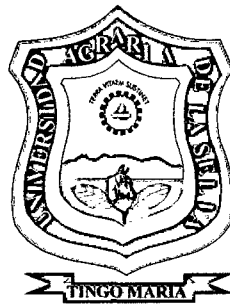


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS DE LOS

RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**“MEDICIÓN DE DEFORESTACIÓN E ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE
DIFERENCIA NORMALIZADA, MEDIANTE PERCEPCIÓN REMOTA
EN LA MICROCUENCA RÍO SUPTÉ”**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

MENCIÓN FORESTALES

MIGUEL ÁNGEL LAURENTE CAJACURI

PROMOCIÓN: 2007 - II

Tingo María – Perú

2009

K70

L29

Laurente Cajacuri, Miguel Ángel.

Medición de Deforestación e Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, Mediante Percepción Remota en la Microcuenca Río Supte. Tingo María, 2009.

74 h.; 9 cuadros; 12 fgrs.; 34 ref.; 30 cm.

Tesis (Ingeniero en Recursos Naturales Renovables Mención: Forestales)
Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad
de Recursos Naturales Renovables.

DEFORESTACIÓN / TELEDETECCIÓN / SIG / LANDSAT / RECEPTOR

GPS / PROCESAMIENTO DIGITAL / ÍNDICE DE VEGETACIÓN /

TINGO MARÍA / RUPA RUPA / LEONCIO PRADO / HUÁNUCO / PERÚ.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 15 de abril de 2009, a horas 07:00 p.m. en la Sala de Conferencias de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para calificar la tesis titulada:

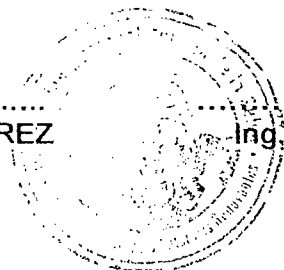
“MEDICION DE DEFORESTACION E INDICE DE VEGETACION DE DIFERENCIA NORMALIZADA, MEDIANTE PERCEPCION REMOTA EN LA MICROCUENCA RIO SUPTE”

Presentado por el Bachiller: **MIGUEL ANGEL LAURENTE CAJACURI**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de “**MUY BUENO**”.

En consecuencia el sustentante queda apto para optar el **Título de INGENIERO en RECURSOS NATURALES RENOVABLES, mención FORESTALES**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del título correspondiente.

Tingo María, 21 de abril de 2009

.....
Ing. M.Sc. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ
Presidente



AUSENTE
.....
Ing. WARREN RIOS GARCIA
Vocal

.....
Ing. M.Sc. LUIS ALBERTO VALDIVIA ESPINOZA
Vocal

AUSENTE
.....
Ing. M.Sc. CARLOS HUATUCO BARZOLA
Asesor

.....
Ing. M.Sc. RONAL HUGO PUERTA TUESTA
Co asesor

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, la fuerza y el valor necesario para seguir adelante y cumplir con una de mis metas más deseadas en la vida.

A mis amados padres: Donato Miguel y Elsa Luz, por su eterno amor, confianza e invaluable dedicación en mi educación.

A mi querido hermano Jans Antony por su apoyo, confianza, y gran amor fraternal.

A mi querido hermano Jhonatan Elvis, por los momentos maravillosos, y que Dios tenga en su gloria.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la vida y ponerla en este camino, lleno de metas y superación.

A mis padres, por el amor fraternal, apoyo moral y económico, con ese gran ejemplo de salir adelante.

A Arabella Marenka Román del Águila y a toda su familia, por la confianza y apoyo en la culminación de la tesis y mi carrera.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por ser la base, de mi vida profesional.

A todos los profesores de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, quienes contribuyeron en mi formación académica.

Al Ing. M.Sc. Carlos Huatuco Barzola, patrocinador de este trabajo y por el apoyo e iniciativa en la investigación.

Al Ing. M.Sc. Ronald Hugo Puerta Tuesta, co-patronicador, por el apoyo incondicional en todo sentido, y brindarme ese ejemplo de persona.

Al Ing. M.Sc. Luís Alberto Valdivia Espinoza, por darme las primeras pautas en el tema del SIG, y el gran ejemplo de profesionalismo a seguir.

A mis amigos Jenner Lopez, José Domínguez, Charly Utia, José Solano, Gunter Daza, Wilfredo Daza, Frits Palomino, Wilmer Caruhajulca, Augusto Saavedra, Igmar del Águila, Jorge Valdivia, Luis Cruzado, y todos aquellos por la ayuda prestada y la grandiosa amistad que mantenemos.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	01
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	04
2.1. Deforestación.....	04
2.1.1. Deforestación en el Perú.....	04
2.1.2. Causas de la deforestación.....	05
2.1.3. Deforestación en Huánuco.....	06
2.1.3.1. Problemática del cultivo de la hoja de coca....	06
2.2. Teledetección.....	07
2.2.1. Fundamentos de la observación remota.....	08
2.2.2. Espectro electromagnético.....	09
2.2.3. Bandas espectrales.....	09
2.3. Generalidades sobre la reflectancia de las superficies.....	11
2.3.1. Comportamiento de la vegetación.....	11
2.4. Mecanismos de Interacción.....	12
2.4.1. Interacción de la atmósfera con la radiación electromagnética.....	13
2.5. Sensores.....	14
2.5.1. Sensores pasivos.....	14
2.5.2. Sensores activos.....	15
2.6. Imágenes satelitales.....	15
2.7. Programa espacial Landsat.....	16
2.8. Pre-procesamiento digital de imágenes satelitales	

multitemporales.....	17
2.8.1. Corrección Geométrica.....	17
2.8.1.1. Rectificación mapa a imagen.....	18
2.8.2. Corrección radiométrica.....	18
2.8.2.1. Conversión de ND a radiancia.....	19
2.8.2.2. Corrección atmosférica.....	19
2.8.2.3. Corrección del sombreado topográfico.....	21
2.9. Clasificación digital.....	21
2.9.1. Método mínima distancia.....	22
2.10. Validación de resultados.....	22
2.10.1. Matriz de confusión e Índice kappa.....	23
2.11. El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).....	24
2.12. Teledetección y SIG.....	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1. Ubicación del zona de estudio.....	27
3.1.1. Lugar de ejecución.....	27
3.1.2. Características del área de estudio.....	28
3.1.2.1. Clima y ecología.....	28
3.1.2.2. Fisiografía.....	28
3.1.2.3. Hidrología.....	29
3.1.2.4. Vegetación.....	29
3.1.2.5. Fauna.....	30
3.2. Materiales.....	31
3.2.1. Material cartográfico.....	31

3.2.2. Material satelital.....	31
3.2.3. Hardware y software.....	31
3.2.4. Equipos y materiales complementarios.....	32
3.3. Metodología.....	32
3.3.1. Trabajo de campo.....	32
3.3.1.1. Localización y caracterización de las áreas clases.....	32
3.3.2. Pre-procesamiento de las imágenes satelitales Landsat.	34
3.3.2.1. Adquisición de las imágenes.....	34
3.3.2.2. Corrección geométrica.....	34
3.3.2.3. Corrección radiométrica.....	34
- Conversión de ND a radiancia.....	35
- Corrección atmosférica.....	36
- Corrección de sombreado topográfico.....	38
3.3.2.4. Método de clasificación.....	42
3.3.2.5. Validación de los resultados.....	43
3.3.2.6. Determinación tasa y curva de deforestación...	45
3.3.2.7. Cálculo de NDVI.....	46
3.3.2.8. Mapa producto.....	46
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
4.1. De la correcciones de pre-procesamiento.....	48
4.1.1. Corrección geométrica.....	48
4.1.2. Corrección atmosférica.....	49
4.1.3. Corrección de sombras por relieve topográfico.....	50

4.2. Validación de resultados de la clasificación.....	52
4.3. De la tasa y curva de deforestación.....	54
4.4. Del Índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI.....	58
V. CONCLUSIONES.....	60
VI. RECOMENDACIONES.....	61
VII. ABSTRACT.....	62
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
IX. ANEXOS.....	67
1. Variables de la corrección atmosférica.....	68
2. Efecto de relieve topográfico.....	68
3. Generación MDE y sus variables derivadas.....	69
4. Modelo de iluminación y superficie de referencia.....	69
5. Distribución de puntos para la matriz de confusión.....	70
6. Ubicación de los puntos de la matriz de confusión.....	72
7. Mapa temático de clasificación digital 1990.....	73
8. Mapa temático de clasificación digital 2005.....	74

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Bandas del sensor TM-5.....	10
2. Valores de Kappa.....	24
3. Imágenes Landsat TM-5.....	31
4. Valores para la corrección radiométrica.....	36
5. Error medio cuadrático (RMS).....	48
6. Matriz de confusión año 2005.....	53
7. Tasa de deforestación.....	55
8. Áreas de cobertura decreciente.....	55
9. Áreas de cobertura creciente.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Diagrama de etapas de la percepción remota.....	8
2. El espectro electromagnético.....	9
3. Curvas de reflectancia de las superficies.....	12
4. Comportamiento de la vegetación.....	25
5. Microcuenca de Supte San Jorge.....	27
6. Áreas clases o de entrenamiento.....	33
7. Diagrama de la metodología desarrollada.....	47
8. Corrección atmosférica.....	49
9. Corrección topográfica.....	51
10. Líneas negativas de las categorías.....	56
11. Líneas tendiente positiva de las categorías.....	57
12. Índice de vegetación en los años 1990 y 2005.....	59

RESUMEN

La investigación nace por iniciativa de conocer el proceso de deforestación, en la microcuenca del río Supte (8745,5 ha), ubicada a la margen derecha del río Huallaga, sector que en gran parte ha sido altamente alterado por la práctica de la agricultura migratoria, y trajo como consecuencia grandes extensiones de suelos degradados, el objetivo del trabajo fue medir tasa de deforestación en el periodo de 1990 a 2005, utilizando técnicas de teledetección y SIG, como también dos imágenes satelitales Landsat TM-5, correspondientes a la fecha. En primer lugar realizó el pre-procesamiento de las imágenes satelitales, (corrección geométrica, corrección atmosférica, corrección de sombras por relieve topográfico), haciendo uso de los software raster ERDAS IMAGINE 9.1, y los software vectoriales ARCGIS 9.2, y ArcView GIS 3.2a. Luego se realizaron salidas al campo con un receptor GPS (Sistema de Posicionamiento Global), se ubicaron áreas clase o de entrenamiento, que sirvieron para asignarle y realizar la clasificación digital supervisada, utilizando el método de mínima distancia, luego se validó este resultado llegando obtener una Exactitud Global de 82 % y un Índice de Kappa de 0,79 que indica como bueno la clasificación, después de este proceso, se cuantificaron las áreas que se tuvieron por cada clase en estudio, obteniéndose una tasa de deforestación de 34,8 ha, por año y una pérdida de 521,9 ha, de bosque en 15 años, mientras que los suelos degradados se incrementaron en 720,6 ha, llegando a un total de 1723,4 ha.

I. INTRODUCCIÓN

La destrucción de los bosques amazónicos producida por la tala indiscriminada, tanto para la extracción ilegal de madera como para la ampliación de la frontera agropecuaria, es un flagelo que afecta a muchas regiones en el mundo. El Perú no ha sido ajeno al problema de deforestación de las masas boscosas, por ser fuente de alimento y riqueza de la población. De ésta manera se reconoce cada vez más la importancia que han tenido y tienen los bosques en la lucha contra la pobreza y la protección del ambiente, sin embargo, a nivel mundial, el ritmo del desmonte y la degradación forestal siguen siendo alarmantes (SCHWARTZ, 2004).

Si bien es cierto que para el manejo y control de los recursos naturales, se tiene índices de deforestación que en realidad son muy generales correspondiendo a datos departamentales y nacionales, que no reflejan lo que acontece realmente en las pequeñas localidades. Siendo otro factor, de importancia, la gran diversidad de climas y zonas que hacen más complejo el manejo forestal en el Perú.

De otro lado las técnicas relacionadas con la percepción remota han significado una herramienta fundamental para el estudio del ambiente

(CHUVIECO, 1996). Estas técnicas constituyen un conjunto de instrumentos que permiten la obtención, medición y registro de información a distancia, fundamentalmente se basan en las propiedades que poseen los diferentes cuerpos de reflejar la energía electromagnética proveniente de la radiación solar incidente sobre la superficie terrestre. Las imágenes obtenidas por los satélites ofrecen una perspectiva única de la tierra y sus recursos. El valor de las imágenes de satélite y la información extraída de ellas es evidente, ya que ofrecen una cobertura global y periódica de la superficie terrestre con una visión panorámica y homogeneidad en la toma de datos (KARSZENBAUM, 2005).

La utilización de estas técnicas llega a ser ineficiente en el Perú por no contar con especialistas ni con centros de formación adecuados, por carencias de materiales de distinto tipo.

Bajo este contexto, el presente estudio pretende realizar una evaluación de la deforestación en la microcuenca del río Supte, ubicada a la margen derecha del río Huallaga, sector que ha sido ampliamente afectado por la migración de pobladores de la sierra con el fin de abrir la frontera agrícola, destruyendo las coberturas boscosas.

1.1. Objetivo general

- Determinar la tasa de deforestación en la microcuenca del río Supte, con la aplicación de técnicas de teledetección.

1.1.1. Objetivos específicos

- Realizar la corrección geométrica, atmosférica y de sombra por la topografía, de dos (02) imágenes satelitales.
- Validar los resultados de la clasificación digital de las imágenes satelitales.
- Determinar la tasa y curva de deforestación de la microcuenca del río Supte a través del análisis multitemporal de imágenes del satélite Landsat en un período de 15 años.
- Determinar los índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para cada imagen satelital de diferentes años.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Deforestación

La deforestación consiste en la destrucción de bosques por tala o quemado, y va acompañada por el avance tecnológico, que a su vez plantea nuevos y más graves problemas. El fuego y la necesidad de habilitar tierras para la agricultura y el pastoreo arrasan con grandes espacios forestales, y a largo plazo los suelos resultan empobrecidos por la erosión, favorecida por la ausencia de vegetación natural protectora del medio (REATEGUI, 1996). La deforestación es causada en gran manera por el crecimiento paulatino de la población humana de la región además de otros tipos de uso de la tierra como cultivos a gran escala y la ganadería extensiva que provocan una degradación en los suelos (MONTES DE OCA, 1997).

2.1.1. Deforestación en el Perú

Existen 72 millones de hectáreas de bosques que cubren más del 56 % del territorio nacional, con 53,3 millones de hectáreas con potencial actual y futuro para la producción forestal permanente. El principal problema que afecta al bosque es la deforestación. El Instituto Nacional de Recursos

Naturales (INRENA) estima que existe un total de 9,2 millones de hectáreas deforestadas, y que tiene una tasa media anual alrededor de 261 158 ha (FAO, 2004).

2.1.2. Causas de la deforestación

REÁTEGUI (1996) manifiesta que la causa principal de la deforestación es la gran demanda de tierra, más que de madera. La poca aptitud de las tierras para la agricultura y la ganadería no ha impedido la tala de árboles en laderas empinadas de alta pluviosidad y baja fertilidad. Además detrás de esta destrucción aparentemente irracional de los bosques, existen una compleja serie de factores tales como:

- El uso de las tierras.
- Las leyes y derechos de tendencia en combinación con el individualismo.
- El aumento demográfico.
- Pobreza de la población rural.
- El desempleo en las urbes, y

Las fuertes influencias extranjeras sobre la economía nacional. En contra de la creencia generalizada de que la extracción selectiva de maderas con fines comerciales es una actividad destructiva de los bosques tropicales amazónicos, debe señalarse más bien a la agricultura migratoria y a los

programas de ampliación de la frontera agrícola deficientemente implementados de los proyectos de asentamiento rural , como los principales factores condicionante de este proceso que caracteriza por ser empírico, desordenado e irracional, contrario a un desarrollo integral y permanente (REATEGUI, 1996).

2.1.3. Deforestación en Huánuco

La deforestación es uno de los problemas más importantes que afecta a los bosques del Perú y nuestra región Huánuco. Uno de los factores condicionantes está basado en las escasas oportunidades económicas de desarrollo de nuestra población, contribuyendo al proceso de migración hacia la zona de selva con la finalidad de extracción forestal e instalación de actividades agropecuarias (CALDERON, 2007).

Los procesos de intervención y deforestación, en la selva alta del Perú, tienen relación directa con la solución de los problemas socioeconómicos de las poblaciones rurales, en especial de los Andes. El poblador emigrante, por lo general se establece en la selva, y practica la agricultura migratoria, siendo la deforestación alarmante en la cuenca amazónica con cifras que oscilan entre el 10 – 60 % en las partes por el avance de la frontera agrícola (ARAUJO, 1995).

2.1.3.1. Problemática del cultivo de la hoja de coca

Los suelos cultivados con coca utilizan surcos a favor de la pendiente debido a que este cultivo no soporta excesos de humedad, por lo que el agua debe discurrir. Además, después de las cinco cosechas anuales que se acostumbra, se deja descubierto el suelo que por acción de las fuertes lluvias y radiación solar, termina erosionándose en forma acelerada, quedando estéril en muy pocos años. Estudios realizados por la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) evidencian que la erosión en los cultivos de coca llega a las 40 toneladas por hectárea, por lo cual se habrían perdido durante el año 2006, alrededor de 680 mil toneladas de suelo fértil, lo que significa la degradación anual de más de 680 hectáreas por lo que en unos años más estas tierras ya no servirán para la agricultura. Cada año son deforestadas entre 200 mil y 300 mil hectáreas en el país y cita números de INRENA y DEVIDA para asignarle a la coca "Entre el 26 % y 27 % de todo lo que se ha deforestado, porcentaje que se dispara en las cuencas cocaleras de las cuales las zonas más afectadas son las de Tingo María, el VRAE y el Monzón" (INFOREGION, 2007).

2.2. Teledetección

La Teledetección (*Remote Sensing*) se define como la ciencia y arte de obtención de información acerca de un objeto, área, o fenómeno a través del análisis de información adquirida por un dispositivo que no está en

contacto el objeto, área, o fenómeno bajo investigación (LILLESAND y KIEFER, 1994).

En general los procesos y elementos involucrados en la teledetección electromagnética de los recursos terrestres se pueden separar en dos procesos básicos; la adquisición de información y el análisis de la información (LILLESAND y KIEFER, 1994).

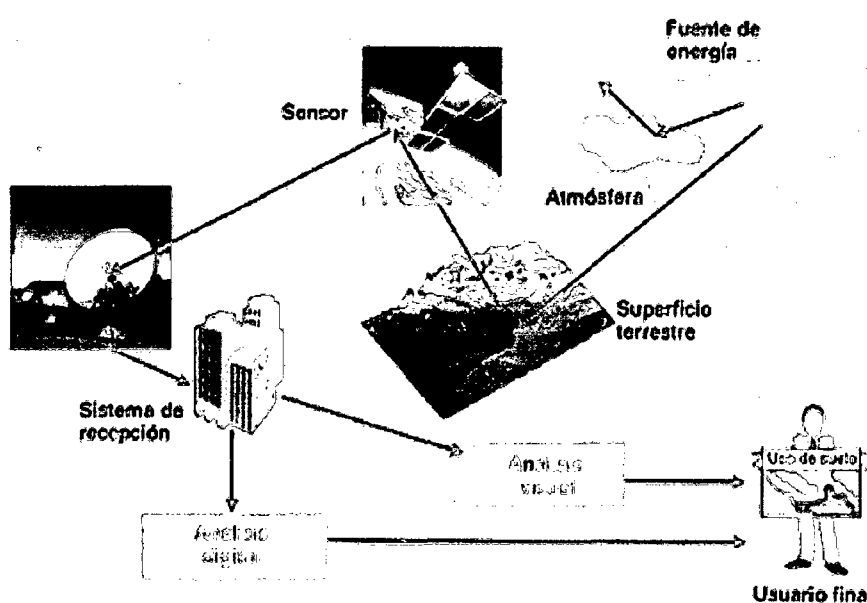


Figura 1. Diagrama de etapas de la percepción remota (GARCIA, 2006).

2.2.1. Fundamentos de la observación remota

Consta de tres elementos fundamentales; el sensor, el objeto observado y un flujo energético que permita poner a ambos en relación. Este flujo de energía puede proceder del objeto por reflexión de la luz solar, por algún tipo de energía emitida por el propio objeto, o incluso por el sensor (CHUVIECO, 1996).

2.2.2. 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).

2.2.3. Bandas espectrales

Según CHUVIECO (1996), los diversos rangos de la longitud de onda, que puede ser dividido o separados en el espectro electromagnético, reciben el nombre de región espectral o bandas espectrales, rangos que son útiles para identificar las características y propiedades físicas de cualquier tipo de material que existe en la superficie de la tierra.

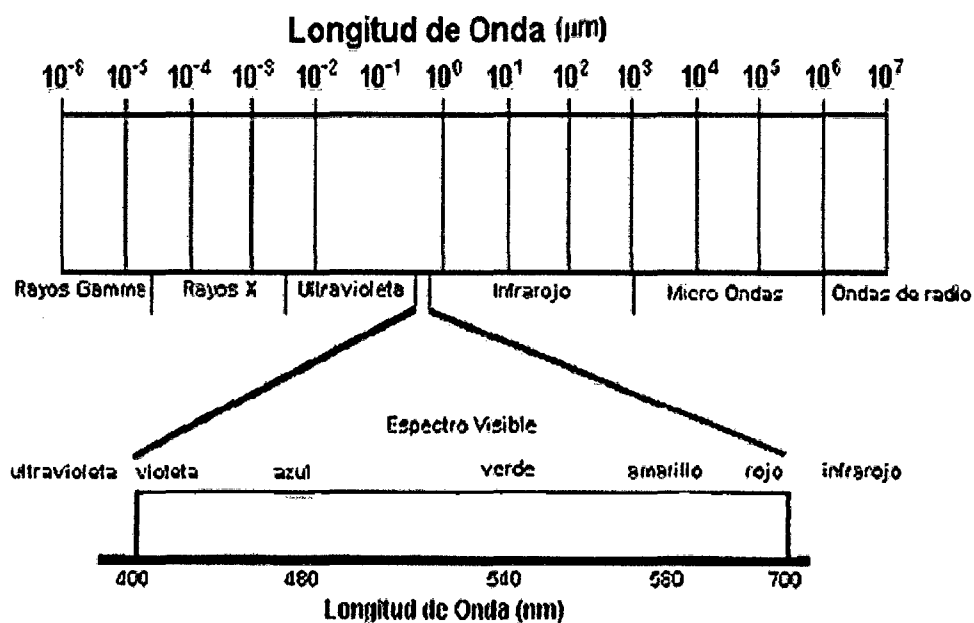


Figura 2. El espectro electromagnético (NUS, 2002).

Es necesario destacar las longitudes del espectro electromagnético en la percepción remota. Estas son las siguientes: Espectro visible (0,4 a 0,7 μm); Infrarrojo cercano (IRC, 0,7 a 1,3 μm); Infrarrojo medio (1,3 a 8 μm); Infrarrojo lejano o térmico (IRT, 8 a 14 μm); Microondas (M, por encima de 1 mm).

Cuadro 1. Bandas del sensor TM-5.

Banda/ Long. de onda	Nombre	Utilización
1 / (0,4-0,5 μm)	Azul	Se usa para discriminar suelo de vegetación, mapeo de zonas costeras.
2 / (0,5-0,6 μm)	Verde	Utilizada para la identificación de centros poblados.
3 / (0,6-0,7 μm)	Rojo	Discriminación entre vegetación y otro tipo de coberturas; límites de tipologías de suelos y delineaciones geológicas.
4 / (0,7-1,2 μm)	Infrarrojo cercano	Detectar y analizar vegetación en un área. Enfatiza el contraste de zonas de agua – tierra (suelo – vegetación). Sensible al agua.
5 / (1,55-1,75 μm)	Infrarrojo corta	Discriminar entre especies de vegetación, nubes, nieve y hielos. Gran sensibilidad al agua.
6 / (5,0-14,0 μm)	Infrarrojo medio	Observaciones de temperatura y sus efectos; densidad de vegetación, humedad y tipo de cobertura.
7 / (2,08-2,35 μm)	Termal Infrarrojo	Discriminación de tipos de rocas y suelos, así como el contenido de humedad en los suelos y en la vegetación.

Fuente: Adaptado CHUVIECO (2002).

2.3. Generalidades sobre la reflectancia de las superficies

La reflectancia caracteriza el estado de las superficies naturales y ha sido medida en toda la gama del espectro solar, tanto en el laboratorio como en el terreno para la mayoría de los objetos. Con estos valores de reflectancia se obtiene la firma espectral de cada una de las superficies (bosque, sabana, suelo desnudo, agua, etc). El estudio de la reflectancia de los vegetales en el visible e infrarrojo es muy importante, pues las propiedades ópticas de las hojas (absorción y reflexión) están ligadas a su estructura, dependiente a su vez del estado de desarrollo de las hojas (SILES, 2001).

2.3.1. Comportamiento de la vegetación

El comportamiento teórico de la vegetación (Figura 3) muestra una reducida reflectividad en las bandas visibles debido al efecto absorbente de los pigmentos de clorofilas, xantofilas y carotenos, captando la radiación situada en torno a los $0,445 \mu\text{m}$, coincidente con el rango de la banda TM1. La clorofila presenta una segunda banda de absorción cercana a los $0,645 \mu\text{m}$, perteneciente al rango de la banda TM3. Entre ambas porciones del espectro, aparece una banda intermedia, alrededor de los $0,55 \mu\text{m}$, banda TM2, en donde el efecto absorbente es menor, mostrando así un máximo relativo de reflectividad. En el infrarrojo cercano presenta una elevada reflectividad debido principalmente a la estructura celular interna de la hoja. Esto se reduce paulatinamente hacia el infrarrojo medio, llegando a $1,45 \mu\text{m}$ en donde el efecto

absorbente del agua provoca una drástica reducción de la reflectividad, esta absorción también se produce a los 1,92 μm y 2,7 μm . Entre estas bandas del espectro electromagnético, donde la absorción del agua es más clara, se sitúan dos picos relativos de reflectividad en torno a 1,6 μm y 2,2 μm , donde se encuentran las bandas del sensor ETM+ TM5 y TM7 respectivamente (GATES *et al.*, 1965).

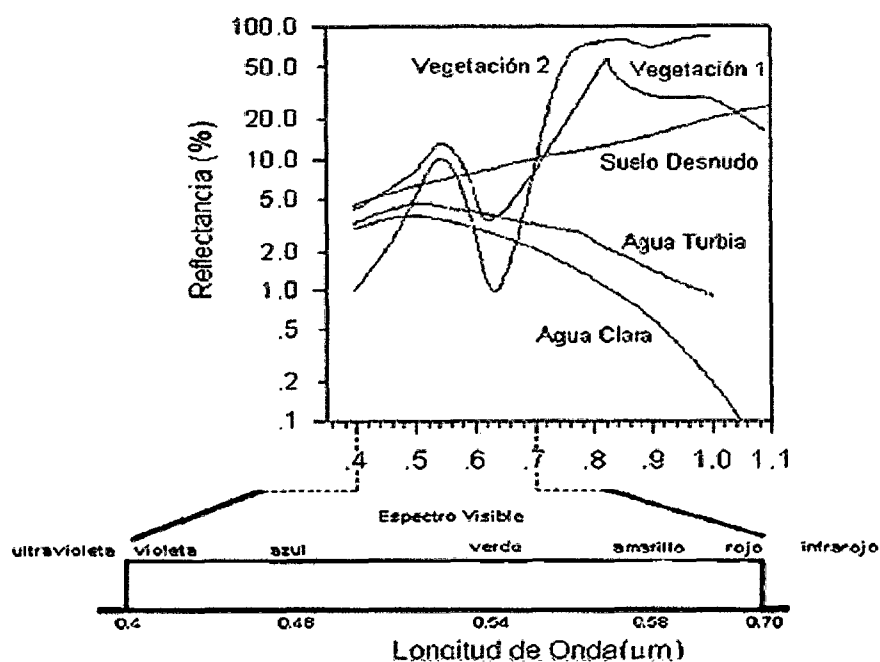


Figura 3. Curvas de reflectancia de las superficies (CHUVIECO, 2002).

2.4. Mecanismos de Interacción

GARCIA (2006) indica que cuando la energía electromagnética incide sobre los cuerpos situados en la superficie terrestre, E_i , esta puede descomponerse en tres términos: uno de reflexión, E_R , de absorción, E_A y otro de transmisión E_T . Así se establece:

$$E_I(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda)$$

- Reflejarse, la radiación es reenviada de vuelta al espacio.
- Absorberse, la radiación pasa a incrementar la energía del objeto.
- Transmitirse, la radiación se transmite hacia abajo a otros objetos.

2.4.1. Interacción de la atmósfera con la radiación electromagnética

Según CHUVIECO (1996), la atmósfera es un factor importante al considerar los flujos de radiación entre el sol y la superficie terrestre y entre ésta y los satélites. Los gases y aerosoles que componen la atmósfera tienen un efecto triple sobre la radiación: 1. Absorción; de la energía en determinadas bandas del espectro. Cada uno de los gases atmosféricos tiene capacidad para absorber radiación en diferentes longitudes de onda. Los principales responsables: Ozono O₃ (radiación ultravioleta), dióxido de carbono CO₂ (radiación en 13-17,5 μm) y otros. Esto deja, por otro lado, regiones del espectro en las que no se produce absorción, son las denominadas ventanas atmosféricas (visible, infrarrojo y - Microondas, por encima de 20 μm); 2. Dispersión; es el mecanismo por el cual la radiación electromagnética es reflejada o refractada por gases o partículas situados en la atmósfera. Los principales causantes de la dispersión atmosférica son los gases y aerosoles (partículas sólidas o líquidas) que la componen. Dispersión de Rayleigh, ocurre cuando la longitud de onda es más corta que el tamaño de los objetos responsables de la dispersión. Afecta por tanto a las longitudes de onda muy cortas y causa el color azul del cielo; Dispersión de Mie, ocurre cuando la

longitud de onda es del mismo orden de magnitud que los objetos dispersores: vapor de agua, polvo y aerosoles; Dispersión no selectiva, ocurre cuando la longitud de onda es mucho más larga que los objetos, la producen las gotas de agua y las grandes partículas de polvo. Este tipo de dispersión causa niebla y nubes que aparecen blancas ante nuestros ojos debido a que la luz azul, verde y roja es dispersada en iguales cantidades aproximadamente; 3. Emisión atmosférica; Cuando se trabaja en el infrarrojo térmico, el objetivo fundamental es estimar la temperatura de la superficie terrestre, sin embargo los datos que llegan al satélite incluyen emisión tanto de la superficie como de las diferentes capas de la atmósfera. Resulta difícil distinguir un efecto del otro, sin embargo se han hechos avances significativos en este sentido.

2.5. Sensores

Un sensor remoto se define como un instrumento especial cuya tecnología permite la obtención de información de objetos sin estar físicamente en contacto con él. Estos instrumentos se conocen en conjunto como Sensores Remotos incluyendo aparatos como la cámara fotográfica, sistemas scanners y de radar (AVERY y GRAYDON, 1992).

2.5.1. Sensores pasivos

Aquellos que se limitan a recibir la energía proveniente de un foco exterior a ellos, es decir, que este tipo de sensor recoge la energía

electromagnética procedente de la cubierta terrestre ya sea reflejada de los rayos solares o emitida debido a su propia temperatura (IIAP, 2004).

2.5.2. Sensores activos

La radiación electromagnética en la región de las microondas es usada en sensoramiento remoto para obtener información sobre la atmósfera terrestre, tierra y océanos. Un sistema de radar envía pulsos de microondas y registra la señal reflejada desde la superficie terrestre. La altura de la superficie puede ser medida por el tiempo que tarda la señal de retorno (IIAP, 2004).

2.6. Imágenes satelitales

A medida que los satélites con sensores pasivos avanzan en su órbita “barren”, la superficie terrestre captando la energía del sol reflejada por ésta en distintas longitudes de onda. Éstas son agrupadas en distintos rangos a los que se les conoce como “bandas espectrales”. Los sensores, al codificar esta información para cada banda en un formato posible de interpretar por los expertos, generan verdaderas matrices digitales de píxels –elementos pictóricos– (del inglés, Picture x element) que en su conjunto constituyen una imagen ó también denominados como “raster”. En el lenguaje del procesamiento de imágenes son denominados ND (Nivel Digital) (NASA, 2004).

Los raster poseen una resolución (R) de acuerdo al sensor satelital que los adquiere. Estará en función de: i) la frecuencia de tiempo con que el satélite pase por el mismo punto en la tierra, dentro de su órbita (R. temporal); ii) las bandas espectrales que permita captar el sensor (R. espectral); iii) el área real que representa un píxel en la superficie terrestre (R. espacial) y, iv) la cantidad de niveles digitales (ND) que permita captar el sensor (R. radiométrica) (CHUVIECO, 2002).

2.7. Programa espacial Landsat

A fines de la década de los sesenta la agencia espacial de los EE. UU., NASA (*Nacional Aeronautics and Space Administration*), diseña el primer proyecto dedicado a la cartografía y evaluación de los recursos naturales terrestres mediante satélites artificiales desde el espacio, llamado Landsat. El primer satélite de la serie ETRS (*Earth Resources Technology Satellite*) fue puesto en órbita el 23 de julio de 1972 (CHUVIECO, 2002; NASA, 2004). Sin duda alguna, ha sido el programa satelital más fructífero hasta el momento, manteniendo la vigencia actual con su séptima versión, la más reciente, enviado el 15 de abril de 1999 – Landsat 7 (NASA, 2004). Las plataformas de la familia Landsat son originalmente siete, de los cuales la versión número 6 se perdió poco después de su lanzamiento, razón por la cual nunca fue utilizado. El éxito del programa se debe principalmente por la alta resolución que presentan las imágenes y el carácter tanto global como periódico que representa la adquisición de la información. Solo hasta el año 1980 las

imágenes adquiridas por usuarios eran alrededor de 385,000 y las recibidas por las estaciones terrestres, en distintos lugares del mundo ascendían a más de 550,000 ejemplares (CHUVIECO, 2002). Su operación es administrada por NASA y la producción tanto como la comercialización de imágenes, depende del USGS (*United States Geological Survey*). Estudios de la cubierta terrestre mediante esta tecnología demuestran que las imágenes de estos sensores son de mucha utilidad y confiabilidad al momento de identificar áreas. Landsat 5, puesto en órbita el 1 de marzo de 1984. Transporta un sensor multiespectral pasivo de barrido, denominado TM (*Thematic Mapper* ó mapeador temático) con una captura de datos en siete bandas (CHUVIECO, 2002).

2.8. Pre-procesamiento digital de imágenes satelitales multitemporales

Normalmente, antes de comenzar cualquier análisis sobre la información recogida desde un sensor remoto es necesario un tratamiento previo de los datos en cuestión (JENSEN, 1996). 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 (CHUVIECO, 1996).

2.8.1. Corrección geométrica

Las correcciones geométricas, incluyen cualquier cambio de posición que ocupan los píxeles que la forman. Por contraposición con las

correcciones radiométricas aquí no se modifican los ND de los píxeles de la imagen, solo se corrige su posición, sus coordenadas. Pueden abordarse dos procedimientos. El primero. Denominado corrección orbital, para ello es preciso conocer todas las características de los sensores y hacer una aplicación inversa. El segundo resulta más empírico, se trata de evaluar el error geométrico de la imagen a partir de una serie de puntos con coordenadas conocidas, denominadas puntos de control (CHUVIECO, 2002).

2.8.1.1. Rectificación mapa a imagen

Este proceso normalmente utiliza puntos de control terrestre a través de los cuales realizar la rectificación. Esta operación se realiza por medio de dos operaciones: (1) la interpolación espacial que establece la naturaleza de la transformación de las coordenadas geométricas para así ubicar los píxeles originales a su posición en la imagen rectificada y (2) la intensidad de interpolación que es la aplicación de algún mecanismo a través del cual determinar el valor de brillo asignado al píxel rectificado (JENSEN, 1996).

Para abordar la detección digital de cambios es preciso que las imágenes se ajusten con gran nivel de detalle, ya que de otro modo se estaría detectando como transformaciones lo que sería solo fruto de una falta de ajuste entre imágenes Hord (1982) citado por CHUVIECO (1996). Los RMS (error medio cuadrático), viene hacer el valor de la distancia entre sus coordenadas

reales y las estimadas por la regresión, en el análisis multitemporal para obtener buenos resultados se debe tener valores que no superen el tamaño del píxel (CHUVIECO, 1996).

2.8.2. Corrección radiométrica

Son técnicas que modifican los niveles digitales (ND) originales, con el objeto de medir la respuesta espectral de cualquier objeto de la superficie terrestre en la imagen con una recepción ideal. La conversión de los de ND, a variables físicas, es un paso previo que resulta indispensable, ya que permite trabajar con variables físicas de significado estándar, comparables en un mismo sensor a lo largo del tiempo y entre distintos sensores (CHUVIECO, 2002). Estas correcciones nos permiten eliminar problemas de mal funcionamiento del sensor, posición del sol, o incluso el estado de la atmósfera, de tal forma que las medidas tomadas por el satélite sean comparables entre sí, aun cuando se hayan realizado en condiciones muy diversas (SOBRINO, 2000).

2.8.2.1. Conversión de ND a radiancia

GARCIA (2006) señala que el objetivo de la corrección radiométrica y atmosférica es convertir los niveles digitales de la imagen de satélite a valores de reflectancia. Para realizar los niveles digitales deben de convertirse en primer lugar a valores de radiancia que son los detectados por el satélite y

que han sido escalados al rango de 0 - 255, por lo que habrá que regresar a sus valores iniciales.

2.8.2.2. Corrección atmosférica

Como se indica los componentes líquidos y gaseosos de la atmósfera producen un efecto de absorción y dispersión, que modifican notablemente la señal procedente de la cubierta. Este efecto es dependiente de la longitud de onda, afectando especialmente a las más cortas (CHUVIECO, 1996). Los procedimientos para abordar estas correcciones son muy laboriosos y requieren de datos sobre condiciones de la atmósfera en el momento de la toma, que no suelen estar disponibles. Además, el efecto de la atmósfera no es constante en toda la imagen (CHUVIECO, 2002). Los métodos de correcciones atmosféricas pueden ser en divididos dos grupos. Los que utilizan modelos numéricos de transferencia radiativa (VERMOTE *et al.*, 1997). Y aquellas que utilizan modelos más simples a través de la sustracción del valor del píxel oscuro (CHUVIECO, 2002).

El Método COST, desarrollado por CHAVEZ (1996), que consiste en utilizar un objeto oscuro como objeto de calibración. El objeto oscuro puede ser una región de sombra o en algunos casos cuerpos de agua muy profunda. El método supone que el objeto oscuro tiene radiancia igual a cero para todas las bandas, y que cualquier medida diferente puede ser atribuida al efecto de la dispersión atmosférica.

Aunque no se compararon procesos de clasificación con y sin corrección atmosférica, algunos autores señalan que de un total de siete procesos, que van desde lo más simple, a algoritmos complejos, mejora significativamente la precisión de las rutinas de clasificación (SONG *et al.*, 2001).

2.8.2.3. Corrección del sombreado topográfico

CHUVIECO (1996) indica que la reflectividad es muy dependiente de los ángulos de incidencia y observación. Asumiendo que el ángulo de incidencia es solo dependiente de la elevación solar, lo que implica un terreno llano, mas aún no se considera el efecto topográfico, que cada vez es más fácilmente corregible gracias a los modelos digitales de elevación (MDE). GARCIA (2006) señala que con el MDE, y sus derivadas que son: modelos de pendiente y modelos de orientación es posible construir modelos que permitan corregir el efecto topográfico. MEYER *et al.*, (1993) menciona que para una adecuada corrección del sombreado topográfico se requiere de un modelo de elevación digital con una adecuada resolución, esto consigue con una cartografía a escala 1: 25000.

- Método corrección C

El fundamento matemático estadístico de la corrección C se basa en el análisis de regresión simple. Por ejemplo si se realiza un análisis de

regresión entre cada una de las bandas de la imagen que se quiere corregir y el modelo de iluminación construido para la fecha de adquisición se verá que existe una elevada correlación entre ambas variables, de allí se deduce que a mayor nivel digital le corresponderá una mayor iluminación solar, la idea de este método es pues realizar un ajuste semi-empírico de manera que disminuya la correlación existente entre ambas variables, así el incremento del valor del nivel digital se debe más a la respuesta de la radiación ante una determinada cubierta de interés que al aporte de la fuente de iluminación.

La rutina de corrección topográfica mejora el proceso de clasificación, algunos autores señalan que la fiabilidad global del proceso al corregir topográficamente aumenta del orden del 3 % a 4 % (RECONDO *et al.*, 2001).

2.9. Clasificación digital

La clasificación digital implica categorizar una imagen multibanda. En términos estadísticos esto supone reducir la escala de medida, de una variable continua (ND), a una escala nominal o categórica (CHUVIECO, 1996). Existen dos tipos de clasificación; clasificación supervisada y no supervisada, la primera consiste en tener un cierto conocimiento de la zona (por trabajo en campo), y se seleccionan muestras (áreas de entrenamiento), para asignarle al cálculo, y la segunda no se conoce nada de la zona y su búsqueda de homogeneidad es automática (ALVA y CHAVEZ, 2004).

2.9.1. Método mínima distancia

El criterio más sencillo para clasificar un píxel en una categoría es incluirlo en la más cercana a él, es decir, en aquella que minimice la distancia entre ese píxel y el centroide de clase. Esta distancia no es una distancia geográfica sino espectral consecuencia de comparar los ND de cada píxel con los del centro de las distintas categorías, para todas las bandas que intervienen en el análisis (CHUVIECO, 1996).

2.10. Validación de resultados

Los métodos de verificación estadística, se han desarrollado en los últimos años, y se debe incluir a cualquier estudio, debido a que permite al usuario del mapa valorar su grado de acuerdo con la realidad. Una de las medidas de fiabilidad, consiste en tener áreas test, que permita tener una medida independiente del acuerdo entre el mapa y verdad-terreno. Esto pasa por muestrear el terreno clasificado a fin de tener medidas necesarias para verificar los resultados (CHUVIECO, 1996).

2.10.1. Matriz de confusión e Índice Kappa

Consecuencia del muestreo y la clasificación se puede formar una matriz, denominada de confusión puesto que recoge los conflictos entre

categorías y verdad de terreno. El Índice Kappa se obtiene de las marginales de la clasificación (CHUVIECO, 1996).

Cuadro2. Valores de Kappa.

kappa	Grado de concordancia
< 0,2	Mala
0,21 – 0,40	Ligera
0,41 – 0,60	Moderada
0,61 – 0,80	Buena
0,81- 1,00	Excelente

Fuente: CHAVEZ (2007).

2.11. El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

El NDVI, tiene valores en el rango de -1 a 1, los que se aproximan a 1, indican suelos que tienen densa vegetación y, los valores que se acercan a -1 presencia de superficies alteradas o degradadas (ADMAS *et al.*, 1995). Es así como la vegetación verde saludable, en la región del infrarrojo cercano del espectro, refleja una mayor cantidad de energía que la vegetación senescente o que los suelos secos y desnudos, presentando un comportamiento inverso en la región visible del espectro (JENSEN, 1996). El estado fotosintético, de la vegetación se puede determinar a partir de dos bandas espectrales, el rojo y infrarrojo cercano, ya que la significativa diferencia entre bandas denota la presencia de vegetación sana y vigorosa con alto contenido de humedad y el incremento menor coincide con la vegetación enferma con poca actividad fotosintética (ALVA y CHAVEZ, 2004).

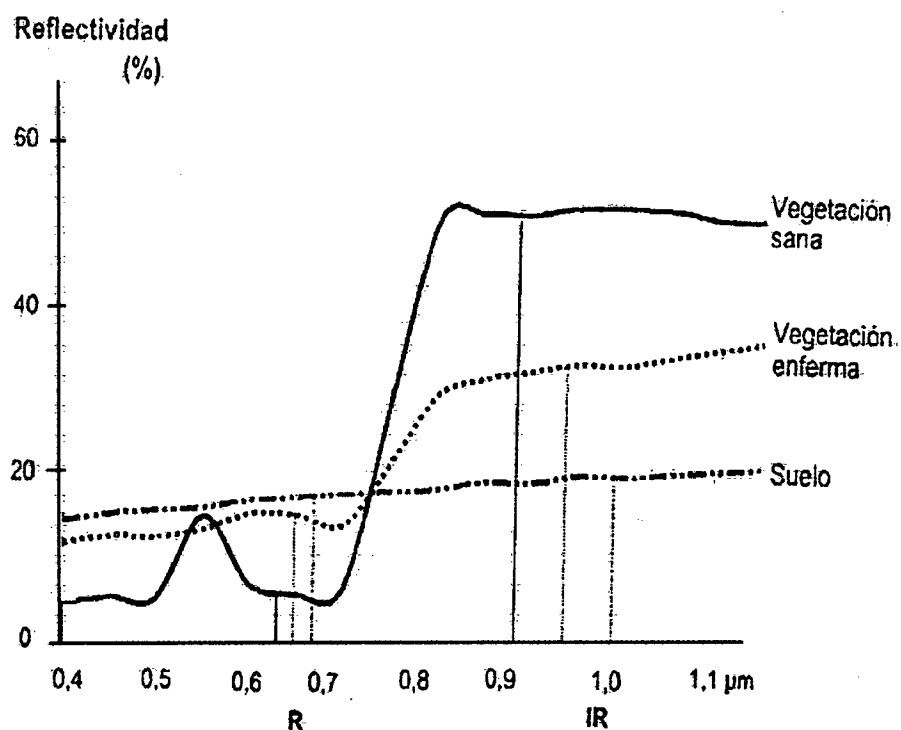


Figura 4. Comportamiento de la vegetacion (CHUVIECO, 1996)

2.12. Teledetección y SIG

La teledetección es una técnica aplicada, que a través del tiempo y espacio, permite obtener información sobre los objetos que se hallan en la superficie terrestre. (CHUVIECO, 1996). Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema asistido por computadora para la adquisición, almacenamiento, análisis y despliegue de información geográfica. Hoy en día, una gran variedad de software y herramientas están disponibles para poder llevar a cabo esta actividad. Sin embargo estos pueden diferir significativamente uno del otro, en parte debido a la manera en que ellos representan y trabajan la información geográfica, así como al relativo énfasis que ellos ponen en varias de estas operaciones (GARCIA, 2006).

La integración de los SIG con la percepción remota tiene una gran posibilidad de aplicación en la agricultura, desde niveles prediales, regionales hasta nacionales, a modo de ejemplo se puede identificar el área exacta de un suelo cubierto por vegetación en una fecha determinada, mapeo de áreas temáticas como la salinidad (METTERNICHT, 2001), cartografía de caminos entre otras diversas aplicaciones para el estudio del ambiente, estas aplicaciones son de vital importancia al momento de planificación y gestión del territorio (CHUVIECO, 2002).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del zona de estudio

3.1.1. Lugar de ejecución

La microcuenca de Supte San Jorge abarca una superficie de aproximadamente 8745,5 ha, políticamente pertenece al departamento de Huánuco, provincia de Leoncio Prado y los distritos de Rupa Rupa, Padre Felipe Luyando y Mariano Dámaso Beraúm. Se ubicada en coordenadas E 394249 y N 8974667 de proyección cartográfica UTM, en la zona 18 Sur, con Datum WGS 84 (Figura 5).

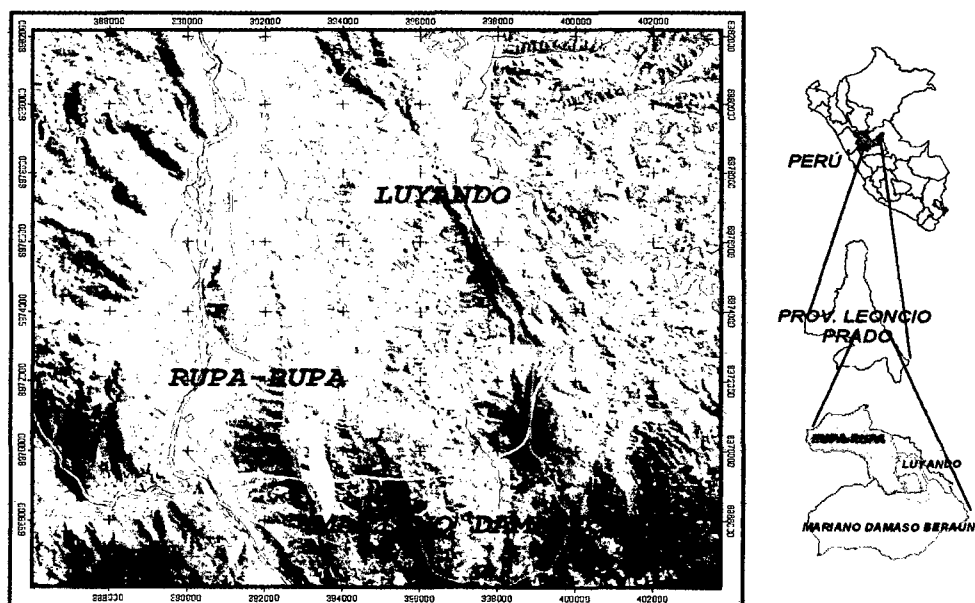


Figura 5. Microcuenca de Supte San Jorge.

3.1.2. Características del área de estudio

3.1.2.1. Clima y ecología

El área de estudio presenta una temperatura máxima de 29,4 °C la mínima de 19,2 °C, y una temperatura media anual de 24,5 °C. La precipitación promedio anual es de 3300 mm, y una humedad relativa de 87 %.

De acuerdo a la clasificación ecológica de las zonas de vida o formaciones vegetales del mundo de HOLDRIDGE (1987), la zona de estudio se encuentra ubicada, en la formación vegetal de bosque muy húmedo Pre Montano, Tropical (bmh - PT).

3.1.2.2. Fisiografía

Presenta un paisaje fisiográfico muy variado, observándose escasas áreas de pendientes muy inclinadas, estando mayormente en la zona denominada por laderas ligeramente inclinadas, depresiones y planicies, que según la fisiografía, tendríamos: paisaje aluvial, de lomadas, colinas altas y bajas, laderas de depósito aluviales entre otras formaciones paisajísticas.

3.1.2.3. Hidrología

El río más importante de la microcuenca, es el Supte, que en su parte alta está formada por dos afluentes, río Barranco y el río Supte alto, que confluyen en la zona media de la microcuenca, formando aguas abajo literalmente el río Supte, que en su recorrido va captando el aporte de los tributarios laterales ubicadas en su mayoría en el margen izquierdo, siendo las principales quebradas: Barranco, Supte Alto, Brashico, Anipanto, Tumay, Magnate y otros riachuelos con cauces poco definidos.

3.1.2.4. Vegetación

Muy variada con amplia biodiversidad de especies como: herbáceas, arbustivas, parásitas, epífitas y arbóreas las que está siendo en su totalidad deforestadas, quedando muy pocas áreas de protección.

Entre las especies arbóreas que sobresalen en los bosques naturales que aun existen tenemos:

Tornillo	(<i>Cedrelinga cateniformis</i> Ducke Ducke)
Cumala	(<i>Virola</i> sp.)
Moena	(<i>Aniba</i> sp.)
Pashaco	(<i>Acacia</i> sp.)

En las purmas predominan cuatro especies:

Cetico	(<i>Cecropia sp.</i>)
Topa	(<i>Ochroma sp.</i>)
Rabo de zorro	(<i>Andropogun bicornis linn</i>)
Macorilla	(<i>Pteridium sp.</i>)

3.1.2.5. Fauna

Se encuentra representado por pocas especies que cada vez disminuyen en número por efecto de las actividades humanas.

Como se muestra:

Gavilán	(<i>Buteagullus antthracinus</i>)
Gallinazo cabeza negra	(<i>Corapyps atratus</i>)
Pava de monte	(<i>Crac salvini</i>)
Manacaraco	(<i>Ortalis guttata</i>)
Tucaneta	(<i>Pteroglobus flavirotis</i>)
Mono leoncito	(<i>Cabuella pigmacea</i>)

La ganadería es la actividad productiva complementaria, mas no necesariamente secundaria lo más común es la crianza de vacunos, ovinos de pelo y caprinos, formando parte de un hato mixto que cuenta también con la presencia de porcinos, secundado con aves de corral (SANCHEZ, 2003).

3.2. Materiales

3.2.1. Material cartográfico

Carta Nacional digitalizada, utilizando los empalmes 19k y 19l, elaborado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), de año 1998.

3.2.2. Material satelital

Imágenes satelitales Landsat TM-5, haciendo uso de una subescena que corresponde al área de la microcuenca Supte San Jorge.

Cuadro 3. Imágenes Landsat TM-5.

Nº	Path/Row	Fecha	Formato	Resolución	Elev. Solar	Az. Solar
1	007/066	04/08/1990	Geo TIFF	30 m	43,3686	55,9732
2	007/066	29/08/2005	Geo TIFF	30 m	54,3526	60,2469

Fuente: Elaboración propia (2009).

3.2.3. Hardware y software

- Ordenador Pentium Dual.
- Impresora Color Buble Jet Printer BJC-620.
- Software Raster: ERDAS IMAGINE 9.1.
- Software Vectorial: ARCGIS ver. 9.2.
- Software Vectorial: ArcView GIS 3.2a.

3.2.4. Equipos y materiales complementarios

- Internet.
- GPS Garmin 12XL.
- Cámara digital.
- Libreta de campo.
- Útiles de escritorio en general.

3.3. Metodología

La metodología propuesta en este trabajo se puede esquematizar en una serie de pasos descritos a continuación:

3.3.1. Trabajo de campo

3.3.1.1. Localización y caracterización de las áreas clases

La localización y caracterización de áreas clases, se llevaron a cabo mediante salidas al campo, donde se identificaron áreas representativas de cada clase, de esta manera con la ayuda de un receptor GPS (Sistema de Posicionamiento Global), se ubicaron las siguientes áreas:

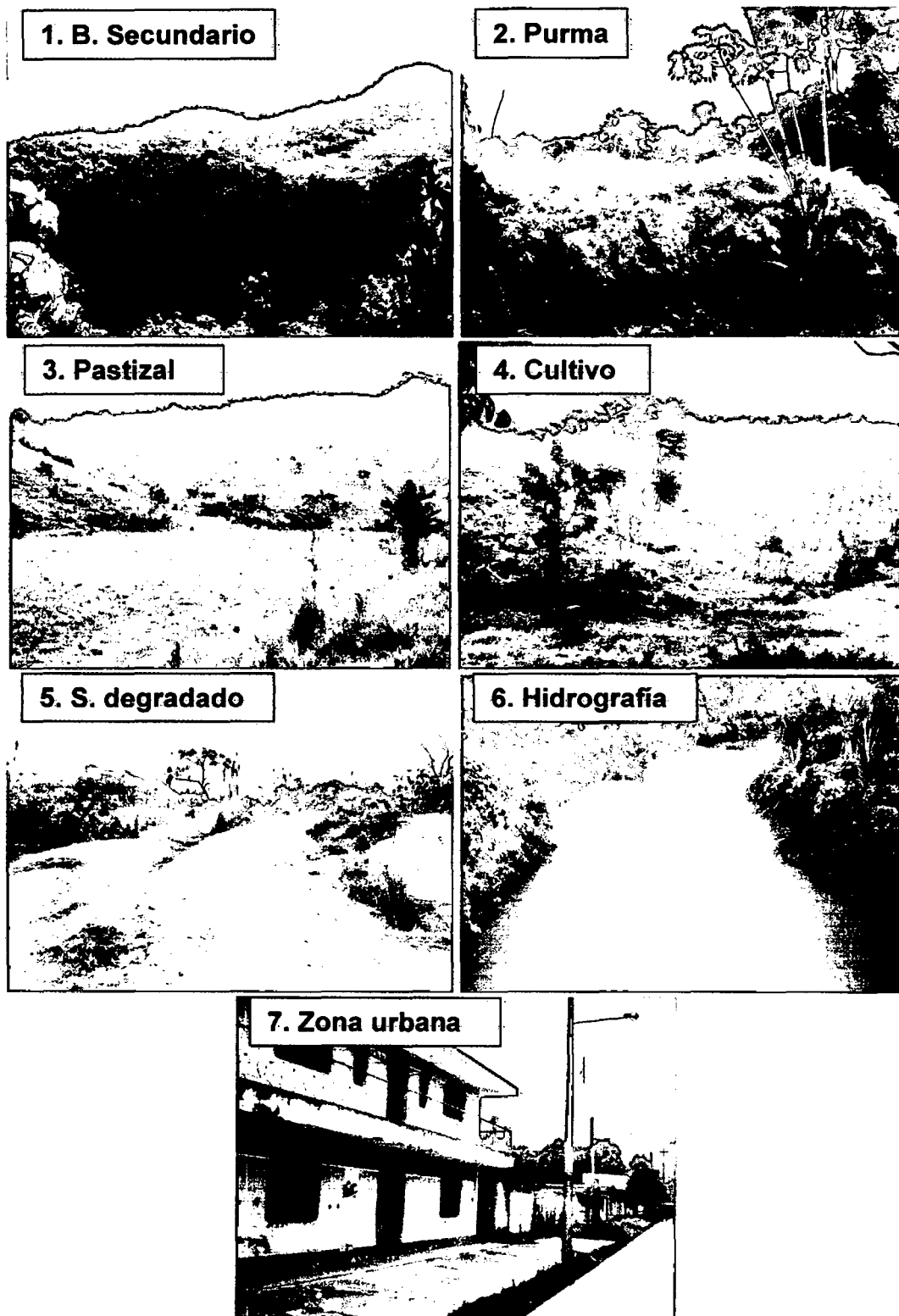


Figura 6. Áreas clases o de entrenamiento.

3.3.2. Pre-procesamiento de las imágenes satelitales Landsat

3.3.2.1. Adquisición de las imágenes

La adquisición de las imágenes satelitales Landsat TM-5 se realizó por solicitud vía Internet, exclusivamente del catalogo del INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais de Brasil) obteniéndose dos (02) imágenes, del mismo mes (agosto), con la finalidad que las condiciones de las plantas y climáticas sean comunes y nos permita obtener mejores resultados en la investigación.

3.3.2.2. Corrección geométrica

El trabajo se inició con el corte de la imagen original con un área que supera los límites de la microcuenca, la corrección geométrica se realizó mediante la localización de 6 puntos de control ubicados en el mapa y luego en la imagen, en base a la cartografía de la carta nacional, en el programa ERDAS IMAGINE 9.1, utilizando una función polinomial de segundo grado (2°), finalmente se transfirieron los ND a una nueva posición mediante la interpolación del vecino más cercano. En este estudio la proyección cartográfica es UTM, en la Zona 18 Sur, con Datum WGS 84.

3.3.2.3. Corrección radiométrica

Estas técnicas sirven para modificar los ND originales, con el objeto de medir la respuesta espectral de cualquier objeto de la superficie terrestre en la imagen con una recepción ideal. La conversión de los ND, a variables físicas, es un paso previo que resulta indispensable, para el estudio multitemporal.

- Conversión de ND a radiancia

Para convertir los ND, a valores de radiancia ($L_{sen, k}$), se realiza a partir de los coeficientes de calibración, que vienen en la cabecera de cada imagen utilizando la fórmula:

$$L_{sen, k} = a_{0, k} + a_{1, k} ND_k$$

Donde:

$L_{sen, k}$ = Radiancia espectral recibida por el sensor en la banda K ($Wm^{-2}Sr^{-1}um^{-1}$).

$a_{0, k}$ y $a_{1, k}$ = Coeficientes de calibración para en cada banda K (cuadro 4).

ND_k = Corresponde al nivel digital de la imagen en la misma banda K .

Cuadro 4. Valores para la corrección radiométrica.

Banda	$E_{0,k}$ ($Wm^{-2}um^{-1}$)	$a_{0,k}$	$a_{1,k}$	$\tau_{k,i}$
TM1	1,957	-1,5	0,602	0,73
TM2	1,829	-2,8	1,17	0,79
TM3	1,557	-1,2	0,806	0,85
TM4	1,047	-1,5	0,815	0,91
TM5	219,3	-0,37	0,108	0,95
TM7	74,52	-0,15	0,057	0,97

Fuente: Pons y Sole (1994), citado por CHUVIECO (2002).

- Corrección atmosférica

La corrección atmosférica sirvió para intentar eliminar el efecto de la dispersión de la radiación electromagnética originada por parte de los gases y partículas en suspensión de la atmósfera, para que las variaciones en las áreas clases sean independientes de las condiciones atmosféricas. Para ello se cálculo la reflectividad mediante la ecuación (Anexo 1):

$$\rho_k = \frac{K\pi(L_{sen,k} - L_{a,k}) / T_{k,0}}{E_{0,k} \cos \theta_i T_{k,i} + E_{d,k}}$$

Donde:

ρ_k = Reflectividad real de la superficie terrestre.

K = Distancia de tierra-sol, en unidades astronómicas.

$L_{sen,k}$ = Radiancia espectral recibida por el sensor en la banda k ($Wm^{-2}Sr^{-1}um^{-1}$).

$L_{a,k}$ = Radiancia atmosférica debido a la dispersión en la banda k ($Wm^{-2}Sr^{-1}um^{-1}$).

$\tau_{k,0}$ = Transmisividad atmosférica para el flujo ascendente en la banda k .

$E_{0,k}$ = Irradiancia solar en el techo de la atmósfera k ($Wm^{-2}um^{-1}$).

$\cos\theta_i$ = Coseno del ángulo cenital del flujo de incidencia.

$\tau_{k,i}$ = Transmisividad atmosférica para el flujo descendente en la banda k .

$E_{d,k}$ = Irradiancia difusa atmosférica debida a la dispersión en la banda k .

El método de corrección aplicada fue el de la transmisividad de la atmósfera descendente por defecto (COST) diseñado por CHAVEZ, (1996), que utiliza los siguientes valores:

K = Distancia de tierra-sol, se cálculo mediante:

$$K = (1 + 0,0167(\text{sen}(2\pi(D - 93,5) / 365)))^2$$

Donde D indica el día en el calendario juliano y el seno se asume en radianes (CHUVIECO, 1996), este procedimiento se realizó para todas las imágenes de diferentes fechas.

$L_{a,k}$ = El ND mínimo del histograma en la banda k .

$\tau_{k,0} = \cos\theta_0$, como $\theta_0=0$; $\tau_{k,0}=1$.

$E_{0,k}$ = Irradiancia solar en el techo de la atmósfera (Cuadro 4)

$\tau_{k,i}$ = Transmisividad atmosférica para el flujo descendente en la banda k , se tomaron los valores que Chávez, que creo en este método que se encuentran en el Cuadro 4.

$E_{d,k} = 0$; Ignora la irradiancia difusa.

El procedimiento de corrección atmosférica, por el método de COST, se realizó en el modulo denominado CARLAD creado por GARCIA (2006), haciendo uso del lenguaje EML (Erdas Macro Lenguaje), que se instaló al software ERDAS IMAGINE 9.1.

- Corrección de sombreado topográfico

Gracias a los modelos de elevación digital (MDE) se han realizado diversos métodos que ayudan a mejorar la corrección sombras por relieve topográfico (Anexo 2), en este trabajo se utilizó el método de Corrección C. GARCIA (2006), menciona que es el mejor método por ser un ajuste semi-empírico efectuado mediante regresión lineal, esto se realiza para cada banda de la imagen a corregir y el coseno del ángulo de incidencia solar (modelo de iluminación), realizándose los siguientes pasos:

1. Generación del modelo de elevación

La generación de un MDE es indispensable para la siguiente etapa del procesamiento, de forma que cuanta mayor sea la precisión del MDE

mejores serán los resultados. Se empleó la cartografía 1:100000 del IGN, con 40 metros de diferencia altitudinal entre curvas de nivel y la extensión *3D analyst* del ArcView GIS 3.2a creándose un MDE, con el interpolador TIN (Red Irregular de Triangulación).

Una vez generado el MDE se procedió a la obtención de dos variables derivadas de éste como son el modelo de pendientes, con la extensión *Spatial Analyst*, el cual emplea el método de los 8 vecinos para su cálculo y el modelo de orientaciones, el cual indica la posición de las laderas con respecto al norte, estas dos variables intervendrán en la creación del modelo de iluminación (Anexo 3).

2. Generación del modelo de iluminación

Es una manera de determinar la iluminación hipotética de una superficie. La máxima energía para una determinada banda se obtiene cuando el ángulo cenital es de 0 grados ($\text{Cos } \theta_i = 1$), esto ocurre cuando el sol incide verticalmente. Ahora bien, en un terreno montañoso la pendiente modifica la geometría del flujo incidente. Por un lado, en las laderas orientadas al sol el ángulo cenital no coincide con el ángulo de incidencia, mientras que en el otro pueda ocurrir que no reciba en absoluto energía solar directa. Si no se tiene en cuenta la reflectancia medida, para la misma cubierta en distintas vertientes, los resultados pueden ser diferentes para una misma cobertura.

Para la construcción del modelo de iluminación se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Cos}(i) = \cos\theta_s \times \text{sen}\theta_n \times \cos(\varphi_s - \varphi_n) + \text{sen}\theta_s \times \cos\theta_n$$

Donde:

θ_s = Elevación solar

θ_n = Pendiente de la superficie

ϕ_s = Azimut solar

ϕ_n = Orientación de la superficie (Horn y Sjoberg, 1979, citado por

GARCIA, 2006).

Este cálculo se realizó a partir de las derivadas del MDE, obteniéndose el modelo de pendiente y de orientación, además se utilizó el azimut solar y elevación solar, que se encuentran en la cabecera de la cinta de cada imagen.

3. Generación de la superficie de referencia

En el cálculo de la superficie de referencia, no se utilizan los valores de pendiente ni de orientación, éste se realiza tomando a la superficie como si fuera plana, por tanto la iluminación dependerá sólo de la posición del vector solar. Se utilizó la misma fórmula de iluminación solar, pero se asumió el valor cero (0) para la pendiente y orientación, de modo que la fórmula se reduce a:

$$\text{Cos}(i) = \text{sen}\theta_s$$

La generación de modelo de iluminación y la superficie de referencia, se realizó con las extensiones instalables el *3D Analyst* y *Spatial Analyst* en el programa ArcView GIS 3.2a, utilizando como herramienta principal la extensión *atmo egg*, creado por GARCIA (2006), mediante el lenguaje de programación Avenue (Anexo 4).

4. Método de Corrección C

Con las variables calculadas previamente (Modelo de iluminación y modelo de referencia), se realizó la corrección de sombras por el método de corrección C, donde utilizó la siguiente fórmula:

$$ND_c = ND_0 \times \left(\frac{\text{cos}(v) + C}{\text{cos}(i) + C} \right)$$

Donde:

ND_c = Nivel digital corregido.

ND_0 = Nivel digital observado.

$\text{Cos}(v)$ = Coseno para una superficie horizontal (SR).

$\text{Cos}(i)$ = Coseno del ángulo de incidencia (MI).

C = Cociente obtenido de la regresión lineal $ND_0 = b + m * \text{Cos}$ y cuyo valor es b/m (Taillet, 1982, citado por GARCIA, 2006).

Este método fue aplicado en el programa comercial ERDAS IMAGINE 9.1, donde se tuvo que crear algunos modelos de análisis utilizando el Model Maker, módulo específico que permite personalizar ciertas operaciones y generar modelos según el interés del especialista.

3.3.2.4. Método de clasificación

Realizada el pre-procesamiento de las dos (02) imágenes de distinta fecha se hizo el corte de la zona en estudio, luego se le asigna las áreas de entrenamiento o clases, ubicadas en campo con GPS para realizar la clasificación digital con una combinación de banda 4:3:2, el cual degrada mejor la cobertura vegetal de los suelos desnudos (CHUVIECO, 1996). Se utilizó el método de mínima distancia, que emplea un criterio muy sencillo para clasificar un píxel en una categoría, el cual es incluirlo en la más cercana a él, es decir; en aquella que minimice la distancia entre ese píxel y el centroide de clase. Esta distancia no es una distancia geográfica, sino espectral; consecuencia de comparar los ND de cada píxel con los del centro de las distintas categorías, para todas las bandas que intervienen en el análisis.

$$d_{ij}^{(k)} = \sqrt{\sum_{n=1}^{N_{bandas}} (X_{ij}^n - \bar{X}_{ij}^{(k)})^2} \quad \text{Distancia Euclidea}$$

Donde: K=1,2,3....., N clases

Siendo, X_{ij}^n ($n=1,2,3,\dots,N_{bandas}$) el valor de cada píxel en la banda n , y $\bar{X}_{ij}^{(k)}$ el valor del "centroide" (media aritmética) de la clase k en la banda n . Los subíndices (i,j) corresponden al número de fila y número de columna en cada píxel de la imagen. Este método está incluido en el software ERDAS IMAGINE 9.1.

Una vez clasificados las imágenes de diferentes años estos fueron transformados a formato vectorial (shapefile), para los respectivos cálculos de áreas en ARCGIS 9.2. Además se separó áreas no evaluadas de las dos (02) imágenes a fin de no afectar los resultados.

3.3.2.5. Validación de los resultados

La validación o verificación de clasificación, se efectuó mediante la creación de matrices denominadas de confusión, éste se formó a partir del cruzamiento de la información generado por la clasificación y la verdad terrestre. Para determinar la verdad terrestre se efectuó una distribución al azar de puntos considerando toda el área de estudio y posteriormente se atribuyó a cada punto la categoría considerada correcta. El número de puntos de muestra se obtiene mediante la fórmula binomial (acierto y error) definida por:

$$N = \frac{z^2 pq}{E^2} = \frac{1.96^2 * 95 * 5}{5^2} = 72.99 \approx 73 \text{ puntos}$$

Donde z , es la curva normal para un nivel determinado de probabilidad, en este caso 95 %; p , porcentaje de aciertos estimado; q , el de errores ($q=1-p$) y E , el nivel permitido de error (CHUVIECO, 1996).

La determinación de verdad terrestre para los 73 puntos distribuidos al azar sobre la imagen fue efectuada mediante salidas al campo (Anexo 5 y 6), además los puntos que no se pudieron llegar, se corroboró con imágenes actuales del programa (Google Earth), que presentan mayor resolución espacial. Cabe mencionar que la validación del resultado solo se realizó para la imagen del 2005, debido que la imágenes de 1990, por ser antigua y no contar con material fotográfico de alta resolución, no pudo ser verificada.

La exactitud total o global se obtiene dividiendo la cantidad de puntos ubicados correctamente entre el total de puntos muestreados. El Índice Kappa se obtuvo con la fórmula desarrollado por CONGALTON (1991):

$$(k) = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}{N - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}$$

En donde r , es el número de filas en la matriz, X_{ij} , el número de observaciones en la fila i y columna j , (X_{i+} , X_{+i}), son el total de marginal de fila i y columna i , respectivamente y N , es el total de observaciones.

3.3.2.6. Determinación tasa y curva de deforestación

Para determinar la de tasa de deforestación se realizó el siguiente cálculo:

$$TAD = \frac{(Def\ 2005 - Def\ 1990)}{\text{periodo}(1990 - 2005)}$$

Donde:

TDA = Tasa anual de deforestación.

*Def*2005 = Cobertura boscosa 2005 en ha.

*Def*1990 = Cobertura boscosa 1990 en ha, (ELGERDER, 2005).

Además para determinar la curva de deforestación se utilizó un análisis de regresión lineal:

$$Y = a + bx$$

Donde:

X: Variable independiente (años)

Y: Variable dependiente (área de cobertura boscosa)

Este cálculo también se aplicó a las demás categorías de la clasificación, para estimar la tendencia de sus áreas.

3.3.2.7. Cálculo de NDVI

El índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI, fue desarrollado por JACKSON (1983), es muy utilizado en trabajos de teledetección aplicados a la agricultura y al estudio de los recursos naturales, es un parámetro calculado a partir de los valores de reflectividad a distintas longitudes de onda y que pretende extraer la información relacionada con la vegetación minimizando la influencia de otros factores externos como las propiedades ópticas del suelo y la irradiancia solar. Es calculado según la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3}$$

Donde:

TM4: Banda 4 del sensor Landsat TM

TM3: Banda 3 del sensor Landsat TM

3.3.2.8. Mapa producto

Los mapas se produjeron a escala 1:100000.

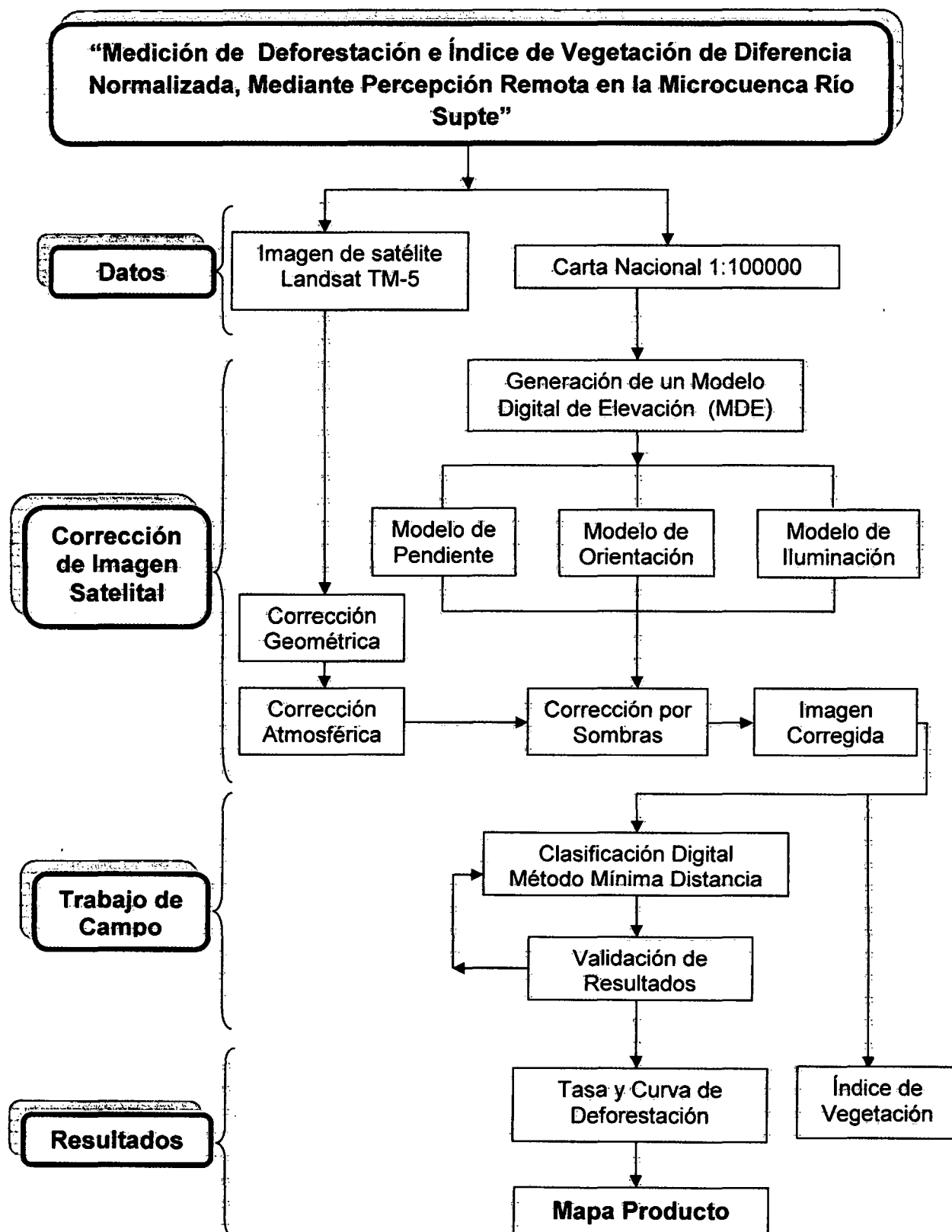


Figura 7. Diagrama de la metodología desarrollada

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. De la correcciones de pre-procesamiento

4.1.1. Corrección geométrica

En el Cuadro 5, se muestra el error medio cuadrático (RMS), de las imágenes georeferenciadas, observándose que ningún valor supera los 30 metros de error, encontrándose en un rango aceptable debido que para el análisis multitemporal de imágenes el error no debe superar el tamaño del pixel de las imágenes Landsat (CHUVIECO, 1996). Además Hord (1982) citado por CHUVIECO, (1996) manifiesta que para abordar la detección digital de cambios es preciso que las imágenes se ajusten con gran nivel de detalle, ya que de otro modo se estaría detectando como transformaciones lo que sería solo fruto de una falta de ajuste entre imágenes.

Cuadro 5. Error medio cuadrático (RMS).

Imagen	Fecha	RMS (m)
1	1990	25,2
2	2005	23,2

Fuente: Elaboración propia (2009).

4.1.2. Corrección atmosférica

Se muestra las imágenes con una combinación de banda de 3:2:1 (Figura 8), observándose antes y después de la corrección de cada imagen que permite evaluar los resultado del modelo de corrección atmosférica (COST), diseñado por CHAVEZ (1996), el cual demuestra diferencias visuales significativas.

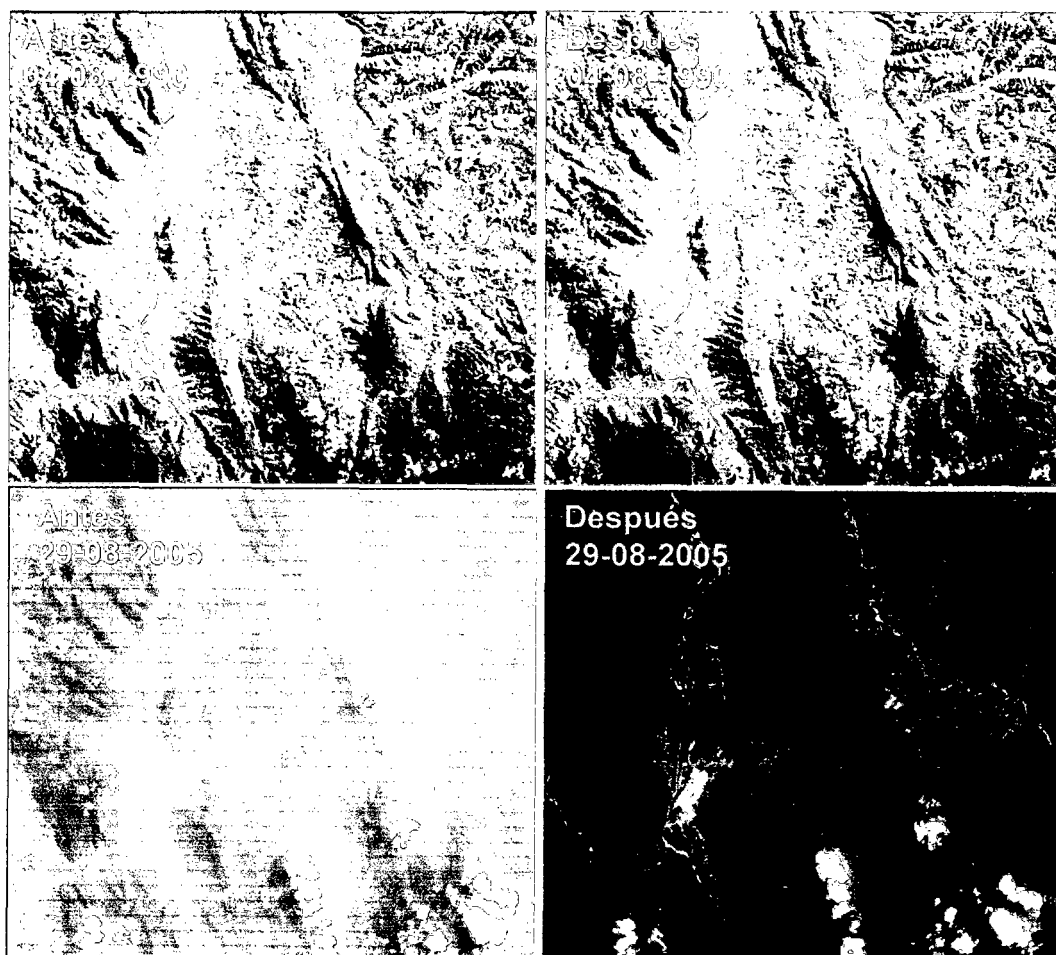


Figura 8. Corrección atmosférica

Se puede apreciar en las imágenes que antes de la corrección son más nubosas, observándose con más diferencia en la imagen de 2005, y la corrección resulta más visible. Cabe mencionar que la combinación de banda que presentan estas imágenes, utiliza la longitudes onda corta (3:2:1), los cuales son los más afectados por la interacción atmosférica (CHUVIECO, 1996), y por ende se observan mayor los efectos de la corrección atmosférica (GARCIA, 2006).

CHUVIECO (1996) indica que la interacción de la atmosfera, es muy apreciable, teniendo un efecto triple: absorción, dispersión y emisión, de las cuales el que se corrige es la dispersión de Rayleigh que ocurre cuando la longitud de onda es más corta que el tamaño de los objetos responsables de la dispersión.

Si bien no se compararon procesos de clasificación con y sin corrección atmosférica, algunos autores señalan que de un total de siete procesos, que van desde lo más simple, a algoritmos complejos, mejora significativamente la precisión de las rutinas de clasificación (SONG *et al.*, 2001).

4.1.3. Corrección de sombras por relieve topográfico

La corrección de sombras por relieve topográfico de las imágenes satelitales (Figura 9), presenta una combinación de bandas 4:3:2, las cuales

serán utilizados en la clasificación digital, en estas imágenes se observa que antes de la corrección, existe más influencia del efecto de umbría por relieve, y se aprecia con detalle donde señalan las flechas.

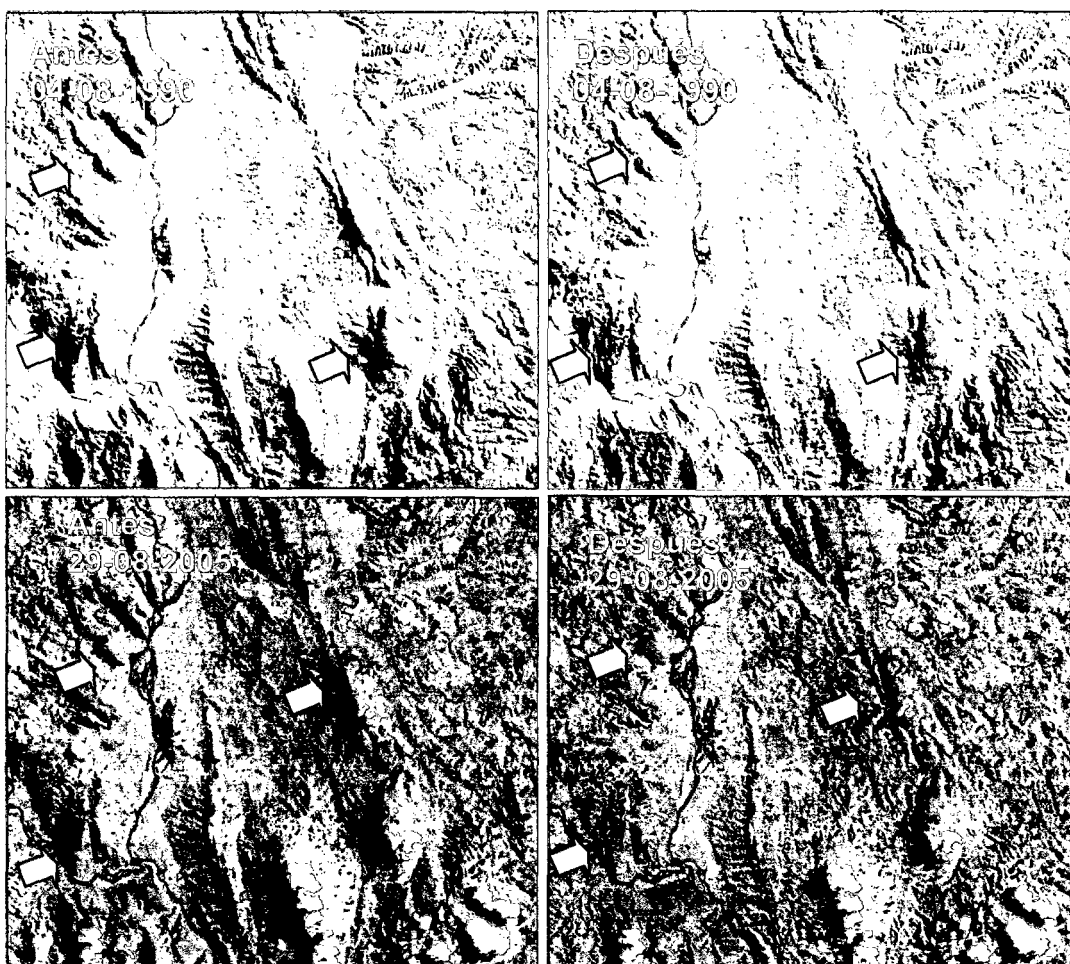


Figura 9. Corrección topográfica

Los mayores resultados de corrección se presenta en la imagen del 2005, el cual tiene una elevación solar, mayor (55,3526), en comparación de la imagen de 1990 (43,3686), esto influye debido a que cuanto mayor sea la elevación solar, mayor será el ángulo de incidencia del vector del sol, con respecto a las laderas a corregir.

MEYER *et al.* (1993) señala que para una adecuada corrección del sombreado topográfico se requiere de un modelo de elevación digital con una adecuada resolución, esto consigue con una cartografía a escala 1: 25000. En definitiva en el Perú el Instituto Geográfico Nacional (IGN), no ha digitalizado empalmes a esta escala para esta zona.

Algunos autores señalan que la fiabilidad global del proceso al corregir topográficamente aumenta del orden del 3 % a 4 % (RECONDO *et al.*, 2001).

4.2. Validación de resultados de la clasificación

Con el fin de cuantificar la confiabilidad del método de clasificación supervisada de mínima distancia (Anexo 7 y 8), se elaboró la matriz de confusión con los puntos verificados en campo.

En el Cuadro 6 se muestra los valores de comprobación; la diagonal de esta matriz expresa el número de puntos de verificación en donde se produce el acuerdo entre las dos fuentes (mapa y realidad) mientras que las marginales suponen errores de asignación. Las filas se ocupan por las clases de referencia (terreno) y las columnas por las categorías deducidas en la clasificación.

Los resultados de las matrices de confusión, arrojaron valores para la clasificación en su mayoría que superan los 80 %, obteniéndose un mínimo de 75 %, en la clase de Hidrografía (6), y un máximo en la clase de Purma y Zona urbana (2 y 7), con 86 % de exactitud, la confiabilidad global está sobre el 82 %, lo que según diversos autores, es considerado aceptable para imágenes de este tipo (CHUVIECO, 1996). Además el Índice de kappa indica un valor de 0,79 se encuentra en el rango de 0,61 – 0,80 y es considerado como bueno la calidad de la clasificación (CHAVEZ, 2006).

Cuadro 6. Matriz de confusión año 2005.

		Datos de referencia (terreno)									
Clases ¹		1	2	3	4	5	6	7	T. Fila	Ex P.	E.O.
Datos de Clasificación	1	12	2	0	1	0	0	0	15	80	20
	2	0	6	1	0	0	0	0	7	86	14
	3	0	1	11	0	1	0	0	13	85	15
	4	0	0	0	8	2	0	0	10	80	20
	5	0	0	0	1	14	0	2	17	82	18
	6	1	0	0	0	0	3	0	4	75	25
	7	0	0	0	0	1	0	6	7	86	14
T. Columna		13	9	12	10	18	3	8	73		
Ex U.		92	67	92	80	78	100	75		Ex Global	82
E. C.		08	33	08	20	22	00	25		Índice Kappa	0,79

Fuente: Elaboración propia (2009).

¹Los números 1 a 7, hacen referencia a las categorías de la clasificación: 1. Bosque secundario; 2. Purma; 3. Pastizal; 4. Cultivos; 5. Suelos degradados; 6. Hidrografía; 7. Zona urbana. Ex P. y Ex U. son las exactitudes del productor y del usuario, respectivamente, y E. O. y E. C. son los errores de omisión y comisión.

Además CHUVIECO (1996) indica que el muestreo al azar y todo el proceso de verificación en campo implica un costo adicional al proyecto, y más no repercute en una mejora en la confiabilidad de trabajo.

4.3. De la tasa y curva de deforestación

En el Cuadro 7, se muestra la tasa de deforestación de la microcuenca río Supte, que asciende a 34,8 ha por año, que representa el 0,43 % de área total en estudio (8017,3 ha), este indicador presenta una leve diferencia con la publicación de la FAO (2004), que menciona la deforestación en el Perú, está sobre los 261 158 ha por año, que representa 0,36 % del total de área boscosa del país (72 000 000 ha), de la misma manera el diario INFOREGION (2007) manifiesta que la deforestación en el Perú está entre 200 mil y 300 mil ha por año.

Esta leve diferencia que presenta ambos estudios se debe a muchos factores, uno de ellos es la gran diversidad de climas y zonas que existen en el Perú, y por este motivo no podemos homogenizar la tasa de deforestación para toda el área de país y de hecho es necesario realizar estudios a pequeña escala que sean más fehacientes.

Cuadro 7. Tasa de deforestación .

Categoría	Años	Área (ha)	Tasa deforestación anual (ha)
B. secundario	1990	3321,1	34,8
	2005	2799,1	

Fuente: Elaboración propia (2009).

En el Cuadro 8, se muestra las áreas de cobertura para las categorías que tuvieron un decrecimiento, y este se representa en la Figura 10, donde se observa que las clases (bosque secundario, purma e hidrografía), presentan una línea negativa, lo que indica es decir que su prolongación puede terminar en pérdida o eliminación total.

Cabe mencionar que la máxima pérdida, se observa en la clase de bosque secundario con 521,9 ha, en un periodo de 15 años.

Cuadro 8. Áreas de cobertura decreciente

Cobertura	1990 (ha)	2005 (ha)	Pérdida (ha)
Bosque secundario	3321,1	2799,1	521,9
Purma	536,0	131,2	404,8
Hidrografía	104,9	51,5	53,3

Fuente: Elaboración propia (2009).

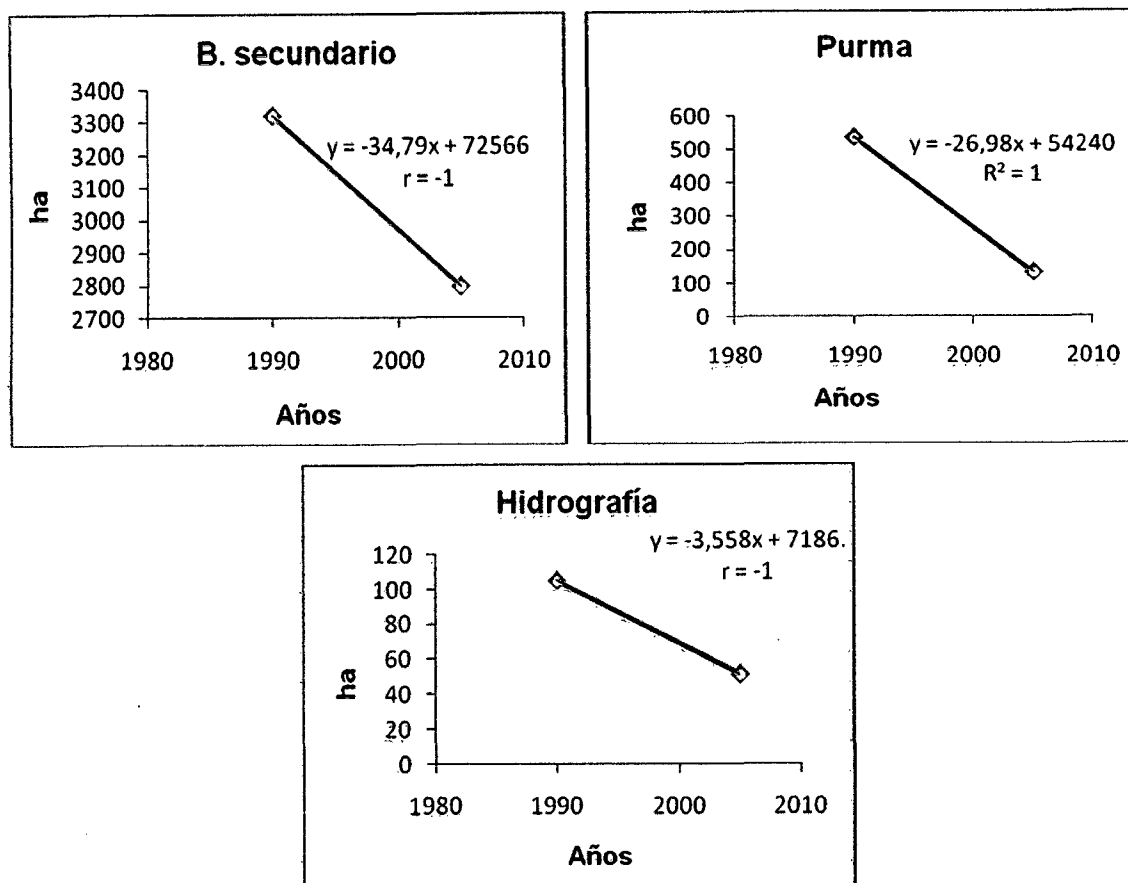


Figura 10. Líneas negativas de las categorías.

En el Cuadro 9, se muestra las áreas de las coberturas que presentan incremento, observándose en mayor medida en la categoría de suelos degradados con 720,6 ha llegando a un total de 1723,4 ha.

Cuadro 9. Áreas de cobertura creciente.

Cobertura	1990 (ha)	2005 (ha)	Incremento (ha)
Cultivos	1290,1	1489,4	199,3
Pastizal	1662,0	1684,4	22,3
S. degradados	1002,8	1723,4	720,6
Zona urbana	100,7	138,2	37,4

Fuente: Elaboración propia (2009).

En la figura 11, se representa las líneas tendientes de las categorías que presenta crecimiento.

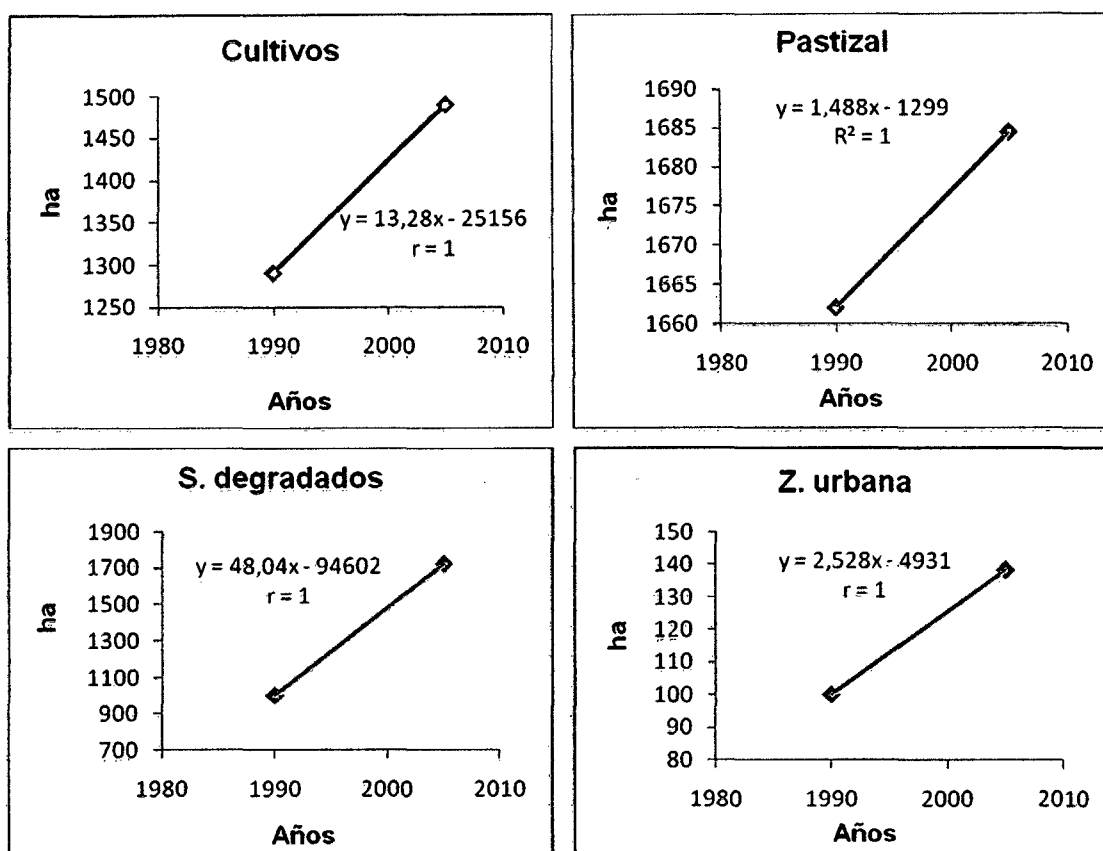


Figura 11. Líneas tendiente positiva de las categorías.

Como se puede apreciar en los Cuadros 8 y 9, los procesos de cambio, en el periodo de 15 años son muy notorios, podemos manifestar que las categorías que tuvieron crecimiento, tienen una causa antrópica (cultivos, pastizales, suelos degradados y zonas urbanas), que lógicamente afecta las coberturas boscosas. ARAUJO (1995), manifiesta que la migración de las personas de los Andes en busca de mejorar su calidad de vida hace que se asienten en la ceja de selva desboscando y practicando la agricultura migratoria. Además INFOREGION (2007) menciona que la práctica del cultivo

de la hoja de coca, hace que los pobladores deforestan, cultiven y al cabo de 5 años de producir cultivos anuales dejan los suelos descubiertos, que por acción de las fuertes lluvias y radiación solar, termina erosionándose en forma acelerada, quedando estéril en muy pocos años, de esta manera asigna al cultivo de la hoja de coca entre el 26 % y 27 % de todo lo deforestado.

4.4. Del índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI

Los índices de vegetación NDVI (Figura 12), de los años 1990 y 2005, tienen valores entre -1 a 1, los valores que se aproximan a 1 indican suelos con vegetación densa, y los valores que se acercan a -1, señalan la presencia de superficies alteradas o degradadas (ADAMS *et al.*, 1995). JENSEN (1996) menciona que esto se debe, que la vegetación verde saludable, en la región del infrarrojo cercano del espectro, refleja una mayor cantidad de energía que la vegetación senescente o que los suelos secos y desnudos. ALVA y CHAVEZ (2004) señalan que la capacidad de la combinación de dos bandas espectrales, concretamente el rojo e infrarrojo cercano, y la significativa diferencia entre éstas, denota la presencia de vegetación sana y vigorosa con alto contenido de humedad y el incremento menor coincide con la vegetación enferma con poca actividad fotosintética.

Como se puede observar en el NDVI de 1990, se aprecia más la influencia de los factores densos, como vegetación vigorosa; a diferencia del NDVI de 2005, el cual presenta mayores espacios que se acercan al rango

negativo (-1), lo que corrobora el proceso de deforestación que se viene dando en el área de este estudio, pero no alcanza a dar una cantidad medible y sólo cuenta como un indicador visual netamente de teledetección.

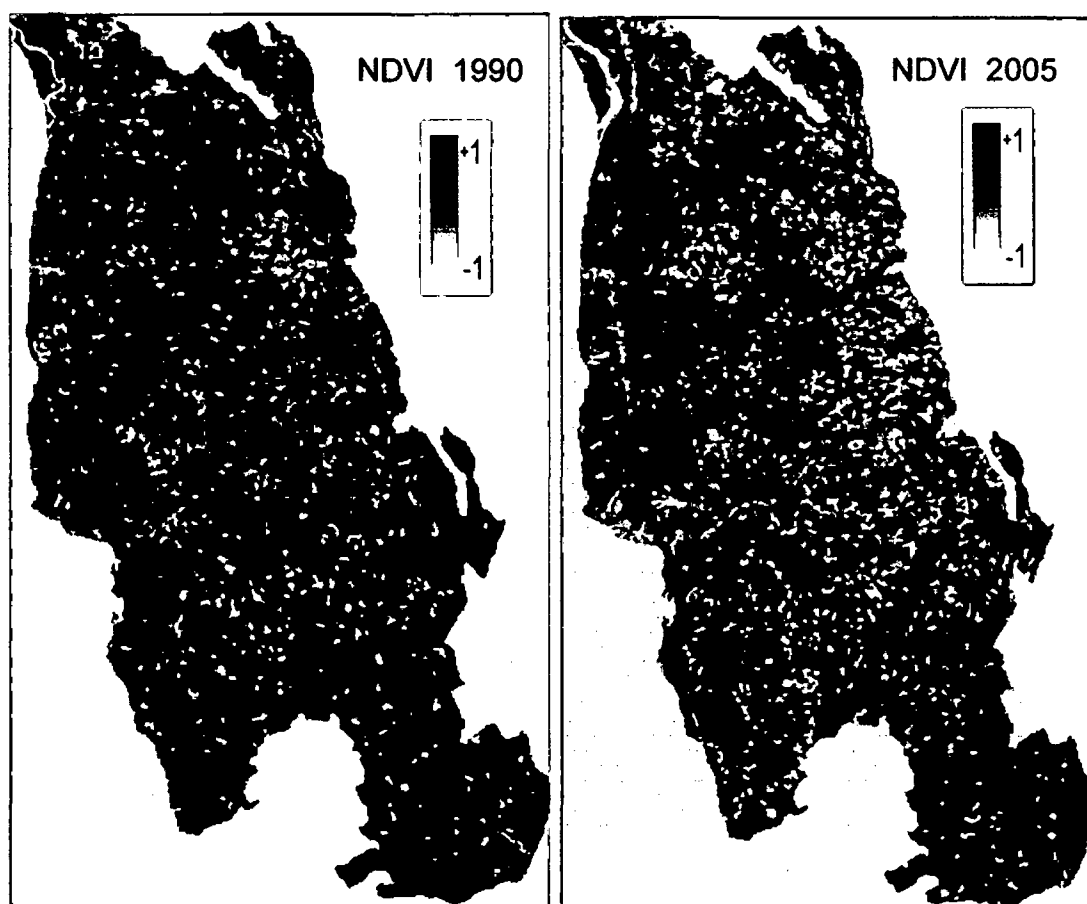


Figura 12. Índice de vegetación en los años 1990 y 2005.

V. CONCLUSIONES

1. Los procesos de corrección geométrica obtuvieron valores en el rango permitido para una evaluación multitemporal, con RMS de 25,2 m y 23,2 m para los años 1990 y 2005 respectivamente.
2. Los procesos de corrección atmosférica y de sombras por relieve topográfico tuvieron efectos visuales significativos a diferencia de las imágenes originales.
3. La validación de los resultados de clasificación digital, específicamente para el año 2005 fue de 82 % de exactitud global y con un índice de kappa de 0,79 que muestra la calidad de la clasificación.
4. La tasa de deforestación para la microcuenca del río Supte, está sobre los 34,80 ha por año y la pendiente de la curva es negativa, asumiendo el proceso de pérdida de la cobertura boscosa.
5. El índice de vegetación NDVI, muestra el proceso de pérdida de vegetación de las imagen de 2005 comparado con la de 1990, mas aún no es indicador medible, y los resultados obtenidos son apreciables visualmente.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar trabajos de recuperación de suelos degradados en el área de la microcuenca río Supte, mediante procesos de reforestación.
2. Relacionar la presente investigación, con estudios socioeconómicos de la zona para formar la base de proyectos de desarrollo.
3. Elaborar estudios de este tipo que nutran a la Universidad como ente de investigación en el campo forestal, que contribuya al desarrollo social y económico de la región.
4. Fomentar a los estudiantes de la facultad a tener el conocimiento para el procesamiento digital de imágenes satelitales, que contribuyan a la investigación de los procesos de deforestación.
5. Realizar los estudios de Índice de Degradación de Suelos (IDS) en la microcuenca, que corroboren la severidad de los procesos de deforestación.

VII. ABSTRACT

This research was founded on the initiative to learn about the process of deforestation in the microriver Supte (8745,5 ha), Which is located to the right margin of the river Huallaga, a sector which has been highly altered by the practice of shifting cultivation, leaving large areas of degraded soils, the objective was to measure rate of deforestation in the period from 1990 to 2005, using GIS and remote sensing techniques, as well as two satellite images Landsat TM-5, corresponding to the date. The work was first to perform the pre-processing of satellite images (geometric correction, correction atmospheric, correction shadows topographical relief), making use of the software raster ERDAS IMAGE 9.1 and ARCGIS Vector 9.2 software. and ARCVIEW GIS 3.2a. Then he made trips to the countryside where a Global Positioning System (GPS), were localized areas or training class, which served to assign and perform digital supervised classification, using the minimum distance is then used to reach this result have an overall accuracy of 82 % and a kappa index of 0,79 indicates that the classification as good, after this process, we quantified the areas that were under study for each class, obtaining a deforestation rate of 34,8 ha per year and a loss of 521,9 ha of forest in 15 years, while degraded soils has increased by 720,6 ha reaching a total of 1723,4 ha that include the pre-processing of satellite images contributed significantly to the final results obtained.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, B., SABOL, E., KAPOS, V., ALMEIDA, R., ROBERTS, O. 1995. Classification of multispectral images based on fractions of endmembers: applications to Land-Cover change in the Brazilian Amazon, Remote Seesing of Environment. 137 p.
- ARAUJO, R. 1995. Fórum deforestación en el Alto Huallaga. Univerisdad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú. 9 p.
- AVERY, E., GRAYDON, B. 1992. Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretaion. Macmillan Publishing Company. New York, EEUU. 5ª Edición. 472 p.
- CHAVEZ, S. 1996. "Image-based atmospheric corrections-revisited and improved", Photogrammetric Engineering, Remote Sensing, (62). 1025 p.
- ALVA, W., y CHAVEZ, T. 2004. Manual: procesamiento digital de imágenes. Tingo María, Perú, Universidad Nacional Agraria de la Selva. 40 p.
- CHAVEZ, T. 2006. Determinación de suelos degradados mediante técnicas de teledetección en la Microcuenca Río Delfin en Pozuzo. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 33 p.
- CHUVIECO, E. 1996. Fundamentos de Teledetección espacial. Ediciones RIALP, S.A. Madrid, España. p. 326-374

- CHUVIECO, E. 2002. Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio. Ed. Ariel Ciencia. Madrid, España.
- ELGEGREN, J. 2005. La deforestación en el Perú. [En línea]: (<http://www.pucp.edu.pe/climadecambios/images/documents/conam%20deforestaci%F3n%20en%20per%FA.pdf>, 10 de Febrero 2009).
- FAO. 2004. La mujer en la agricultura, medio ambiente y la producción rural, en el Perú. [En línea]: OFICINA REGIONAL DE LA FAO PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (<http://www.rlc.fao.org/es/desarrollo/mujer/situacion/pdf/peru.pdf>, 10 de febrero 2009).
- IIAP, 2004. Manual para la elaboración de mosaicos de imágenes de satélite Landsat TM para la selva baja peruana. Doc. N° 03. Iquitos, Perú. 97 p.
- INFOREGION, 2007. Narcotráfico destruyó 2 millones de hectáreas de bosques y contaminó ríos del VRAE y Alto Huallaga. [En línea]: (http://www.inforegion.pe/region/noticia_detalle.php?v_idnoticia=19847&v_idlocacion=1&v_idcategoria=28, 10 de marzo 2009).
- GARCIA, E. 2006. Corrección del sombreado topográfico en imágenes Landsat ETM+, aplicado al inventario de cuerpos de agua. Tesis Ing. Geógrafo. Lima, Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. p. 45-58.
- GATES, M., KEEGAN, J., SCHLETER, C. y WEIDNER, R. 1965. Spectral properties of plants, applied Optics. EEUU. (4) 20 p.
- CALDERON, R. 2007. Serie reforestación: manual práctico de producción de plantones. Gobierno Regional de Huánuco, Perú. 05 p.
- HOLDRIDGE, R. 1987. Ecología basada en zonas de vida. IICA San José, Costa Rica, 219 p.

- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2008. [En línea]: INPE, (<http://dgi.inpe.br>, Imagen Landsat TM-5, 5 de noviembre del 2008).
- JACKSON, R. D. 1983. Spectral indices in n-spaces remote sensing of environment. Vol 13. P. 409.
- JENSEN, J. 1996. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. 2ª Edición. Prentice Hall. 316p.
- KARSZENBAUM, H. 2005 Protocolo procesamiento de imágenes satelitales Landsat. SIB. Buenos Aires, Argentina. 1 p.
- LILLESAND, T., KIEFER, R. 1994. Remote sensing and image interpretation John Wiley & Sons. New York, EEUU. 3ª Edición. p. 748
- METTERNICHT, G. 2001. Assessing temporal and spatial changes of salinity using fuzzy logic remote sensing and GIS, Foundations of an expert system, Ecological Modeling. (144): 163 – 179
- MEYER, P., ITTEN, K. I., KELLENBERGER, T., SANDMEIER, S., SANDMEIER, R. 1993. Radiometric correction of topographically induced effects on Landsat TM data in an Alpine environment”, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. p. 17-28.
- MONTES DE OCA, I. 1997. Geografía y Recursos Naturales de Bolivia. 3era ed. Editorial EDOBOL. La Paz, Bolivia. p 450-458.
- NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE. 2002. Centre for remote imaging, [En línea]: NUS, (<http://sci-ctr.edu.sg/ssc/publication/remotesense/rms1.htm>, 26 de noviembre 2008).
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. 2004. [En línea]: NASA, (<http://www.nasa.gov/home/index.html>, 5 de Dic. 2008).

- SANCHEZ, M. 2003. Diagnostico de los suelos en la Microcuenca hidrográfica del río Supte. Tesis Magistral. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 38. p.
- SCHWARTZ, E. 2004. El papel de la silvicultura en la mitigación de la pobreza. FAO. Foro Italia. 4-6 de setiembre de 2001. [En línea]: (<http://www.fao.org/noticias>, 27 de noviembre del 2008).
- SILES, M. 2001. Análisis de la deforestación mediante imágenes satelitales de la Chiquitania Central. Tesis Ing. Forestal. Santa Cruz, Bolivia. Universidad Autónoma Gabriel René Moreno. 26 p.
- SOBRINO, J. 2000. Teledetección servicios de publicación de la Universidad de Valencia. Madrid, España. 476 p.
- SONG, C., WOODCOCK, C., SETO, K., LENNEY, M., MACOMBER, S. 2001. Classification and Change Detection using Landsat TM: when and how to correct atmospheric effects. Remote Sensing of Environment: 230 p.
- REATEGUI, F. 1996. Monitoreo continuo de los procesos de deforestación en la amazonia peruana. Tesis Ing. forestal. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina 8 p.
- RECONDO, C., MÉNDEZ, A., GARCÍA, M; GONZÁLEZ, R; y SÁEZ, E. 2001. Un método sencillo para la corrección topográfica de imágenes de satélite, Madrid, España. 32 p.
- VERMOTE, F., TANRE, D., DEUZE, L., HERMAN, M., MORCRETE, J., 1997. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum. New York, EEUU. (3). 675 p.

IX. ANEXOS

Anexo 1. Variables de la corrección atmosférica (CHUVIECO.1996)

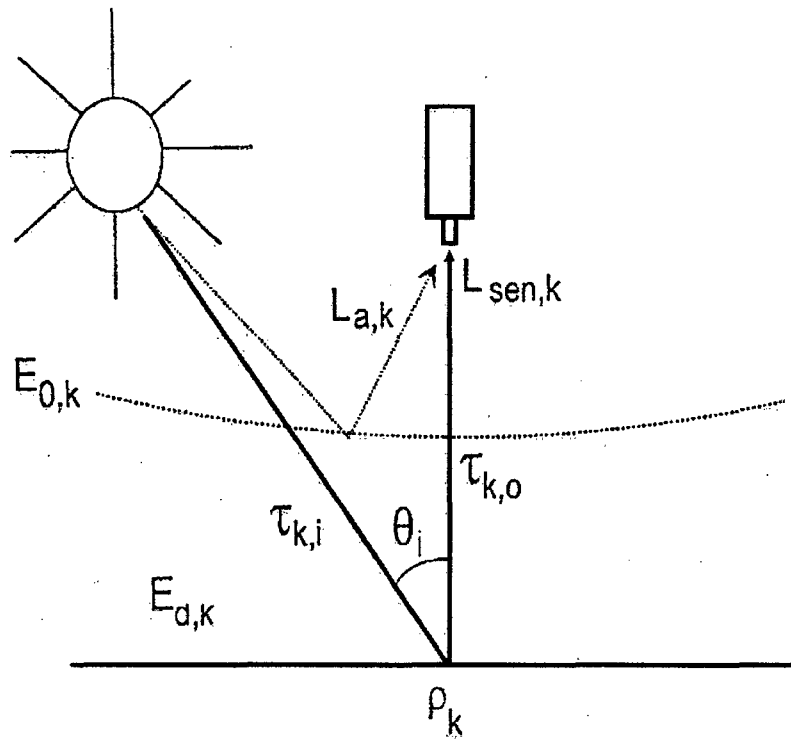


Figura 13. Elementos de la interacción atmosférica.

Anexo 2. Efecto de relieve topográfico (CHUVIECO, 2002)

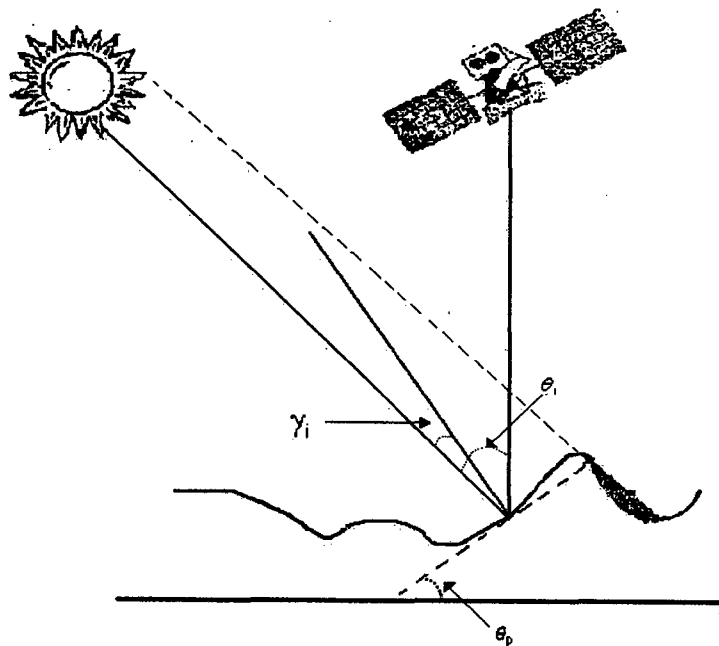


Figura 14. Elementos de la interacción del relieve.

Anexo 3. Generación MDE y sus variables derivadas

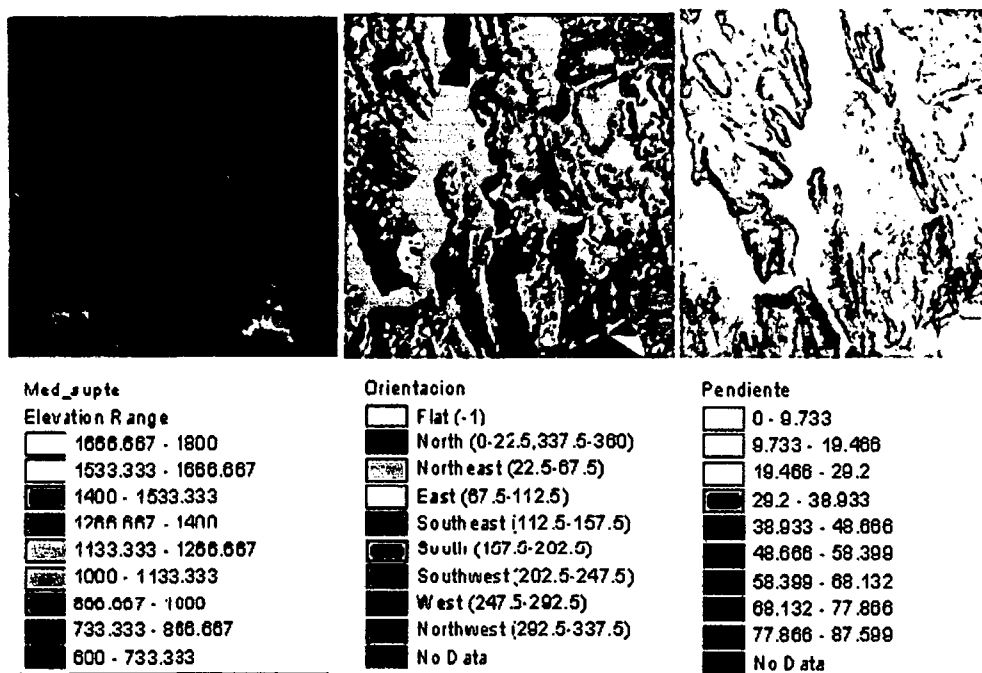


Figura 15. Modelos de elevación digital y variables.

Anexo 4. Modelo de iluminación y superficie de referencia

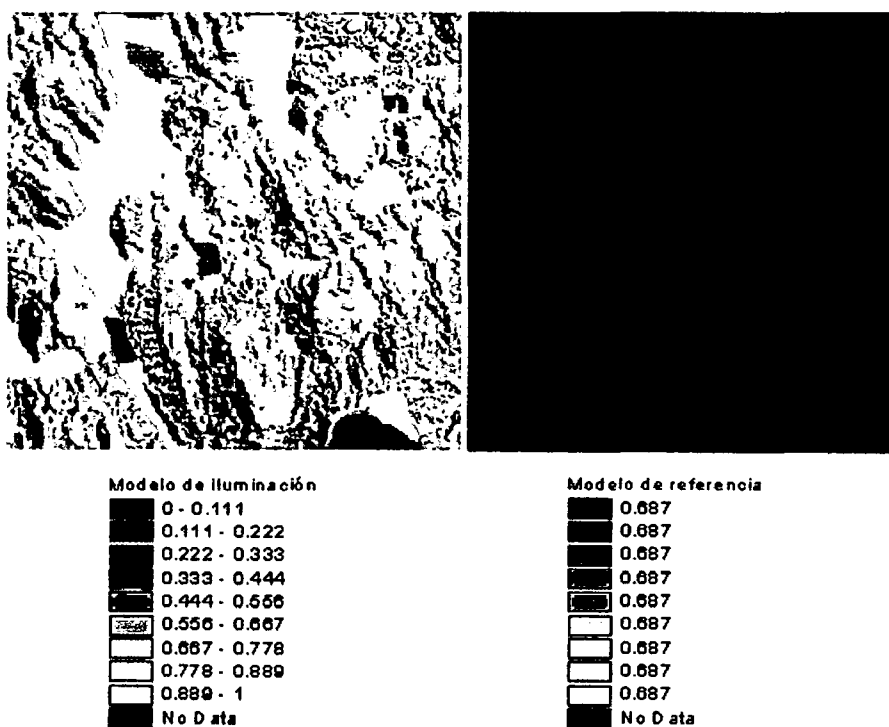


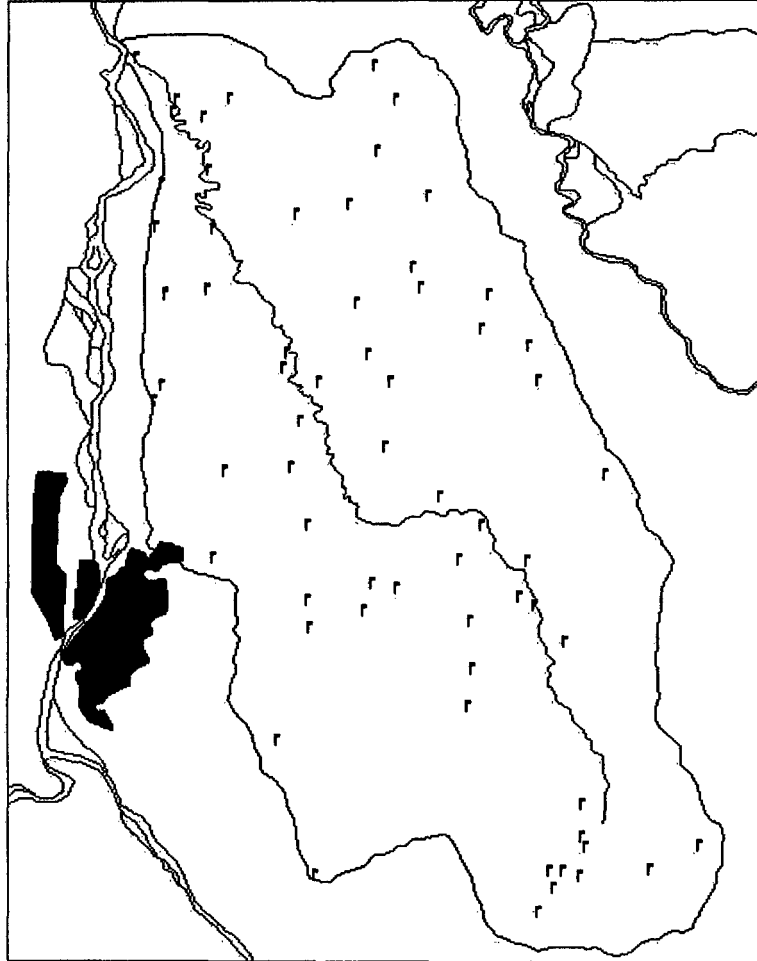
Figura 16. Superficies de iluminación.

Anexo 5. Distribución de puntos para la matriz de confusión

Cuadro 10. Puntos de validación.

Nº	Este	Norte	Clasificado	Referencia (terreno)
1	399115	8968288	B. Secundario	B. Secundario
2	394231	8981313	B. Secundario	B. Secundario
3	394531	8980746	B. Secundario	B. Secundario
4	393955	8977357	B. Secundario	B. Secundario
5	394451	8976030	B. Secundario	B. Secundario
6	393314	8967770	B. Secundario	B. Secundario
7	392745	8970030	B. Secundario	B. Secundario
8	394379	8974957	B. Secundario	B. Secundario
9	393200	8973636	B. Secundario	Cultivos
10	397696	8974473	B. Secundario	B. Secundario
11	397696	8974473	B. Secundario	B. Secundario
12	395831	8976912	B. Secundario	B. Secundario
13	394117	8976489	B. Secundario	Purma
14	390896	8975708	B. Secundario	Purma
15	395624	8970596	B. Secundario	B. Secundario
16	391941	8974544	Purma	Purma
17	393035	8978837	Purma	Purma
18	393035	8978837	Purma	Purma
19	397358	8968433	Purma	Pastizal
20	397068	8967871	Purma	Purma
21	398363	8967881	Purma	Purma
22	396926	8967581	Purma	Purma
23	390907	8978626	Pastizal	Pastizal
24	394535	8972581	Pastizal	Pastizal
25	394185	8972654	Pastizal	Pastizal
26	393198	8972379	Pastizal	Pastizal
27	397335	8968970	Pastizal	S. Degradado
28	396867	8967873	Pastizal	Pastizal
29	396681	8967179	Pastizal	Purma
30	391726	8979562	Pastizal	Pastizal
31	390994	8979356	Pastizal	Pastizal
32	391778	8978602	Pastizal	Pastizal
33	392884	8976524	Pastizal	Pastizal
34	392838	8976255	Pastizal	Pastizal
35	396679	8976049	Pastizal	Pastizal
36	391683	8977571	Cultivos	Cultivos
37	393376	8976016	Cultivos	Cultivos
38	394252	8979887	Cultivos	S. Degradado
39	393077	8975371	Cultivos	Cultivos
40	393238	8971907	Cultivos	Cultivos

Continuación del cuadro anterior...				
41	393238	8971907	Cultivos	Cultivos
42	396625	8972283	Cultivos	Cultivos
43	395681	8971231	Cultivos	S. Degradado
44	396403	8972429	Cultivos	Cultivos
45	392025	8980781	Cultivos	Cultivos
46	391072	8977503	S. Degradado	Z. urbana
47	395205	8974129	S. Degradado	S. Degradado
48	395820	8973629	S. Degradado	S. Degradado
49	395489	8973048	S. Degradado	S. Degradado
50	396524	8973026	S. Degradado	S. Degradado
51	397096	8971682	S. Degradado	S. Degradado
52	391112	8973221	S. Degradado	Z. urbana
53	394055	8972197	S. Degradado	S. Degradado
54	392932	8974587	S. Degradado	S. Degradado
55	394922	8977609	S. Degradado	S. Degradado
56	395034	8979145	S. Degradado	S. Degradado
57	395034	8979145	S. Degradado	S. Degradado
58	394790	8977935	S. Degradado	S. Degradado
59	393822	8979011	S. Degradado	Cultivos
60	397413	8968266	S. Degradado	S. Degradado
61	391059	8977491	S. Degradado	Z. urbana
62	397316	8967763	S. Degradado	S. Degradado
63	390634	8981466	Ríos	Ríos
64	390634	8981466	Ríos	Ríos
65	395952	8977498	Ríos	B. Secundario
66	391233	8980733	Ríos	Ríos
67	391786	8973095	Z. Urbana	Z. Urbana
68	391786	8973095	Z. Urbana	Z. Urbana
69	391000	8975978	Z. Urbana	Z. Urbana
70	391644	8980456	Z. Urbana	Z. Urbana
71	391169	8980529	Z. Urbana	S. Degradado
72	395651	8972032	Z. Urbana	Z. Urbana
73	396547	8976622	Z. Urbana	Z. Urbana

Anexo 6. Ubicación de los puntos de la matriz de confusión**Figura 17. Ubicación de los puntos de validación.**

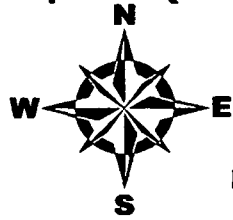
385000 000000

390000 000000

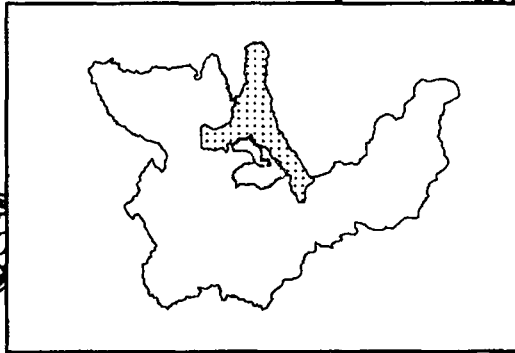
395000 000000

400000 000000

405000 000000



DEPARTAMENTO: TAJANICO



SIMBOLOGIA

- Vias
- Rios
- Lim. Distrital
- Microcuencia
- Tingo Maria

DANIEL ALOMIAS ROBLES

CLASIFICACION DIGITAL LANDSAT TM-5, 1990

COBERTURA	Ha
B. secundario	3321,1
Cultivos	1290,1
Pastizal	1662,1
Purma	536,0
Rios	104,9
S. degradados	1002,8
Z. urbana	100,3
Area no evaluada	728,1

MARIANO DAMASO

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
Mención Forestales

CLASIFICACION DIGITAL LANDSAT TM-5, 1990

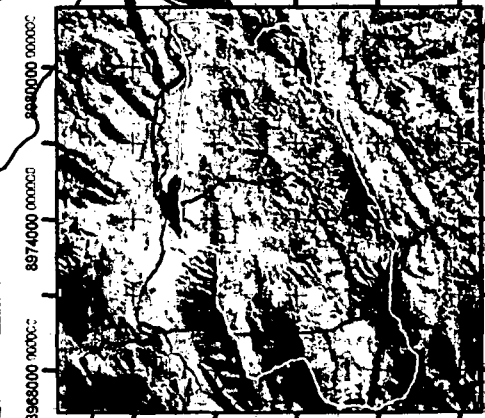
Zona Sur 18 L-Datum WGS 84

ESCALA 1:100.000

Elaborado: LAURENTE CAJACURI, Miguel Angel

TESIS: "MEDICIÓN DE DEFORESTACIÓN E ÍNDICE
DE VEGETACIÓN DIFERENCIA NORMALIZADA MEDIANTE
LA PERCEPCIÓN REMOTA, EN LA MICROCUENCA RÍO SUPTÉ

L-1



SUB ESCENA, IMAGEN LANDSAT TM-5, 1990

385000 000000

390000 000000

395000 000000

400000 000000

405000 000000

8980000 000000

8977000 000000

8974000 000000

8971000 000000

8968000 000000

8965000 000000

8980000 000000

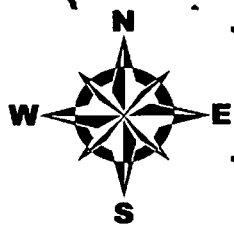
8977000 000000

8974000 000000

8971000 000000

8968000 000000

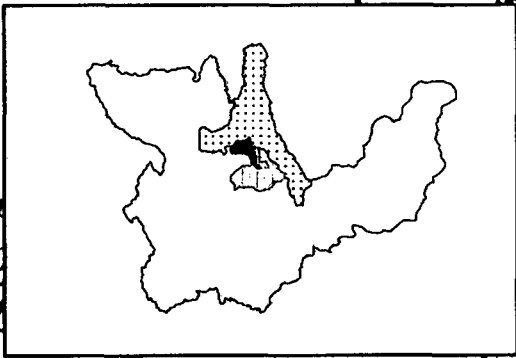
8965000 000000



SIMBOLOGIA

- Vias
- Rios
- Lim. Distrital
- Microcuenca
- Tingo Maria

DEPARTAMENTO: HUANUCO



DANIEL ALOMIAS ROBLES

CLASIFICACION DIGITAL LANDSAT TM-5, 2005

COBERTURA	Ha
B. secundario	2799,1
Cultivos	1489,5
Pastizal	1684,4
Purma	131,2
Rios	51,5
S. degradados	1723,5
Z. urbana	138,2
Area no evaluada	728,0

MARIANO DAMASO ROBLES

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 FACULTA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
 Mención Forestales

CLASIFICACION DIGITAL LANDSAT TM-5, 2005
 Zona Sur 18 L-Datum WGS 84
 ESCALA 1:100,000

Elaborado: LAURENTE CAJACURI, Miguel Angel

TESIS: "MEDICIÓN DE DEFORESTACIÓN E ÍNDICE DE VEGETACIÓN DIFERENCIA NORMALIZADA MEDIANTE LA PERCEPCIÓN REMOTA, EN LA MICROCUENCA RÍO SUPTÉ

L-2



SUB ESCENA, IMAGEN LANDSAT TM-5, 2005

