral, y resolución temporal.

Resolución espacial. Una medida del objeto más pequeño que puede ser resuelto por un sensor ó el área del terreno representada por cada píxel.

Resolución espectral. Los intervalos específicos de longitud de onda en el espectro electromagnético que un sensor puede captar.

Resolución radiométrica. El rango dinámico o el número de los posibles valores de archivo o niveles digitales, en cada banda. Esto se conoce como el número de bits en los cuales se divide la energía registrada. Ver profundidad del pixel.

Resolución temporal. La frecuencia con la cual un sensor obtiene imágenes de un área particular.

RGB. Rojo, verde, azul. Los colores aditivos primarios que son utilizados en la mayoría del hardware para desplegar imágenes.

Sensor. Un dispositivo que recolecta energía, la convierte a una señal digital y la presenta de una manera útil para obtener información sobre el medio ambiente.

Sensor de alta resolución visible. (HRV) Un explorador de empuje a bordo del satélite SPOT que toma una secuencia de líneas de imagen mientras el satélite hace su órbita alrededor de la tierra.

Sensor de alta resolución visible infrarrojo. (HR VIR) Un explorador de empuje que está a bordo del satélite SPOT 4, que captura información en las bandas visibles y en el infrarrojo cercano (SPOT Image 1999).

Sensores activos. Los sensores que emiten y reciben radiación.

Sensores hiperspectrales. Sensores de imágenes que registran múltiples bandas de datos, tales como el AVIRIS con 224 bandas.

Sensores pasivos. Sensores de imágenes ópticas que únicamente pueden recibir ondas de radiación y que no pueden transmitir radiación.

Servidor. Un computador en una red, o una utilidad, que hace que algún recurso o servicio esté disponible a otras máquinas de la red (tal como el acceso a una unidad de cinta).

Pseudo-color. Un método de despliegue de una imagen (usualmente una capa temática) que permite que las clases tengan colores distintivos. Los valores de clase del archivo de banda única son traducidos por medio de las tres funciones de memoria que almacenan un esquema de color para la imagen.

Shapefile. Un formato vectorial de que contiene datos espaciales. Tienen la extensión .shp.

Símbolo. Un elemento de anotación que consiste de otros elementos (sub-elementos).

Sistema de coordenadas. Un método para expresar la posición. En sistemas de coordenadas de dos dimensiones las posiciones son expresadas por columnas y filas. También se conocen como X y Y.

Sistema de Información Geográfica. (GIS) Un sistema único diseñado para una aplicación particular que almacena, mejora, combina y analiza temas geográficos para producir información interpretable. Un GIS puede incluir imágenes digitales, mapas análogos, datos estadísticos y otros datos requeridos para un estudio, lo mismo que programas de computador y conocimiento humano. Un GIS puede ser usado para resolver problemas complejos de planificación y gestión espacial.

Sistema de Posicionamiento Global. (GPS) Sistema usado para la colección de GCPs, puntos de control terrestre, que usa satélites en órbita para calcular posiciones precisas sobre la superficie de la tierra.

SPOT. Una serie de satélites que orbitan la tierra operados por el Centro Nacional de Estudios Espaciales (CNES) de Francia.

Subsetting. El proceso de dividir una porción de un archivo de una imagen en uno o más archivos pequeños.

Superposición. 1. Una función que crea un archivo compuesto que contiene los valores mínimos o máximos de los valores de clase de los archivos de entrada. La superposición se refiere generalmente a una combinación de capas. 2. El proceso de desplegar un archivo clasificado sobre la imagen original para revisar una clasificación.

Thematic Mapper. (TM) Datos LANDSAT adquiridos en siete bandas con una resolución espacial de 30x30 metros.

Thematic Mapper Simulator. (TMS) Un instrumento diseñado para simular las características espectrales, espaciales y radiométricas del sensor Thematic.

Topología. Un término que define las relaciones espaciales entre los objetos en una capa vectorial.

Triangulación. Establece la geometría de la cámara o sensor relativa a los objetos sobre La superficie de la tierra.

Triangulated Irregular Network. (TIN) Una representación específica de los DTMs en los cuales los puntos de elevación pueden ocurrir a intervalos irregulares.

Umbral. Un límite, o punto de corte, usualmente la máxima cantidad de error permisible en un análisis. En clasificación, thresholding es el proceso de identificar una distancia máxima entre un pixel y el promedio de la firma a la cual fue clasificada.

United States Department of Agriculture. (USDA) Una organización que regula la agricultura en EEUU.

United States Geological Survey. (USGS) Una organización relacionada con biología, geología, cartografía y agua.

Universal Transverse Mercator. (UTM) UTM es un sistema internacional de coordenadas planas (rectangulares) desarrollado por la Armada de EEUU que cubre el mundo desde 84° N hasta 80° S. El mundo se divide en 60 zonas cada una cubriendo seis grados de longitud. Cada zona se extiende tres grados hacia el este y tres grados hacia el oeste de su meridiano central. Las zonas son numeradas consecutivamente de oeste a este a partir del meridiano 180°.

Varianza. Una medida de tendencia central.

Vecino más cercano. Un método de re muestreo en el cual el valor de archivo de los datos de salida es igual al del pixel de entrada que tiene las coordenadas más cercanas a las coordenadas re transformadas del pixel de salida.

Vector. 1. Un elemento lineal. 2. Una matriz unidimensional que tiene una fila (1 . j) o una columna (i .1). Ver también vector principal, vector de medición.

Zoom. El proceso de expandir los pixeles desplegados en la imagen de manera tal que se puedan examinar más cerca. Zooming es similar a magnification (ampliación) excepto en que cambia el despliegue de manera temporal, manteniendo igual la memoria de imagen.

Cuadro 1. Características de las Bandas del Sensor Landsat TM 5.

Banda Espectral	Longitud de Onda	Descripción de las Bandas en el sensor Landsat TM
1	0.45 -0.52 (Azul)	Máxima penetración en el agua, útil en la elaboración de mapas de batimetría, para distinguir suelos de vegetación decidua de coníferas (Sabins, F. 1987). No recomendable su uso aislado debido a su bajo contraste y la sensibilidad a la nubosidad (Agung, R. 1995).
2	0.52 - 0.60 (Verde)	Máxima reflectancia del verde en la vegetación, el cual sirve para evaluar el vigor de la vegetación (Sabins, F. 1987). No recomendable su uso aislado debido a su bajo contraste y a la sensibilidad a las nubes (Agung, R. 1995).
3	0.63 - 0.69 (Rojo)	Banda que absorbe la clorofila la cual es importante para diferenciar los tipos de vegetación (Sabins, F. 1987). Mejor forma de mostrar vegetación no arbórea en el bosque. Menos efectiva para mostrar áreas quemadas, contrastes entre agua y vegetación decidua de coníferas (Agung, R. 1995).
4	0.76 - 0.90 (Infrarrojo cercano)	Usado para determinar el contenido de biomasa y para el mapeo de líneas costeras (Sabins, F. 1987). Mejor forma para el contraste de vegetación decidua de coníferas, cuerpos de agua, áreas quemadas. Menos efectivas que la banda TM3 para caminos, otros tipo de vegetación no arbórea (Agung, R. 1995).
5	1.55 - 1.75 (Infrarrojo medio)	Indica el contenido de humedad del suelo y la vegetación. (Sabins, F. 1987). Esta banda muestra sobretodo caminos, claros, áreas quemadas, agua y presenta un buen contraste en la vegetación decidua de coníferas. Excelente penetración de la nubosidad. Sin embargo, es menos efectiva que la banda 3 para caminos y claros (Agung, R. 1995).
6	10.4 - 12.5 (Termal)	Resolución : 120 m Esta región espectral responde a la radiación termal (calor) emitida por el terreno (Agung, R. 1995) Las imágenes nocturnas son prácticas para mapeos térmicos y para estimaciones de la humedad del suelo (Sabins, F. 1987)
7	2.08 - 2.35 (Infrarrojo Lejano)	Útil para discriminar los minerales, los tipos de roca y el contenido de humedad de la vegetación (Agung, R. 1995). Esta banda está presente en la parte visible del espectro electromagnético pero tiene una mayor habilidad para la penetración de la nubosidad que la banda 5. Es útil en combinación con la banda 4 para resaltar áreas quemadas (Sabins, F. 1987)

Fuente: Macera (1998) citado por CDC-UNALM (2002)

Cuadro 2. Coeficiente de Kappa

Clase	Fórmula	Concordancias atribuibles al azar
Pastizal Remontado	$= 19 * 19 / 49$	7.37
Minería	$= 15 * 15 / 49$	4.59
Pastizales	$= 11 * 10 / 49$	2.24
Tumba	$= 4 * 5 / 49$	0.41
Σ Concordancias atribuibles al azar		14.61

Fuente: Elaboración propia (2012)

Entonces aplicando la fórmula se tiene:

$$k = \frac{43 - 14.61}{49 - 14.61} = 0.83$$

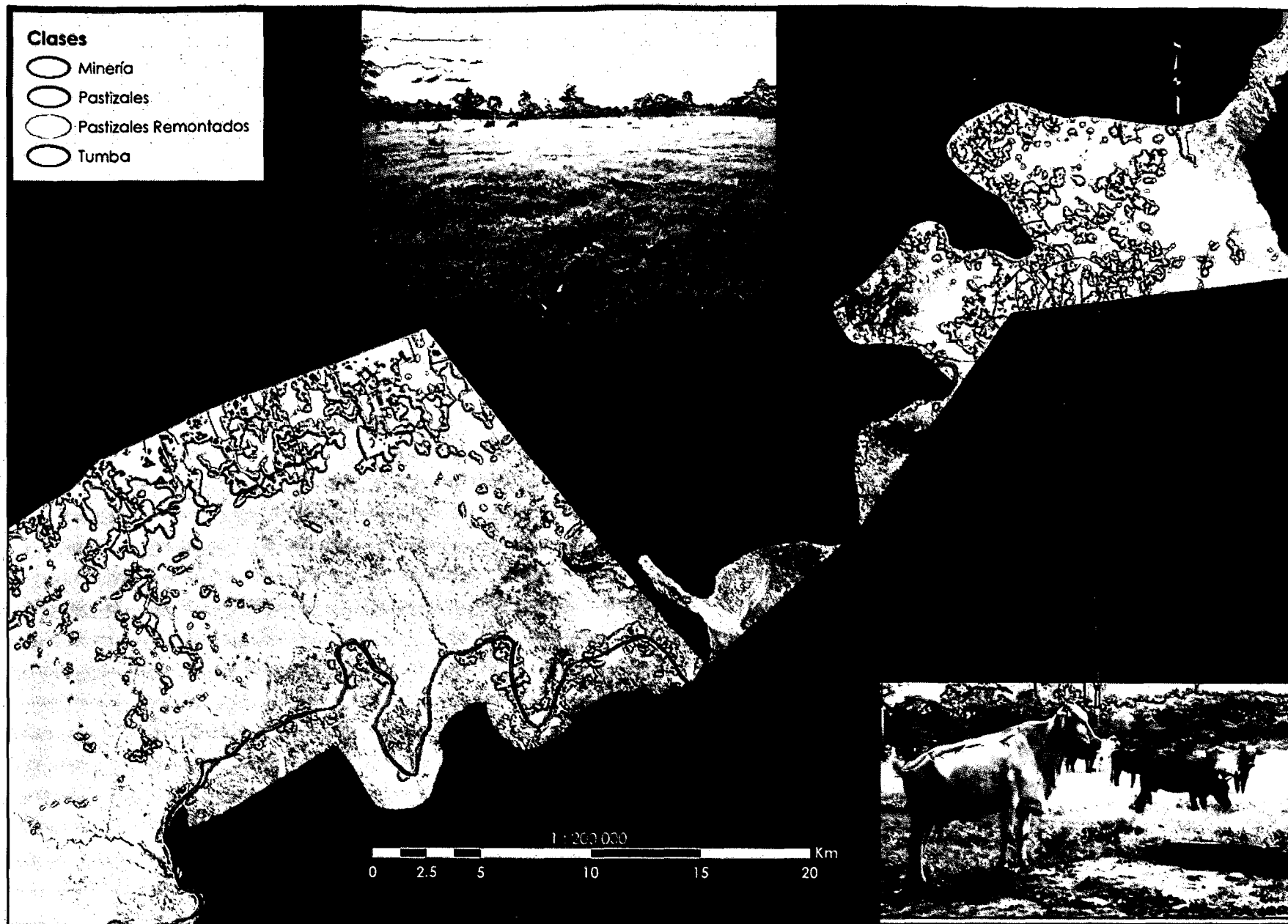


Figura 1. Clase Pastizales
Fuente: Elaboración propia (2012)



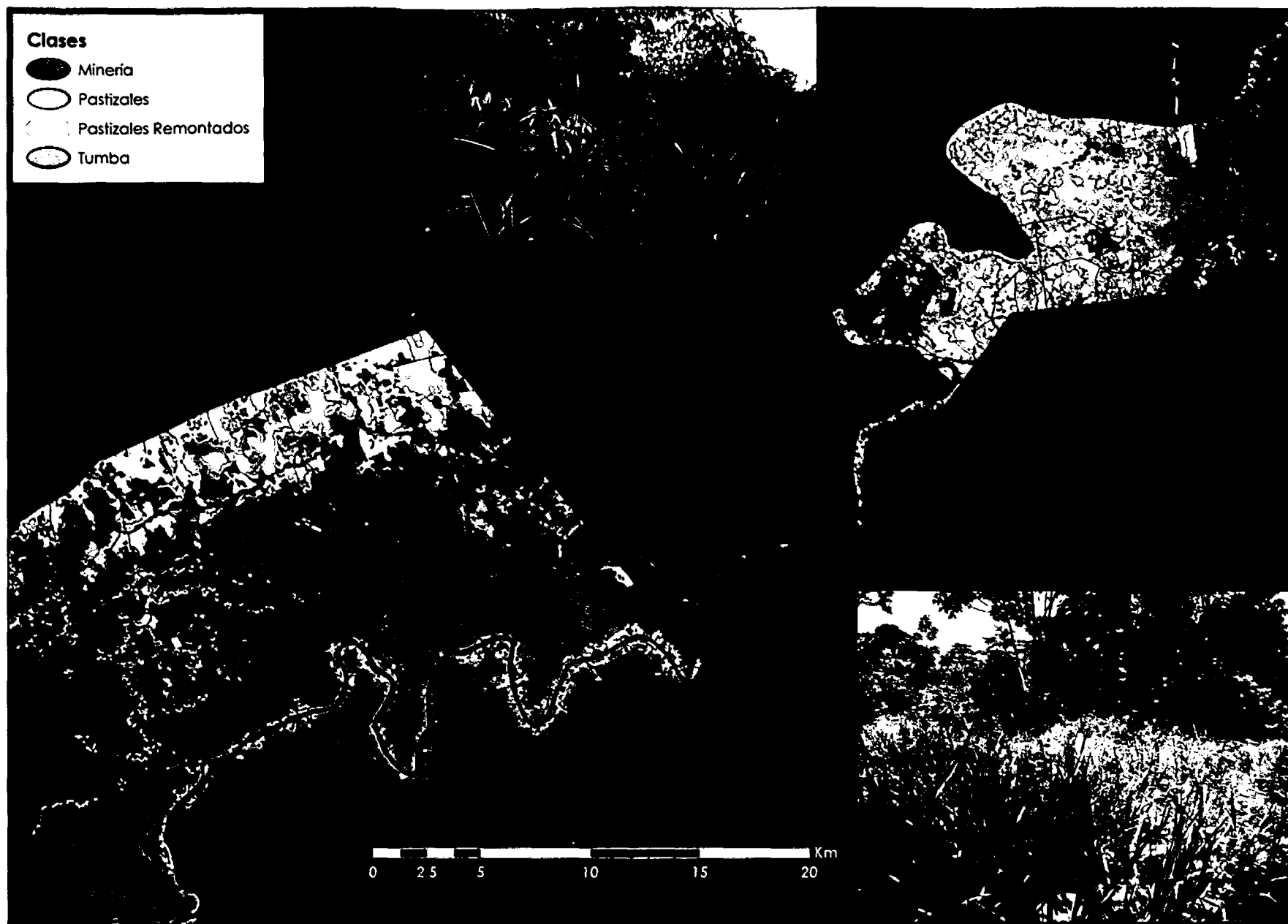


Figura 2. Clase Pastizales Remontados
Fuente: Elaboración propia (2012)

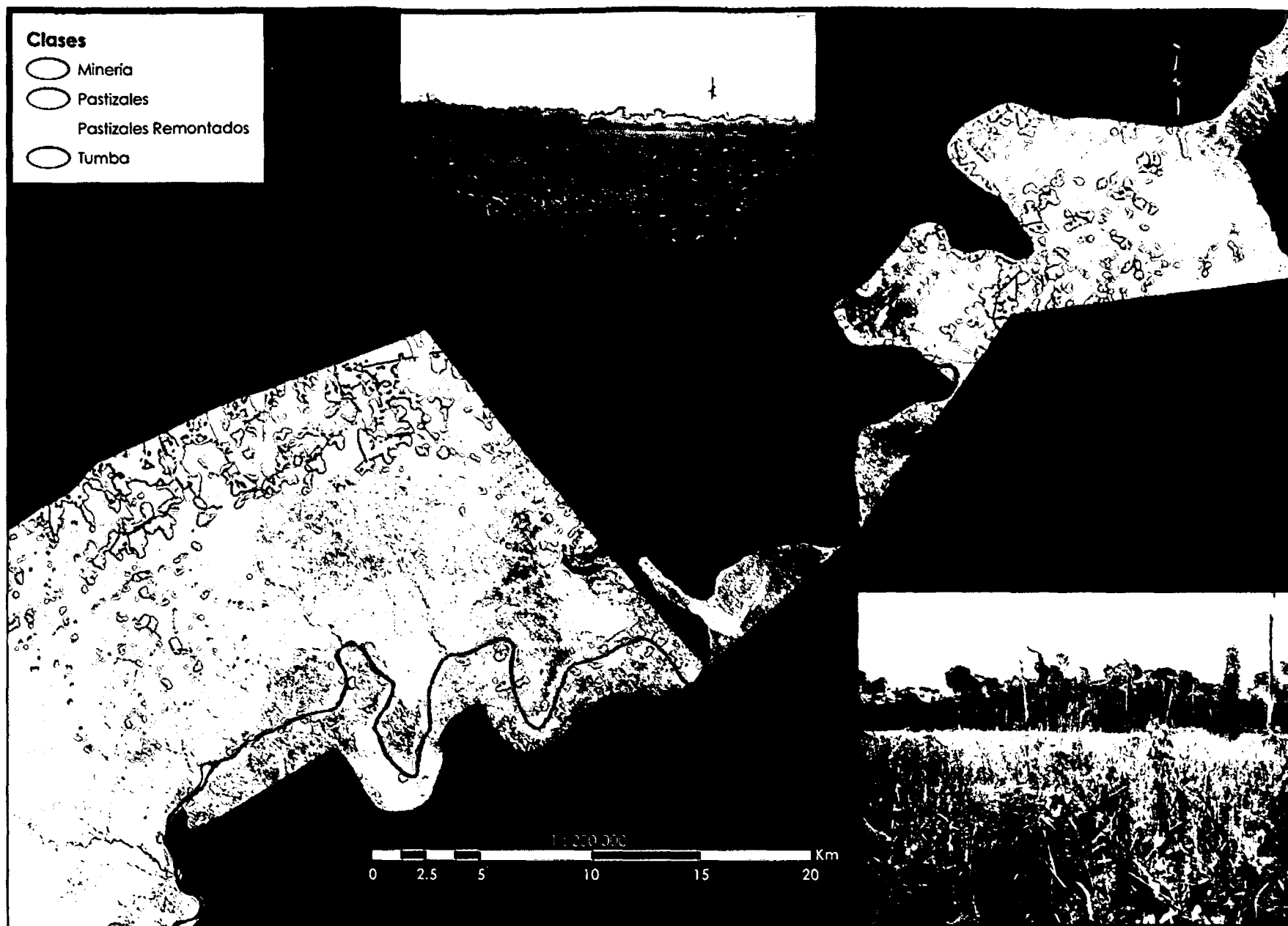


Figura 3. Clase Tumba
Fuente: Elaboración propia (2012)

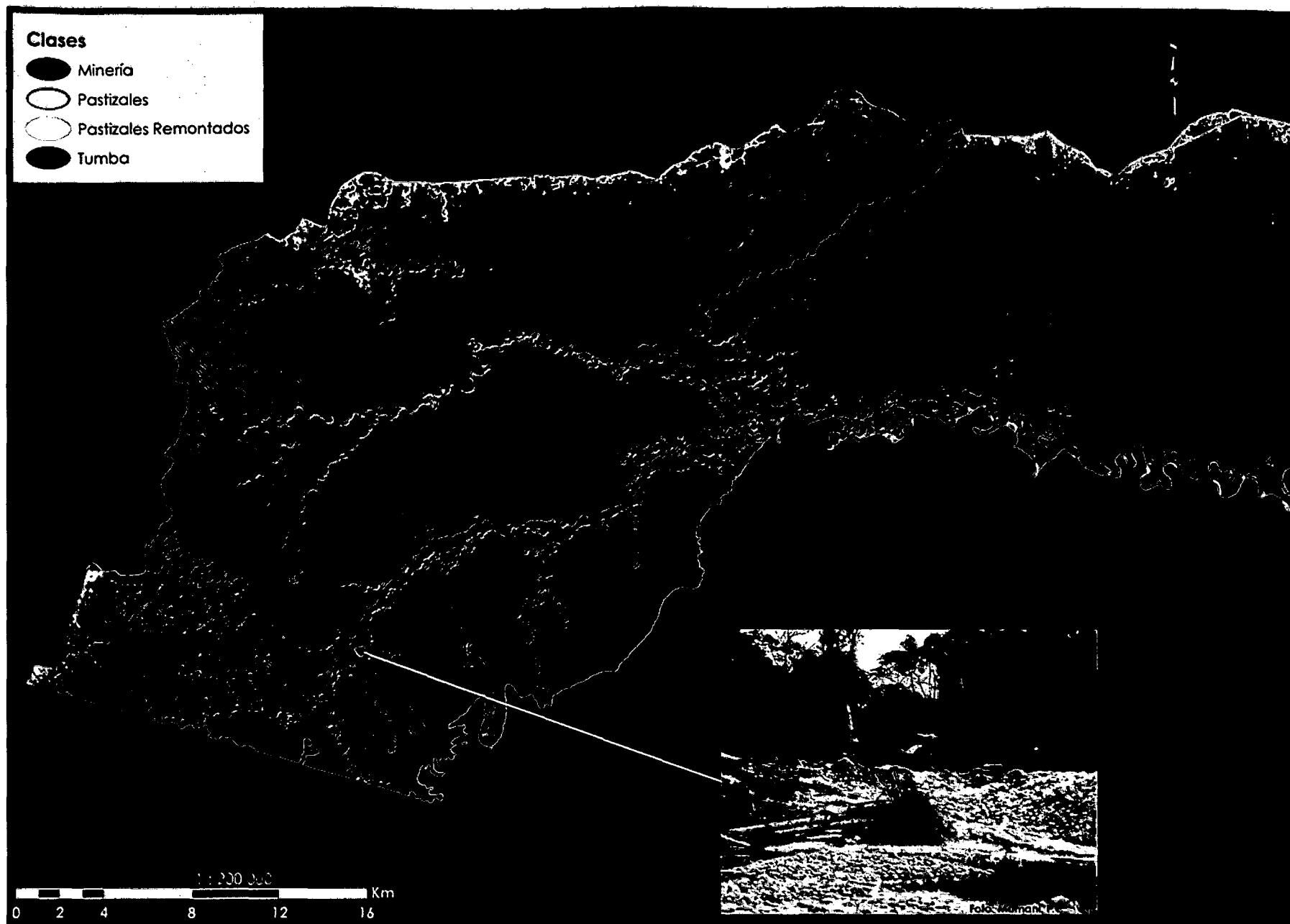


Figura 4. Clase Minería
Fuente: Elaboración propia (2012)

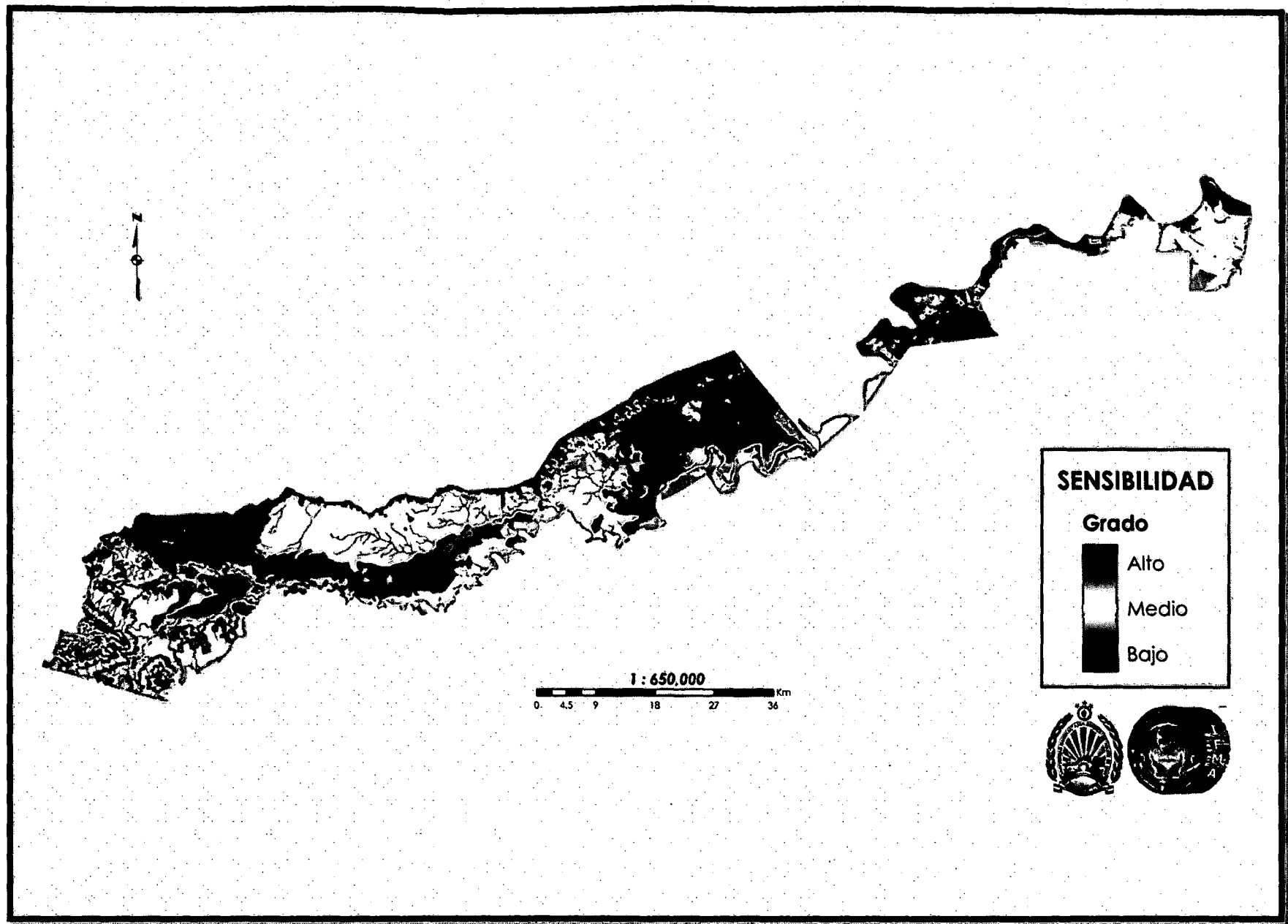


Figura 5. Mapa de Sensibilidad
Fuente: Elaboración propia (2012)

FORMULARIO PARA LA MUESTRA DE ENTRENAMIENTO (ME)

Tipo de Observación:

☐ Observación dentro de la muestra☐ Observación en la orilla☐ Observación a

Distancia

ID DE INVESTIGACION DADAH ID DE PAIS: PERU ID DE DEPARTAMENTO: MADRE DE DIOS ID DE PROVINCIA: TAMBOPATA

ID DE DISTRITO: _____ ID SECTOR: _____ ME#: _____

FECHA DE HOY (d/m/a) ____ / ____ / 2012 HORA LOCAL _____ COLECTOR _____

CLASE DE LA ME: _____ AREA DE LA ME / PROPIETARIO: _____

PRODUCTOS DE IMAGEN USADOS: ID de imagen/fecha: _____ Composición de Color: R=7 V=4 A=3

ME CLASE DE LA IMAGEN ANALIZADA CLASE _____

CLASE OBSERVADA: Minería ☐ Tumba ☐ Pastizales ☐ Pastizales remontados ☐COORDENADAS GEOGRAFICAS EN EL CAMPO: UTM Zona 19 Datum: WGS84

UTM (X) _____ [m] UTM (Y): _____ [m] ELEVACION: _____ msnm

INFORMACIÓN DEL GPS: ARCHIVO: _____ Veracidad estimada: _____

UBICACIÓN TOPOGRÁFICA DE LA ME: Cresta _____; Falda _____; Planicie _____ Angulo de Pendiente: _____ ° (0-90°) Azimut (dirección hacia debajo de la pendiente máxima donde el agua correría naturalmente) _____ (0-360°)

CLASE DE ACCESIBILIDAD: Muy difícil ☐ Difícil ☐ Moderado ☐ Fácil ☐ Muy Fácil ☐

Distancia estimada desde la carretera: _____ km

DIAGRAMAS DE OBSERVACIONES GENERALES: Muestre el punto de GPS, en Norte, y el área de la ME, con relación a rasgos importantes, especialmente los visibles en la imagen. Indique el tipo de estructura vegetativa. Observaciones a distancia: muestre la ubicación del observador relativo al punto de la ME.

Vista AéreaDiagrama de Perfil (paralelo a la pendiente máxima)

(Incluya rasgos, norte y escala)

(Dibujo de la vegetación y pendiente, incluye escala vertical)

TIPO DE COBERTURA DE LA TIERRA (ponga un cheque a la par del tipo de cobertura de la tierra o escriba en otros):

TIPO DE BOSQUE EXISTENTE	CLASES DE PERTURBACION Y/O ACTIVIDAD:
Actividad agropecuaria / Bs	Minería
Aluvial inundable	Tumba
Colina alta fuerte	Pastizales
Colina alta suave	Pastizales con purma
Colina baja fuerte	Otros:
Colina baja suave	
Deforestación	
Terraza alta	
Terraza disectada fuerte	
Terraza disectada suave	
Otros:	Otros:

Fuente: AIDER, 2010

Si existe vegetación secundaria, indique la vegetación original si se conoce: _____

OBSERVACIONES GENERALES:

Numero de fotos tomadas: _____ **Códigos de Cámara Digital:** _____

ME marcada en los productos de imagen: No___ Sí___ Si no, explique: _____

Otras observaciones: