

MEDICIÓN DE LA DEFORESTACIÓN MEDIANTE PERCEPCIÓN REMOTA EN LA MICROCUENCA RÍO SUPTE, TINGO MARÍA – PERU

MIGUEL ÁNGEL LAURENTE CAJACURI

Facultad de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional Agraria de la Selva

Av. Universitaria S/N-Tingo María, Perú

e-mail: mikdiscip@hotmail.com

RESUMEN

La investigación nace con el objetivo de conocer el proceso de deforestación, en el período de 1990 a 2005, en la microcuenca del río Supte (8745,5 ha), sector que ha sido altamente alterado por la práctica de la agricultura migratoria. Para ello se utilizaron técnicas de Teledetección y SIG, usando dos imágenes del satélite-sensor Landsat TM-5. En primer lugar, se realizó el pre-procesamiento de las imágenes de satélite. Después, con un receptor GPS (Sistema de Posicionamiento Global), se ubicaron áreas clase o de entrenamiento que sirvieron para realizar la clasificación digital supervisada. En la validación del resultado se obtuvo una *Exactitud Global* del 64% y un *Índice de Kappa* de 0,57, indicando la bondad de la clasificación. Finalmente, se determinó 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 en 2005.

Palabras Clave: Landsat TM-5, deforestación, procesamiento digital.

MEASUREMENT OF DEFORESTATION BY REMOTE SENSING IN THE SUPTE MICRO-BASIN RIVER, TINGO MARIA -PERU

ABSTRACT

The aim of this research is to know the deforestation process during the period 1990 to 2005 in the Supte micro-basin (8745.5 ha), an area that has been highly altered by the practice of the migratory agriculture. To this end, technologies as Remote Sensing and GIS along with two Landsat TM-5 satellite images have been used. First of all, pre-processing of the satellite images was made, then with a GPS device (Global Positioning System) class training areas were targeted and used for supervised classification. The results generated using remotely sensed satellite imagery were 64% for the global accuracy and 0.57 for the Kappa index, which show the goodness of classifications.

Finally a rate of deforestation of 34.8 ha has been found, with a total of forest loss around 521.9 ha in 15 years, whereas the degraded soils increased in 720.6 ha, with a total value of 1723.4 ha in 2005.

Key words: Landsat TM-5, deforestation, digital processing.

1. 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 esta 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).

Las técnicas relacionadas con la percepción remota constituyen un conjunto de instrumentos que permiten la obtención, medición y registro de información a distancia, fundamentalmente basada 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 materiales de distinto tipo. Bajo este contexto, el presente estudio pretende realizar una evaluación de la deforestación en la microcuenca del río Supte, ubicada en 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.

2. Metodología

2.1. Ubicación de la zona de estudio

La microcuenca Supte San Jorge abarca una superficie de, aproximadamente, 8.745,5 ha; políticamente pertenece a los distritos de Rupa Rupa, Padre Felipe Luyando y Mariano Dámaso Beraúm de la provincia de Leoncio Prado, Región de Huánuco, en Perú. Se ubica en las coordenadas E 394249 y N 8974667 de la proyección cartográfica UTM, en la zona 18 Sur, en el *Datum* WGS 84 ([figura 1](#)). Presenta una temperatura media anual de 24,5 °C; la precipitación promedio anual es de 3.300 mm y la humedad relativa de 87%. De acuerdo a la clasificación ecológica de las zonas de vida de Holdridge (1987), la zona de estudio se encuentra ubicada en la formación vegetal de bosque muy húmedo Pre Montano Tropical (bmh - PT). Se puede distinguir paisaje aluvial, de lomadas, colinas altas y bajas, y laderas de depósito aluviales. En cuanto a la vegetación, la especie dominante

Laurente Cajacuri, M. A. (2011): "Medición de la deforestación mediante percepción remota en la microcuenca río Supte, Tingo María – Perú", *GeoFocus (Informes)*, nº 11, p. 1-15. ISSN: 1578-5157

en el bosque primario es "Huangana caspi" *Senefeldera inclinata*, seguido de las especies "Shiringa" *Hevea brasiliensis*, "Palo Lápiz" *Jacaranda copaia*, "Caimitio" *Poutería caimito*, "Cetico" *Cecropia sciadophylla* y "Cumula" *Virola pavones*. En la parte de bosque secundario la especie "Shimbillo" *Inga alba* es la que presenta mayor número de individuos, seguido del "Anolillo" *Scheffiera morototomi*, "Quino" *Cinchona officinalis* L., "Pali perro" *Vitex psedolea* L., "Tahuari" *Couratari macrocarpa* y "Carahuasca" *Guatteria modesta*, entre otras.

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

2.2. Trabajo de campo

Consistió en la localización y caracterización de los tipos de cubierta, que se llevó a cabo mediante salidas al campo donde se identificaron áreas representativas de cada clase. De esta manera, con la ayuda de un receptor GPS, se ubicaron las siguientes áreas:

- Bosque.
- Purma (bosque en las primeras etapas de sucesión, no pasa los 5-7 m de altura).
- Pastizal.
- Cultivo.
- Suelos desnudos.
- Hidrografía.
- Zona urbana.

2.3. Pre-procesamiento de las imágenes de satélite Landsat

El primer paso fue la adquisición de las imágenes, por solicitud vía Internet. Se consultó exclusivamente el catalogo del INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais de Brasil- <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). Se adquirieron dos imágenes del mismo mes (agosto) con la finalidad de que las condiciones de la vegetación y las climáticas fuesen homogéneas y nos permitieran obtener mejores resultados en la investigación. La fecha concreta de cada imagen, así como el ángulo de elevación y el acimut topográfico del Sol en el momento de la toma de la imagen se indican en la [tabla 1](#). Posteriormente, se realizó la corrección geométrica mediante la localización de 40 puntos de control ubicados en el mapa y en la imagen, con base en la cartografía de la carta nacional (escala 1/100.000), en el programa *ERDAS IMAGINE 9.1*, utilizando una función polinomial de segundo grado (2º). Finalmente, se transfirieron los ND a una nueva posición mediante la interpolación del vecino más cercano.

Después de la georreferenciación se procedió a la corrección radiométrica, efectuada con objeto de medir la respuesta espectral de cualquier objeto de la superficie terrestre en la imagen con una recepción ideal. El primer paso fue la conversión de ND a radiancia ($L_{sen, k}$), que se realiza a partir de los coeficientes de calibración utilizando la fórmula (1):

Laurente Cajacuri, M. A. (2011): "Medición de la deforestación mediante percepción remota en la microcuenca río Supte, Tingo María – Perú", *GeoFocus (Informes)*, n° 11, p. 1-15. ISSN: 1578-5157

$$L_{senk} = a_{0k} + a_{1k} ND_k \quad (1)$$

Donde:

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

$a_{0,k}$ y $a_{1,k}$ = Coeficientes de calibración para la banda k (tabla 2).

ND_k = Nivel digital de la imagen en la banda k .

Seguidamente, se realizó la corrección atmosférica, la cual sirve 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 ello se calculó la reflectividad mediante la ecuación (2):

$$\rho_k = \frac{K\pi(L_{senk} - L_{ak})/\tau_{k,0}}{(E_{0k}\cos\theta_i\tau_{k,i} + E_{dk})} \quad (2)$$

Donde:

ρ_k = Reflectividad real de la superficie terrestre.

K = Distancia Tierra-Sol, en unidades astronómicas.

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

$L_{a,k}$ = Radiancia atmosférica debido a la dispersión en la banda k ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$).

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

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

$\cos\theta_i$ = Coseno del ángulo cenital del Sol.

$\tau_{k,i}$ = 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 Chávez (1996), que utiliza los siguientes valores:

K = Distancia de Tierra-sol, calculada mediante (3):

$$K = (1 + 0,0167(\sin(2\pi(D - 93,5)/365)))^2 \quad (3)$$

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

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

$\tau_{k,0}$ = Se asume igual a 1.

$\cos\theta_0$, Valor dependiente de la elevación solar para las fechas de la imagen.

$E_{0,k}$ = Irradiancia solar en el techo de la atmósfera, indicados en la tabla 2.

$\tau_{k,i}$ = Se tomaron los valores de Chávez, indicados en la tabla 2.

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

El procedimiento de corrección atmosférica por el método de COST se realizó con la interfaz gráfica *CALRAD*, un módulo para el software *ERDAS IMAGINE 9.1*.

Para finalizar el pre-procesamiento de las imágenes, se realizó la corrección del sombreado topográfico y se utilizó el Método de Corrección C. El primer paso es realizar la generación del modelo de elevación, empleándose la cartografía 1:100.000 del IGN y la extensión *3D Analyst* de *ArcView GIS 3.2a*, creándose un MDE con el interpolador TIN (Red Irregular de Triangulación). Luego se procedió a la obtención de dos variables derivadas de éste, como son el modelo de pendientes y orientaciones. Posteriormente, se procedió a la generación del modelo de iluminación y se utilizó la siguiente fórmula (4):

$$\text{Cos}(i) = \cos \theta_s \times \sin \theta_n \times \cos(\phi_s - \phi_n) + \sin \theta_s \times \cos \theta_n \quad (4)$$

Donde:

Cos(i)= es el coseno del ángulo de incidencia solar local

θ_s = Elevación solar ([tabla 1](#)).

θ_n = Ángulo de pendiente de la superficie.

ϕ_s = Azimut solar ([tabla 1](#)).

ϕ_n = Orientación de la superficie (Horn y Sjoberg, 1979, citado en García, 2006).

Para la generación de la superficie de referencia (superficie horizontal o plana) no se utilizan los valores de pendiente ni de orientación, por lo que la iluminación dependerá sólo de la posición del ángulo de elevación solar (5):

$$\text{Cos}(i) = \sin \theta_s \quad (5)$$

Para la aplicación del Método de la Corrección C se utilizó la siguiente fórmula (6):

$$\rho_c = \rho_0 \times \left(\frac{\cos(v) + C}{\cos(i) + C} \right) \quad (6)$$

Donde:

ρ_c = Reflectividad corregida.

ρ_0 = Reflectividad observada.

Cos (v) = Coseno del ángulo de incidencia para una superficie horizontal que es igual al coseno del ángulo vertical del Sol, igual al seno del ángulo de elevación solar. **Cos (i)** = Coseno del ángulo de incidencia solar.

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

Laurente Cajacuri, M. A. (2011): "Medición de la deforestación mediante percepción remota en la microcuenca río Supte, Tingo María – Perú", *GeoFocus (Informes)*, nº 11, p. 1-15. ISSN: 1578-5157

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.

Del mismo modo, se realizó una clasificación supervisada utilizando el método de mínima distancia. Se identificaron en campo las áreas de entrenamiento con la ayuda del GPS y se generaron polígonos, los cuales se visualizaron sobre la imagen utilizando una combinación de Bandas RGB=432.

La validación de los resultados se efectuó mediante la creación de matrices de confusión, elaboradas a partir de la tabulación cruzada de la información generada por la clasificación y la verdad-terreno (muestreo). El número de puntos de muestra se obtiene mediante la fórmula binomial (7) (acierto y error) definida por:

$$N = \frac{z^2 pq}{E^2} = \frac{1,96^2 \times 85 \times 15}{5^2} = 195.92 \approx 196 \text{ puntos} \quad (7)$$

Donde z es la curva normal para un nivel determinado de probabilidad, en este caso 85%; p es el porcentaje de aciertos estimado; q el de errores ($q=1-p$) y E el nivel permitido de error (Chuvieco, 1996). La determinación de la verdad-terreno para los 196 puntos distribuidos al azar sobre la imagen fue realizada mediante salidas al campo y con imágenes de satélite obtenidas de *Google Earth* (GoogleTM) (figura 2). Cabe mencionar que la validación del resultado sólo se realizó para la imagen del 2005. 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 desarrollada por Congalton (1982), citado por Chuvieco (1996) (8):

$$\hat{k} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}} \quad (8)$$

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

2.4. Determinación de la tasa y de la línea de deforestación

Para determinar la tasa de deforestación se realizó el siguiente cálculo (9):

$$TAD = \frac{(\text{forest2005} - \text{forest1990})}{\text{Número de años del período (1990 - 2005)}} \quad (9)$$

Donde:

TAD = Tasa anual de deforestación.

forest2005 = Cobertura boscosa del año 2005 en ha.
forest1990 = Cobertura boscosa del año 1990 en ha.

3. Resultados y discusión

3.1. Correcciones en el pre-procesamiento

3.1.1. Corrección geométrica

El error medio cuadrático (RMS) de las imágenes georreferenciadas es de 25,2 m para la imagen de 1990 y 23,2 m para la imagen de 2005. En efecto, no superan los 30 metros de error, encontrándose en un rango aceptable debido a que para el análisis multitemporal de imágenes el error no debe superar el tamaño del píxel 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 sólo fruto de una falta de ajuste entre imágenes.

3.1.2. Corrección atmosférica

En la [figura 3](#) se muestran las imágenes con una combinación de bandas RGB=321 (color real), antes y después de la corrección atmosférica, observándose diferencias visuales significativas. Se puede apreciar especialmente en la imagen de 2005. Cabe mencionar que la combinación de bandas que presentan estas imágenes utiliza las bandas 1, 2 y 3, que son las más afectadas por los efectos de dispersión atmosférica (Chuvieco, 1996) y, por ende, se observan mejor los efectos de la corrección atmosférica (García, 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 mayor que el tamaño de los objetos responsables de la dispersión.

3.1.3. Corrección topográfica

El efecto de la corrección topográfica aplicada a las imágenes de satélite se muestra en la [figura 4](#). En esta ocasión se ha elegido una combinación RGB=432 (falso color). En estas imágenes se observa que antes de la corrección existe más influencia del efecto sombras del relieve, apreciándose con más detalle donde se indica con flechas en la [figura 4](#).

Meyer *et al.* (1993) señalan que para una adecuada corrección del sombreado topográfico se requiere de un modelo de elevación digital con una adecuada resolución, lo que se conseguiría en nuestro caso con una cartografía a escala 1: 25.000. Sin embargo, en el Perú el Instituto Geográfico Nacional (IGN) no ha digitalizado curvas de nivel a esta escala para esta zona.

3.2. Validación de los resultados de la clasificación

Con el fin de cuantificar la fiabilidad del método de clasificación supervisada de mínima distancia se elaboró la matriz de confusión ([tabla 3](#)) con los puntos verificados en campo. 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 columnas se ocupan por las clases de referencia (terreno) y las filas por las categorías deducidas en la clasificación. La fiabilidad global está sobre el 64%, lo que, según diversos autores, es considerado aceptable para imágenes de este tipo (Chuvieco, 1996). Además, el Índice de Kappa indica un valor de 0,57, dentro del rango entre 0,41-0,60, y es considerado como moderado en la calidad de la clasificación (Chávez, 2006).

Los resultados de la matriz de confusión arrojaron que la fiabilidad del productor es de 72%, lo que quiere decir que ocho de cada diez áreas de entrenamiento que tienen realmente esa cubierta están incluidos en la clasificación como tal. Sin embargo, la fiabilidad de usuario supera el 62%, lo que indica que sólo las tres quintas partes de las zonas clasificadas como esa cubierta realmente lo son.

Con respecto a la categoría de bosque ([tabla 3](#)), que es la que requiere preponderancia en el trabajo, se puede manifestar que, de acuerdo a los resultados, muestra valores elevados, especialmente en la precisión del productor (72%) y algo menos en la del usuario (62%). Esto podría indicar que las coberturas de bosque han tenido un acertado trabajo clasificación, lo que resulta de especial interés dado el objetivo del trabajo.

3.3. De la tasa de deforestación

En el [tabla 4](#) se muestra la tasa de deforestación de la microcuenca río Supte que asciende a 34,8 ha por año, representando el 0,43% del área total en estudio (8.017,3 ha). Este indicador presenta una leve diferencia con la publicación de FAO (2004) que menciona que la deforestación en el Perú está sobre los 261.158 ha por año, 0,36 % del total de área boscosa del país (72.000.000 ha). De la misma manera, el diario Inforregion (2007) manifiesta que la deforestación en el Perú está entre 200.000 y 300.000 ha por año.

Esta leve diferencia que presentan ambos estudios se debe a muchos factores, uno de los cuales 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 del país y, de hecho, es necesario realizar estudios a pequeña escala que sean más fehacientes.

En el [tabla 5](#) se muestran las áreas de cobertura para las categorías que tuvieron un decrecimiento, representando la línea de deforestación. Cabe mencionar que la máxima pérdida se observa en la clase de bosque, con 522 ha en un periodo de 15 años. En la [tabla 6](#) se muestran las áreas de las coberturas que presentan incremento, observándose el mayor aumento en la categoría de suelos desérticos con 720,6 ha, llegando a un total de 1.723,4 ha en el 2005.

Laurente Cajacuri, M. A. (2011): "Medición de la deforestación mediante percepción remota en la microcuenca río Supte, Tingo María – Perú", *GeoFocus (Informes)*, n° 11, p. 1-15. ISSN: 1578-5157

Como se puede apreciar en la [tabla 6](#), los procesos de cambio en el período de 15 años estudiado son muy notorios. Podemos manifestar que las categorías que tuvieron crecimiento tienen una causa antrópica (cultivos, pastizales, suelos desérticos y zonas urbanas) que, lógicamente, afecta a 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, Inforregion (2007) menciona que la práctica del cultivo de la hoja de coca hace que los pobladores deforesten, 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, asignándose al cultivo de la hoja de coca entre el 26% y el 27% de todo lo deforestado.

4. Conclusiones

1. En el proceso de corrección geométrica se obtuvieron valores en el rango permitido para una evaluación multitemporal, no superando el tamaño del pixel en las imágenes Landsat (30 m).
2. Los procesos de corrección atmosférica y de sombreado topográfico tuvieron efectos visuales significativos en las imágenes corregidas con respecto a las imágenes originales.
3. La validación de los resultados de la clasificación digital para la imagen Landsat del año 2005 presenta una moderada calidad de precisión ya que la matriz de confusión y el Índice de Kappa así lo consideran. Sin embargo, resulta más aceptable la clasificación para la categoría de bosque que constituye el objetivo principal del trabajo.
4. La tasa de deforestación para la microcuenca del río Supte es elevada y alarmante (34,80 ha por año), en efecto y asumiendo el proceso de pérdida de la cobertura boscosa, ya que esta zona está ocupada por un gran número de personas que se dedican a la agricultura migratoria de cultivos ilícitos.

5. Referencias bibliográficas

- Araujo, R. (1995): *Fórum deforestación en el Alto Huallaga*. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú. 9 p.
- Chávez, 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, pp. 33.
- Chávez, P. S. (1996): "Image-based atmospheric corrections-revisited and improved", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, pp. 1025-1036.
- Chuvieco, E. (1996): *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid, Ediciones Rialp.
- Elgegren, J. (2005): *La deforestación en el Perú*. Disponible en: <http://en-red2.wikispaces.com/file/view/deforestacion.pdf>
- Inforregion (2007): *Narcotráfico destruyó 2 millones de hectáreas de bosques y contaminó ríos del VRAE y Alto Huallaga*. Disponible en: http://www.inforegion.pe/region/noticiadetalle.php?Vid noticia=19847&v_idlocacion=1&v_idcategoria=28
- FAO (2004): *La mujer en la agricultura, medio ambiente y la producción rural, en el Perú*. Disponible en: www.rlc.fao.org/es/desarrollo/mujer/situacion/pdf/peru.pdf

Laurente Cajacuri, M. A. (2011): "Medición de la deforestación mediante percepción remota en la microcuenca río Supte, Tingo María – Perú", *GeoFocus (Informes)*, nº 11, p. 1-15. ISSN: 1578-5157

García, 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.

Gilabert, M.A.; Conese, C. y Maselli, F. (1994): "An atmospheric correction method for the automatic retrieval of surface reflectances from TM images", *International Journal of Remote Sensing* 15 (10), pp. 2065-2086.

Holdridge, R. (1987): *Ecología basada en zonas de vida*. IICA San José, Costa Rica, 219 p.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE, 2008. Disponible en <http://www.inpe.br>.

Karszenbaum, H. (2005): *Protocolo procesamiento de imágenes satelitales Landsat*. SIB. Buenos Aires, Argentina. 1 p.

Meyer, P.; Itten, K. I.; Kellenberger, T.; Sandmeier, S. y Sandmeier, R. (1993): "Radiometric correction of topographically induced effects on Landsat TM data in an Alpine environment", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 48, pp. 17-28.

Schwartz, E. (2004): *El papel de la silvicultura en la mitigación de la pobreza*. FAO. Foro Italia. 4-6 de setiembre de 2001. Disponible en: <http://www.fao.org/noticias>.

TABLAS

Tabla 1. 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).

Tabla 2. Valores para la corrección radiométrica.

Banda	$E_{0,k}$ ($Wm^{-2}um^{-1}$)	$a_{0,k}$	$a_{1,k}$	$\tau_{k,i}$ ¹
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: Gilabert *et al.* (1994) y Chávez¹ (1996).

Laurente Cajacuri, M. A. (2011): "Medición de la deforestación mediante percepción remota en la microcuenca río Supte, Tingo María – Perú", *GeoFocus (Informes)*, nº 11, p. 1-15. ISSN: 1578-5157

Tabla 3. Matriz de confusión año 2005.

		Datos de referencia (terreno)									
	Clases ¹	1	2	3	4	5	6	7	T.Fila	Ex.U.	E.C.
Datos de Clasificación	1	18	7	0	4	0	0	0	29	62	38
	2	2	18	2	2	3	2	0	29	62	38
	3	0	3	16	4	2	0	0	25	64	36
	4	0	2	4	16	2	2	0	26	62	38
	5	0	0	2	6	27	0	4	39	69	31
	6	4	0	0	0	2	15	4	25	60	40
	7	0	0	0	0	8	0	15	23	65	35
T.Columna		25	32	27	36	49	25	30	196		
	Ex.P.	72	56	59	44	55	60	50	Ex.Global		64
	E.O.	28	44	41	56	45	40	50	Índice Kappa		0,57

Fuente: Elaboración propia (2009).

¹Los números 1 a 7 hacen referencia a las categorías de la clasificación: **1.** Bosque; **2.** Purma; **3.** Pastizal; **4.** Cultivos; **5.** Suelos desértico; **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.

Tabla 4. Tasa de deforestación.

Categoría	Años	Área (ha)	Tasa deforestación anual	
			(ha/año)	(%)
Bosque	1990	3.321,1	34,8	0,43
	2005	2.799,1		

Fuente: Elaboración propia (2009).

Tabla 5. Áreas de cobertura decreciente

Cobertura	1990 (ha)	2005 (ha)	Pérdida (ha)
Bosque	3.321,1	2.799,1	522
Purma	536,0	131,2	404,8
Hidrografía	104,9	51,5	53,4

Fuente: Elaboración propia (2009).

Laurente Cajacuri, M. A. (2011): "Medición de la deforestación mediante percepción remota en la microcuenca río Supte, Tingo María – Perú", *GeoFocus (Informes)*, n° 11, p. 1-15. ISSN: 1578-5157

Tabla 6. Áreas de cobertura creciente.

Cobertura	1990 (ha)	2005 (ha)	Incremento (ha)
Cultivos	1.290,1	1.489,4	199,3
Pastizal	1.662,0	1.684,4	22,4
S. desérticos	1.002,8	1.723,4	720,6
Zona urbana	100,7	138,2	37,5

Fuente: Elaboración propia (2009).

FIGURAS

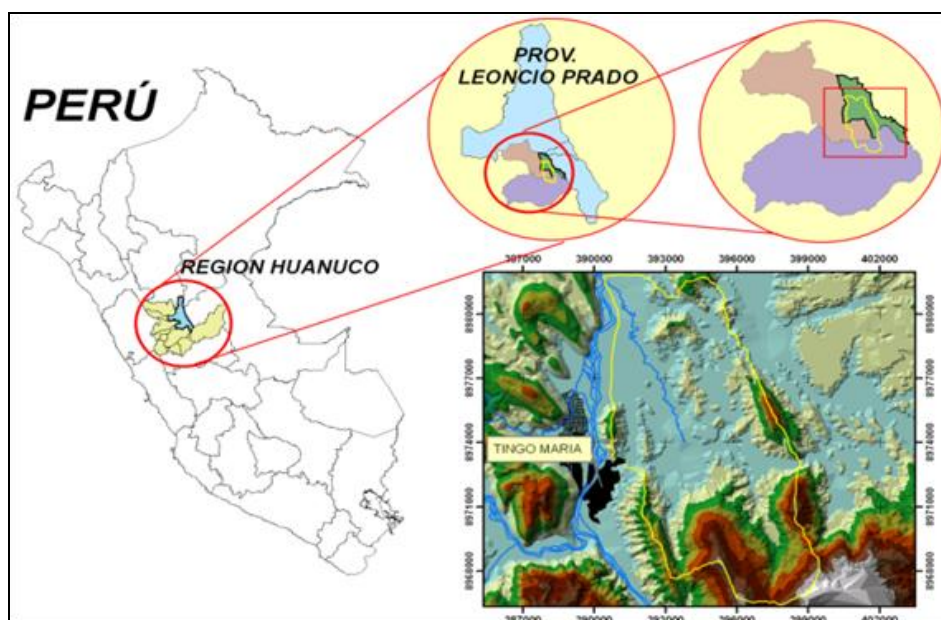


Figura 1. Área de estudio

Laurente Cajacuri, M. A. (2011): "Medición de la deforestación mediante percepción remota en la microcuenca río Supte, Tingo María – Perú", *GeoFocus (Informes)*, n° 11, p. 1-15. ISSN: 1578-5157

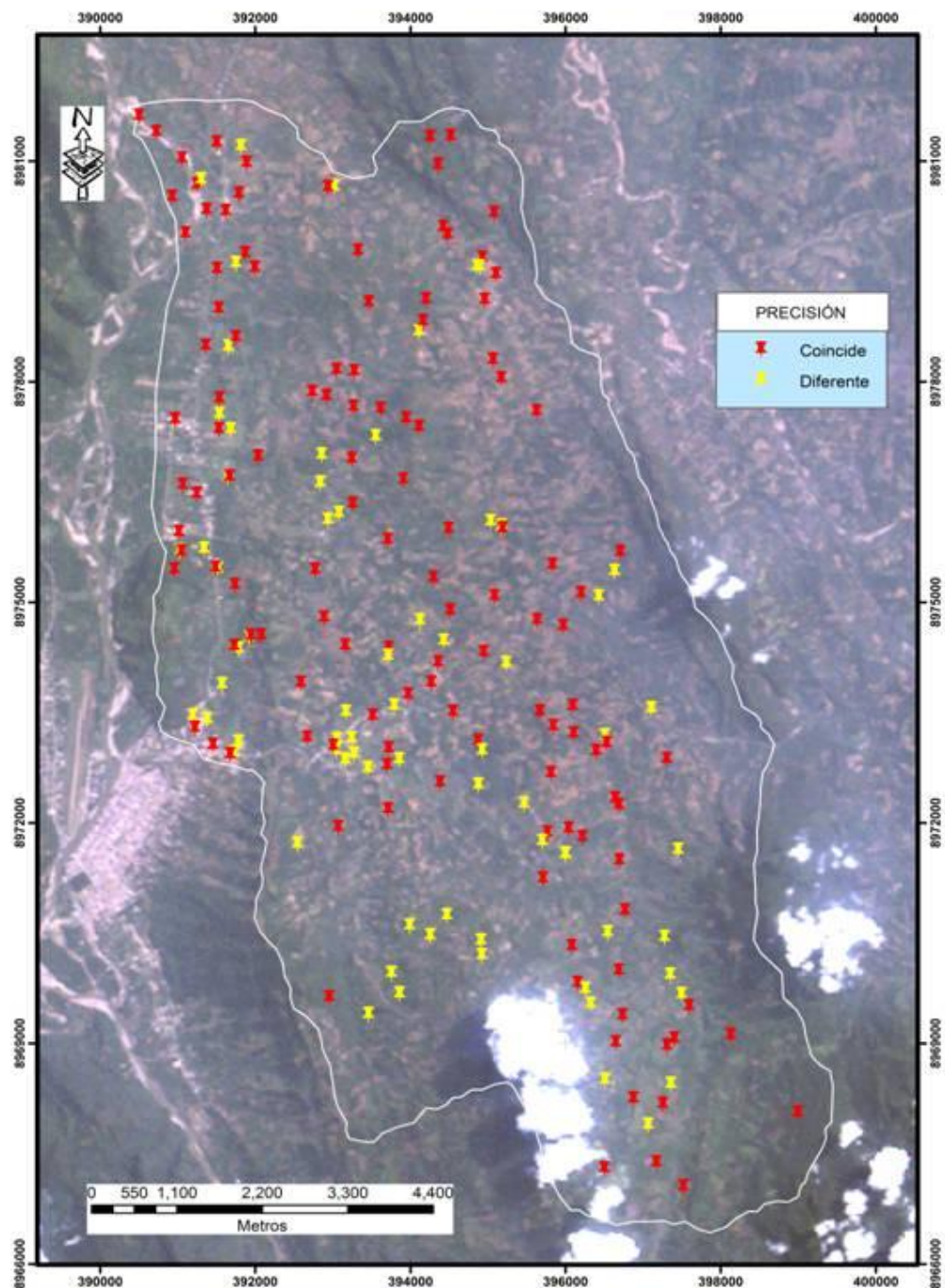


Figura 2. Ubicación de los puntos de validación (*verdad-terreno*).

Laurente Cajacuri, M. A. (2011): "Medición de la deforestación mediante percepción remota en la microcuenca río Supte, Tingo María – Perú", *GeoFocus (Informes)*, nº 11, p. 1-15. ISSN: 1578-5157

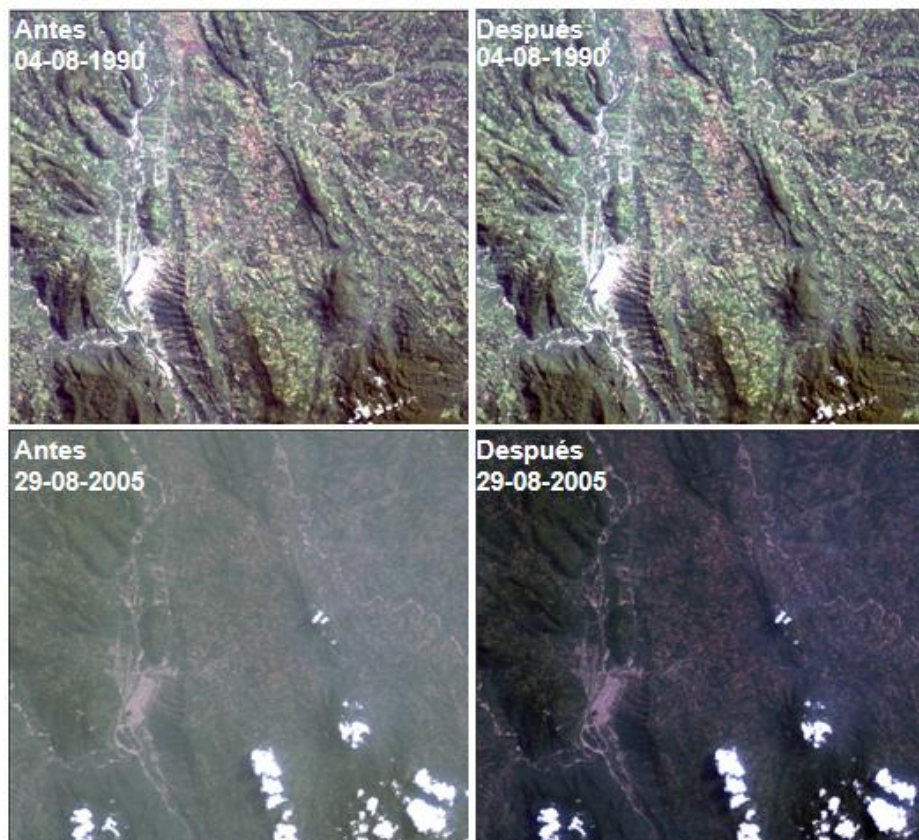


Figura 3. Corrección atmosférica.

Laurente Cajacuri, M. A. (2011): "Medición de la deforestación mediante percepción remota en la microcuenca río Supte, Tingo María – Perú", *GeoFocus (Informes)*, nº 11, p. 1-15. ISSN: 1578-5157

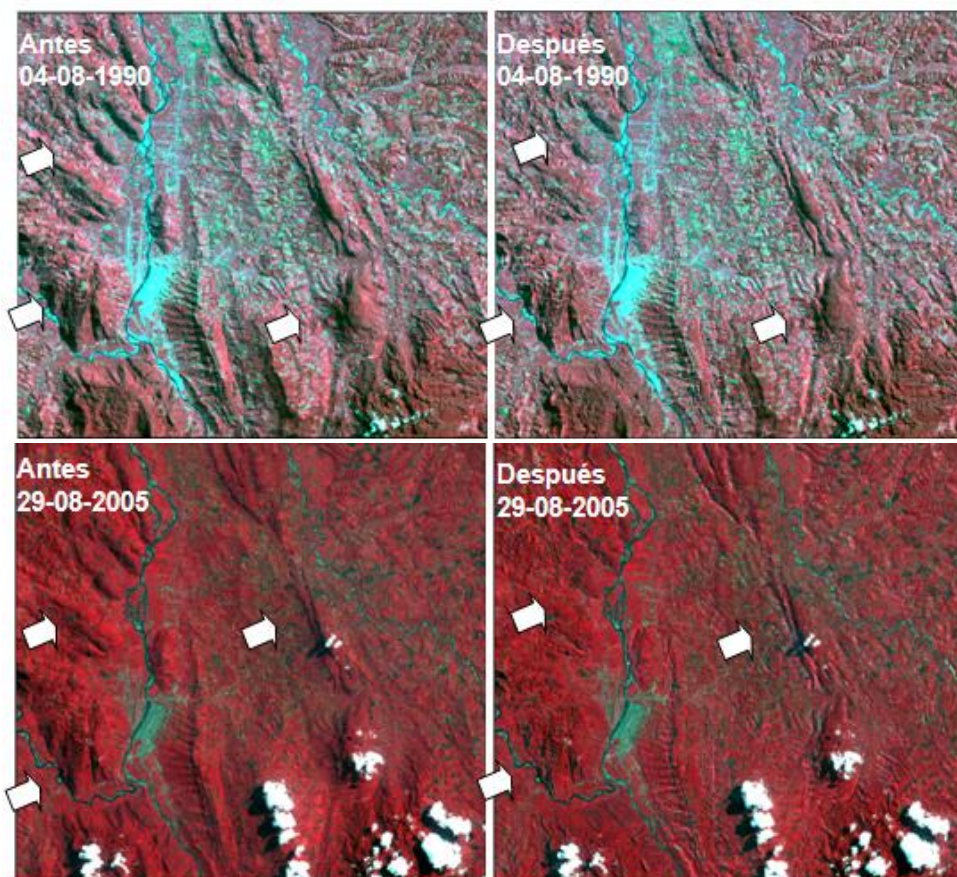


Figura 4. Corrección topográfica.