



Facultad de Ingeniería

ISSN: 0121-1129

revista.ingenieria@uptc.edu.co

Universidad Pedagógica y Tecnológica
de Colombia
Colombia

Daza-Leguizamón, Omar Javier; Sanabria-Marín, Rigaud; Rodríguez-Rodríguez, Diana
Carolina

"Zonificación de páramo y bosque a 1:25.000 con imágenes Landsat y Spot "

Facultad de Ingeniería, vol. 18, núm. 27, 2009, pp. 59-70

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Tunja, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=413940760006>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Zonificación de páramo y bosque a 1:25.000 con imágenes Landsat y Spot

Paramus and Forest Zoning to 1: 25.000 Scale, with Landsat and Spot Images

Omar Javier Daza Leguizamón*
Rigaud Sanabria Marín**
Diana Carolina Rodríguez Rodríguez***

Resumen

El creciente interés por la conservación de áreas de páramo y bosque, debido a su importancia biológica y a su oferta de recurso hídrico, ha llevado a la aplicación de las últimas tecnologías de la geomática para su identificación y cuantificación. Con el fin de aportar información de apoyo para la toma de decisiones ambientales, se zonificaron estas áreas en el corredor Iguaque-La Rusia-Guativa; se realizó la clasificación no supervisada a partir de imágenes del programa LANDSAT 7, y la matriz de confusión obtenida para esta clasificación permitió encontrar que las áreas de bosque presentan una alta confusión con otras clases de cobertura del suelo; resultados que sumados a la interpretación de información secundaria sirvieron como guía para la posterior interpretación visual de un mosaico de imágenes del programa SPOT 5. La zonificación con las imágenes SPOT permitió obtener mapas a escala 1:25.000 del corredor.

Palabras clave: Teledetección, Geomática, Páramo, Boyacá, Santander.

Abstract

The growing interest in the conservation of high barren plain and forest areas, due to their biological importance and the water resource's supply, has led to the application of the latest Geomatic technologies to their identification and quantification. In order to provide supporting information for the environmental decision making, the areas in the corridor Iguaque-Russia-Guativa were zoned. The images unsupervised' classification was performed, loading them from the Landsat 7 program, where the confusion matrix obtained for this classification, led to the discovery that those forest areas show a great mixture with other land covered classes. That result, added to secondary information's interpretation, served as a guide for subsequent visual interpretation of a SPOT 5 program images' mosaic. The zoning SPOT images allowed us to obtain 1:25,000 scale maps of the corridor.

Key word: Remote sensing, Geomatic, high barren plain, Boyacá, Santander.

* Ingeniero Civil. Estudiante de la Maestría en Ingeniería con énfasis en infraestructura vial. Investigador del Grupo de Investigación en Geomática y Ambiente –GIGA–, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Correo: kianosla@gmail.com.

** Ingeniero de Sistemas. Ph.D. en Geografía. Director Grupo de Investigación en Geomática y Ambiente. Docente Asociado Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Correo: sanabriarigaud@yahoo.com.

*** Estudiante Ingeniería Civil Uptc. Semillero de Investigación GIGA. Correo: dint05@hotmail.com

I. INTRODUCCIÓN

El departamento de Boyacá cuenta con dos corredores de páramo y bosque altoandino, el Occidental y el Oriental, los cuales tienen gran importancia por los servicios ambientales que prestan. En el valle del río Chicamocha, que separa los dos corredores, se localizan los principales centros urbanos del departamento (Tunja, Paipa, Duitama, Sogamoso y Soatá), por lo que se presenta una alta demanda del recurso hídrico para el consumo humano, las actividades agropecuarias y las actividades industriales, recurso que se origina en las zonas altas de los corredores. En particular, el corredor Occidental del departamento, conocido como corredor Iguaque-La Rusia-Guantiva, presenta una alta intervención, causada por la ampliación de la frontera agrícola, que ha hecho de este un ecosistema en alto riesgo, por lo que debe mirarse con la importancia que demanda. Afortunadamente, este tipo de ecosistemas son objeto de estudios orientados hacia su adecuada comprensión y conservación.

La ecología, en épocas recientes, se ha apoyado en la geomática para desarrollar proyectos que han permitido realizar análisis biológicos a gran escala, facilitando la planificación del territorio con un mejor conocimiento de la base natural [1, 2]. Tomando como base que una de las aplicaciones más comunes de las imágenes de satélite es la zonificación de cobertura y uso del suelo [1, 3], Hernández-Stefanoni y Ponce-Hernández [4] aplicaron la geomática en la zonificación de la distribución espacial de índices de diversidad para la conservación. En la región donde se localiza el corredor Iguaque-La Rusia-Guantiva, la Fundación Natura realizó un estudio, empleando imágenes LANDSAT del año 2000, para la zonificación de coberturas y usos del suelo, como apoyo a la identificación de objetos de conservación, amenazas y fuentes de amenaza sobre estos objetos [5]. Además se han adelantado estudios regionales que abarcan el área de este corredor, como el proyecto CORINE Land Cover para Colombia, en el cual se utilizan imágenes LANDSAT para la zonificación de cobertura y uso del suelo a escala 1:100.000, y el estudio de fragmentación de bosques andinos y otros ecosistemas en la cordillera Oriental colombiana [6],

en el que se emplearon imágenes de satélite como apoyo a la caracterización de ecosistemas, y del cual surge como sugerencia la definición del corredor en mención como un área prioritaria de conservación del bosque de roble.

Teniendo en cuenta que hacia la parte oriental de este corredor Occidental se localizan los municipios más poblados del departamento de Boyacá, y que esto puede acelerar la ampliación de la frontera agrícola hacia los bosques y páramos, se hace necesario contar con una zonificación actualizada de sus áreas de páramo y bosque a una escala que permita la implementación de planes de recuperación y conservación de estos ecosistemas sobre áreas específicas. Para la delimitación a nivel regional de las áreas de páramo y bosque se utilizan tecnologías de sensores remotos y sistemas de posicionamiento global (GPS). Las imágenes de satélite de los programas LANDSAT 7 y SPOT 5 son el principal insumo para la zonificación de las áreas de interés a escala 1:25.000. La imagen LANDSAT de menor resolución espacial se emplea para realizar un reconocimiento general de la zona de estudio y establecer la separabilidad de las áreas de páramo y bosque frente a otras coberturas, mientras que las imágenes SPOT se utilizan para realizar la zonificación más detallada y definitiva del corredor. Todo el proceso se apoya en información secundaria proveniente de fotografías aéreas, cartografía básica y temática y la georreferenciación de áreas de páramo y bosque.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Área de estudio

El corredor de páramo y bosque altoandino Iguaque-La Rusia-Guantiva corresponde a un ramal cordillerano semiaislado del eje principal de la cordillera Oriental, cuya cobertura está compuesta principalmente de vegetación de páramo y bosque andino y altoandino [5]. Se localiza en la zona norte del departamento de Boyacá y sur del departamento de Santander, en el oriente de Colombia, entre las coordenadas geográficas WGS84 72°54'W-73°31'W y 6°35'N-5°34'N (figura 1), con una orientación

suroccidente suroeste-noreste. En el corredor se presenta un régimen de lluvias bimodal, con periodos

de lluvia en los meses de abril-mayo y septiembre-octubre [5].



Figura 1. Localización del Corredor de páramo y bosque altoandino Iguaque-La Rusia-Guantiva

El límite de la zona de estudio, presentado en la figura 1, cubre un área de 2.945 km², con una altura media de su límite de 2.800 metros sobre el nivel del mar, teniendo en cuenta que las áreas de interés para zonificar pueden estar a mayor o menor altura según la extensión del páramo y bosque que da continuidad al corredor. Por lo que en algunas zonas, hacia la parte central del corredor, el límite de estudio baja de los 2.800 metros, y en otras se omitieron sectores a mayor altura que no albergaban áreas importantes de páramo y bosque, principalmente hacia el sur del corredor, donde la ocupación por actividades humanas es predominante. Los puntos más altos del área de estudio se encuentran en las zonas de páramo del Alto Pan de Azúcar, a 3.900 metros de altura en el municipio de Duitama, y el pico de Coromoro, a 4.100 metros de altura [5].

Los municipios con área dentro del corredor son: Sáchica, Villa de Leyva, Chíquiza, Gachantivá, Arcabuco, Motavita, Cómbita, Sotaquirá, Paipa, Duitama, Santa Rosa de Viterbo, Cerinza, Belén, Tutaza, Sativanorte y Susacón, en Boyacá, y Gámbita, Charalá, Encino, Coromoro y Onzaga, en Santander.

B. Imágenes de satélite e información secundaria utilizada

La información primaria y secundaria utilizada para la zonificación de las áreas de páramo y bosque son las imágenes de satélite de los programas LANDSAT 7 y SPOT 5, cartografía básica y temática, fotografías aéreas y georreferenciación de coberturas en campo. La selección y adquisición de esta información se realizó a través de Internet, revisión bibliográfica y copias digitales y análogas de información geográfica facilitada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi –IGAC–, la Corporación Autónoma Regional de Boyacá –Corpoboyacá– y la Corporación Autónoma Regional de Santander –CAS–.

Las imágenes de satélite LANDSAT se descargaron del portal en Internet de la Universidad de Maryland (<http://glcf.umd.edu/index.shtml>), buscando las imágenes de los años más recientes y con la limitante de la avería del sensor a partir del año 2003. Se realizó la combinación de las bandas con una resolución espacial de 30 metros en un solo archivo para poder

generar diferentes combinaciones de bandas, en verdadero y falso color, para la posterior interpretación y clasificación. Las imágenes seleccionadas y procesadas fueron la 007/056, tomada el 12/13/2000 y descargada en formato GeoTIFF, y la 007/056, tomada el 04/01/2003 en formato BSQ. La primera corresponde a una Imagen ortorrectificada y georreferenciada en sistema de coordenadas UTM Zona 18, imagen que hace parte de las imágenes georreferenciadas y ortorrectificadas para la NASA por la empresa Earthsat [7], por lo que cuenta con una resolución espacial en las bandas multiespectrales de 28,5 metros. La segunda imagen, sin ningún procesamiento, corresponde a la imagen más reciente y con la mejor calidad (nubosidad mínima) para realizar la zonificación.

La selección de las imágenes SPOT se hizo a través del catálogo en línea <http://www.spotimage.fr/web/1245-imagenes-en-linea.php>, de acuerdo con las siguientes especificaciones: (a) localización geográfica definida por el polígono que delimita la zona de estudio, (b) fecha de adquisición de las imágenes por el satélite entre el periodo del 01/01/2005 al 10/01/2007, (c) modo espectral color con resolución espacial de 10 metros, y (d) cobertura de nubes menor al 10% de la imagen. El periodo de adquisición se determinó considerando que las imágenes por emplear deberían ser lo más recientes posibles, teniendo en cuenta que se busca contar con una zonificación actualizada de la región. La resolución espacial de 10 metros para las bandas multiespectrales y su respectiva pancromática de 5 metros son condiciones necesarias para realizar mejoras en la resolución espacial de las bandas del visible y el infrarrojo, y así lograr una salida cartográfica a 1:25.000. Las imágenes SPOT seleccionadas y empleadas fueron la 647/338, tomada el 24/01/2007; la 647/339, tomada el 10/02/2006, y las 648/338 y 648/337, tomadas el 14/03/2005, las cuales fueron suministradas por el IGAC después de su georreferenciación (sistema de coordenadas MAGNA SIRGAS), ortorrectificación y mejoramiento de la resolución espacial de las bandas multiespectrales de 10 a 5 metros.

Con respecto a la información secundaria, resultó de gran importancia contar con cartografía base, mapas temáticos y fotografías aéreas. La cartografía base

se utilizó como apoyo para el planeamiento y realización del trabajo de campo de verificación; esta cartografía producida por el IGAC a escalas 1:100.000 y 1:25.000 se encuentra disponible en formato digital y análogo, respetivamente. De los mapas temáticos se extrajo información importante sobre la cobertura del suelo, principalmente del estudio realizado por la Fundación Natura [5] y del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Paipa [8]. Las fotografías aéreas, escaneadas en una resolución de 15 micrones y facilitadas de igual manera por el IGAC, fueron utilizadas para definir límites entre zonas que no son fácilmente identificables en las imágenes de satélite.

Con base en la interpretación previa de las imágenes, fotografías aéreas y cartografía, y en el conocimiento de la zona, se planearon rutas para la georreferenciación de áreas de páramo y bosque. Se tuvo en cuenta que el periodo del año para la salida de campo correspondiera con el de toma de las imágenes, o, en su defecto, con un periodo de similares condiciones climáticas, con el fin de asegurar que en la mayoría de los casos las coberturas observadas en el terreno correspondieran a las que se encuentran en la imagen, es decir, que no exista diferencia fenológica ni de humedad del suelo entre las coberturas observadas en campo y las representadas en la imagen de satélite. Las fechas en las que se realizó la salida de campo preliminar fueron el 11, 12 y 13 de febrero de 2007.

C. Corrección y mejoramiento visual de las imágenes

La corrección geométrica de las imágenes comprende los procesos para la ubicación correcta de cada uno de los píxeles que la componen, de acuerdo con la proyección en sistema de coordenadas planas y la eliminación del desplazamiento debido al relieve. Este procedimiento involucró la localización de puntos de control, el cálculo de funciones de transformación y la transferencia de los niveles digitales originales a la nueva posición [3]. Para la corrección geométrica de la imagen LANDSAT del año 2003 se utilizaron 46 puntos de control coincidentes con la imagen del año 2000 del mismo satélite ya corregida, se empleó un modelo digital de elevación de 90 metros de resolución

y se calculó una ecuación de transformación polinómica de primer orden, verificando que los puntos estuvieran uniformemente distribuidos en la imagen y que el error medio cuadrático fuera menor o igual a 30 metros. La transferencia de los niveles digitales a su nueva posición se efectuó mediante el método del Vecino Más Cercano, con el fin de no modificar los niveles digitales de la imagen para su posterior clasificación [3].

Para la conformación del mosaico con las imágenes SPOT (figura 2) se tuvo en cuenta que las imágenes

hubieran sido tomadas en el mismo periodo del año, con el fin de cumplir con condiciones de consistencia en la fenología de la vegetación y humedad del suelo entre imágenes [3, 9]. Lo anterior reduce las posibilidades de que una misma cobertura presente diferentes respuestas espectrales entre imágenes. La combinación de bandas empleada para los procesos de clasificación de la imagen LANDSAT e interpretación visual de las imágenes SPOT fue de dos bandas del infrarrojo y una banda del visible, debido a que facilita la delimitación de masas vegetales y cuerpos de agua [3, 10].

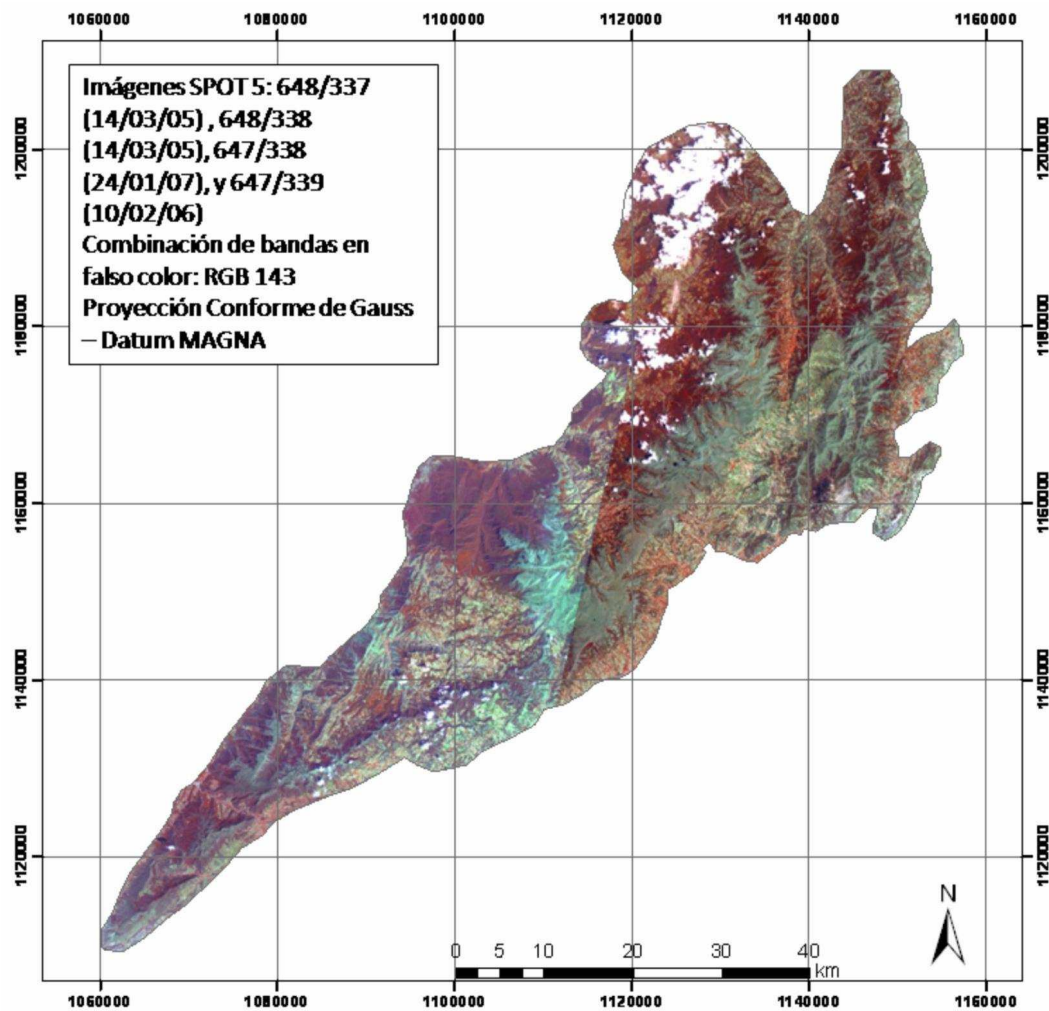


Figura 2. Mosaico imágenes SPOT 5 para la zona de estudio

D. Zonificación de páramo y de bosque

Una primera zonificación fue obtenida a partir de productos LANDSAT a 1:100.000, considerada como escala adecuada para una resolución espacial de la imagen de 28,5 metros [3]. Utilizando la extensión Image Analysis para ArcGIS, se realizó la clasificación no supervisada de la imagen LANDSAT del año 2003, obteniéndose 100 categorías que fueron posteriormente agrupadas en páramo, subpáramo, bosque, áreas sin información y otras coberturas. Las áreas de páramo se definieron teniendo en cuenta el límite altitudinal de 3.400 metros. Durante el procesamiento se eliminaron áreas menores a 25 hectáreas, valor considerado como la unidad mínima de mapeo para la escala indicada [12]. Ya que la imagen LANDSAT empleada no era reciente ni contaba con la resolución espacial requerida para alcanzar una zonificación a escala 1:25.000, esta clasificación se utilizó para verificar la confusión entre las categorías de interés (páramo y bosque) y otras coberturas, así como para facilitar la posterior zonificación visual empleando las imágenes SPOT.

Para verificar las categorías definidas y la exactitud de la clasificación se utilizaron la matriz de confusión (tabla 1) y dos estadísticos: Precisión general [3] y Estadístico Kappa de Cohen [3, 12], que son las técnicas comúnmente empleadas para evaluar las categorías en el mapa y su respectiva cobertura en el terreno [4]. La ecuación (1) indica la forma de calcular la Precisión general, donde M_{cc} es el número total de muestras correctamente clasificadas y M_{tot} es el total de muestras tomadas en campo para la verificación.

$$PG = \frac{M_{cc}}{M_{tot}} \quad (1)$$

La ecuación (2) indica el cálculo del estadístico Kappa, donde C es la proporción de coberturas correctamente clasificadas en la imagen; este valor se calcula como la suma de la diagonal que indica las muestras correctamente clasificadas, dividida en el total de muestras. El valor de E se calcula como la sumatoria del producto en diagonal de los totales de las filas y las columnas, dividido en el cuadrado del total de muestras.

$$K = \frac{C - E}{1 - E} \quad (2)$$

La zonificación a partir de las imágenes SPOT se realizó mediante el reconocimiento en pantalla de las diferentes coberturas de interés y su posterior delimitación en el programa ArcGIS 9.0, considerando un área mínima cartografiable de 1,56 hectáreas (25 milímetros cuadrados de área en el mapa) para la escala 1:25.000. De igual forma, fueron de importante ayuda durante este proceso la cartografía base y las fotografías aéreas de la zona de estudio para el reconocimiento de las áreas de páramo y bosque.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la clasificación no supervisada de la imagen LANDSAT del año 2003, georreferenciada y ortorrectificada con un error medio cuadrático de 0,88, se tiene un total de áreas de páramo de 420 km², correspondientes a un 14% del corredor; las áreas de bosque suman 1.216 km², correspondientes a un 41% del corredor, y en el área restante se agrupan otras coberturas de suelo. Para lograr la verificación de las coberturas de páramo y bosque zonificadas se utilizaron 57 puntos de GPS, recogidos durante el trabajo de campo en los municipios de Cóbbita, Arcabuco, Tipacoque, Soatá, Susacón, Sativanorte, Tutazá, Belén, Santa Rosa de Viterbo, Duitama, Encino y Onzaga. En la tabla 1 se presenta la matriz de confusión empleada para la verificación de la exactitud de la clasificación; como se puede ver, los errores por omisión y comisión entre el bosque y otras coberturas son los más notables.

Tabla 1. Matriz de confusión calculada para verificar la zonificación con imágenes LANDSAT

Muestras tomadas de la clasificación	Muestras de referencia tomadas en campo			Total
	Páramo	Bosque	Otro	
LANDSAT				
Páramo	17	1	0	18
Bosque	0	14	4	18
Otro	0	8	13	21
Total	17	23	17	57

Con relación a los errores por omisión, para el caso de los bosques, un 39% de los 23 puntos de muestreo fueron clasificados en la imagen como otro tipo de cobertura. De otro lado, en cuanto a los errores por comisión, un 22% de los 18 puntos identificados como bosque en la clasificación no corresponden a dicha cobertura en la realidad. Lo anterior nos indica que las áreas de páramo son fácilmente diferenciables en la imagen y no presentan mucha confusión con otro tipo de cobertura, mientras que para el caso de los bosques se pueden presentar confusiones entre clases en cuanto a su respuesta espectral.

Al calcular el estadístico de Kappa para la clasificación de las imágenes LANDSAT, el resultado fue de 0,65, mientras que el correspondiente valor para la Precisión global de la clasificación fue de 0,77 (para un intervalo de confianza entre 0,76 y 0,78 con una confiabilidad del 95%). Estos valores muestran una aceptable confiabilidad en la clasificación, pero es de tener en cuenta que los puntos empleados para el cálculo de los dos estadísticos anteriores presentan resultados preliminares en cuanto al análisis de la exactitud, debido a que su cantidad y distribución en el área de estudio son insuficientes.

La figura 3 ilustra la zonificación resultante de la interpretación visual del mosaico de imágenes SPOT, en este caso el área de bosque ocupa un 23% (677 km²), y el páramo, un 16% (466 km²) del área total de la zona de estudio. La clasificación SPOT se considera preliminar, teniendo en cuenta las diferentes respuestas espectrales dadas por los bosques, las cuales requieren de mucho más trabajo de campo para una delimitación adecuada de estas áreas. Se puede ver que la mayor parte de áreas naturales de páramo y bosque se encuentran hacia el norte, mientras que en la parte sur, de menor altura, presenta pocas áreas de páramo. Desde la parte central del corredor hacia el norte se

localiza el área más grande de páramo, con una superficie de 350 km², mientras que hacia la parte noreste se presenta un fraccionamiento de esta cobertura, causado principalmente por la intervención de los pobladores de los municipios de Tunja, Sotaquirá, Paipa, Duitama y Belén.

Las proporciones de área de bosque y páramo dentro del corredor obtenidas con las imágenes LANDSAT y SPOT son comparables, teniendo presente los efectos de la generalización de las zonas a escala 1:100.000 frente a las obtenidas a escala 1:25.000. Los dos mapas en las escalas anteriores de la zonificación de páramo y bosque presentan resultados similares en las áreas de páramo y bastante diferentes en las áreas de bosque. Aunque se esperaba que estos valores fueran suficientemente cercanos en cuanto al porcentaje de área que ocupaban dentro del corredor, no ocurrió así en las zonas de bosque, debido a la dinámica de ocupación del suelo, a que se tiene una diferencia promedio de 3 años en la toma de las imágenes por los satélites, a la confusión entre los bosques y otras coberturas, a la generalización realizada en la imagen LANDSAT para eliminar áreas menores a 25 hectáreas –que causó que áreas pequeñas rodeadas de bosque desaparecieran en la zonificación final (generalización realizada por selección y agrupación de clases en ArcGIS)–, a la irregularidad en la forma de estas zonas (como se puede ver en la figura 4) y la alta presencia de áreas de sombras por nubes y debidas al relieve.

También se puede apreciar, a pesar de las diferencias mencionadas, que la clasificación de las imágenes LANDSAT fue una guía importante para la interpretación visual de las imágenes SPOT, dado su alto grado de aproximación a las coberturas encontradas, permitiendo tener un producto final a escala 1:25.000 más confiable y rápido.

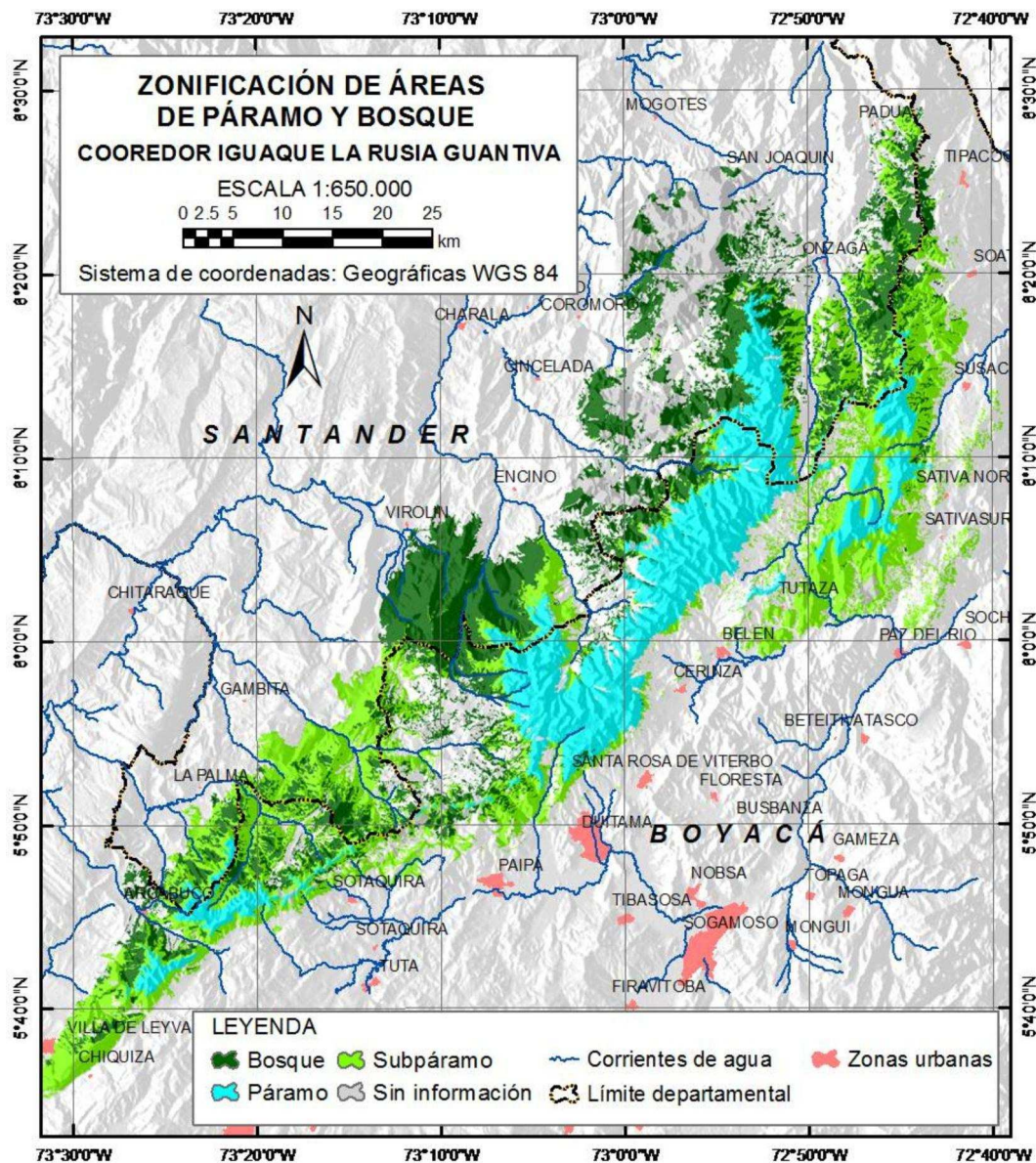


Figura 3. Mapa de zonificación de bosque y páramo: interpretación visual de imágenes SPOT

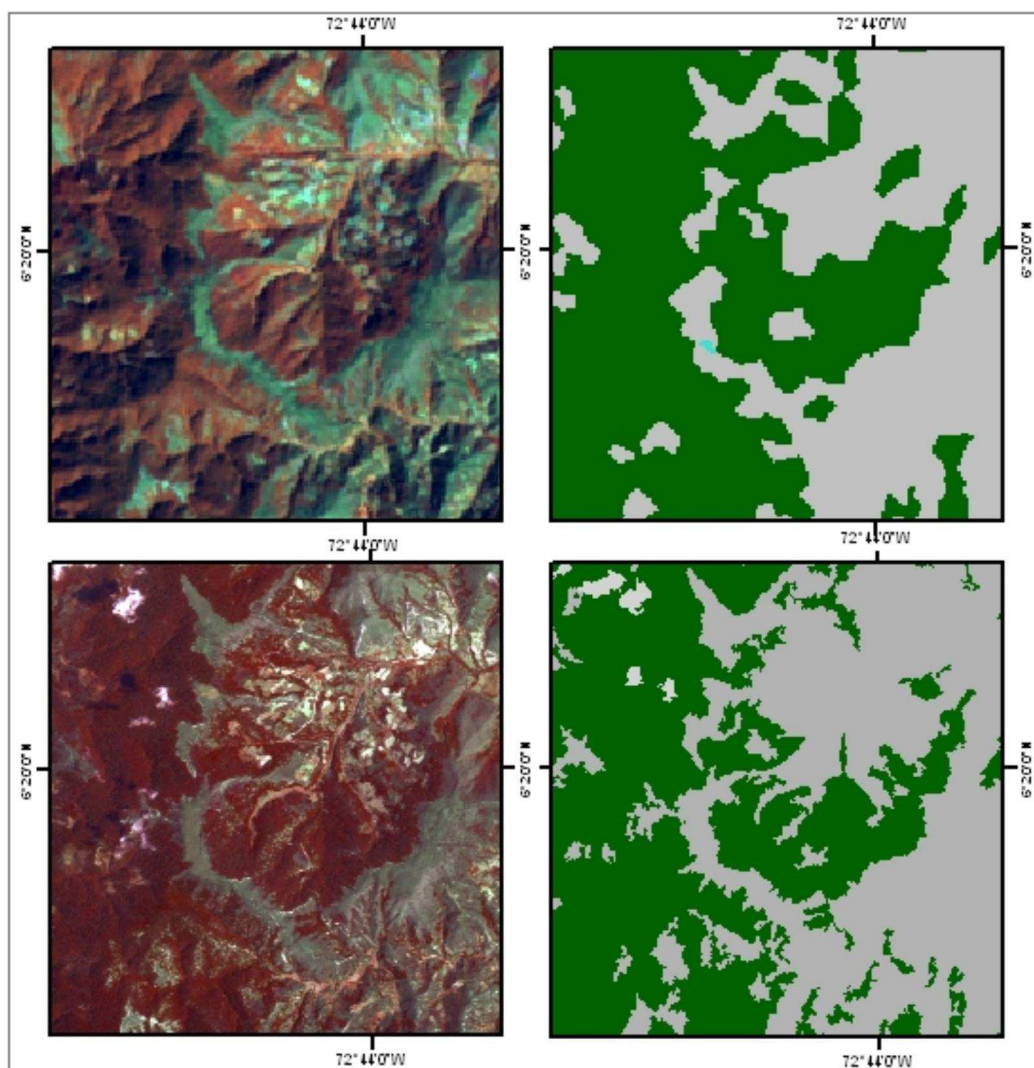


Figura 4. Ejemplos de las zonificaciones de bosque obtenidas a partir de la imagen LANDSAT (parte superior) y SPOT (parte inferior)

IV. CONCLUSIONES

Se lograron avances importantes en la zonificación de las áreas de páramo y bosque, que serán de apoyo a la toma de decisiones relacionadas con los aspectos ambientales y de desarrollo de la región. El resultado, tanto para Corpoboyacá como para los habitantes de la zona, es altamente positivo, ya que se tiene un mejor conocimiento de las áreas de bosque y páramo dentro del corredor, como base para que las Corporaciones Autónomas con jurisdicción en el área (CAS y Corpoboyacá) y las gobernaciones de Boyacá

y Santander establezcan planes y lineamientos para su conservación y uso sostenible.

De otro lado, los resultados representan un gran adelanto en cuanto a la utilización de las tecnologías de la geomática para la conservación de los recursos naturales, debido a que su implementación en la región (a pesar de las ventajas para la toma de decisiones) ha sido un tema poco tratado. Se espera, entonces, incrementar el interés de las entidades territoriales en el uso de estas tecnologías, y lograr que a partir de la zonificación obtenida de las

imágenes SPOT se realicen análisis apoyados en los Sistemas de Información Geográfica, para así aprovechar, lo mejor posible, tanto la información obtenida como las herramientas con que ya disponen las entidades encargadas de la protección de los recursos naturales.

La zonificación a partir de las imágenes LANDSAT y la matriz de confusión obtenida para esta muestran que la clasificación no supervisada identifica zonas de bosque que podrían presentar confusión con otras coberturas presentes en el área de estudio; sin embargo, esta clasificación sirvió de apoyo para la interpretación visual de este tipo de áreas; la confusión de las zonas de bosque con áreas de sombra limita su uso empleando la clasificación no supervisada, debido a las altas pérdidas de información por esta causa. De otro lado y teniendo en cuenta la variedad de bosques que ocupan el corredor, en etapas posteriores de este estudio se podrían aprovechar las imágenes SPOT con el fin de discriminar las especies de bosques presentes con una delimitación más precisa [13]. Complementariamente, mediante análisis de fragmentación [14] y un adecuado conocimiento de la zona de estudio, se puedan establecer zonas de conservación, recuperación y uso sostenible.

AGRADECIMIENTOS

Este documento se ha realizado con la ayuda financiera de la Comunidad Europea. El contenido de este documento es responsabilidad exclusiva del Grupo de Investigación en Geomática y Ambiente de la Uptc y en modo alguno debe considerarse que refleja la posición de la Unión Europea. Agradecemos el apoyo financiero de la Unión Europea a través del Proyecto “Mejora de los sistemas de cartografía del territorio colombiano” –EuropeAid/ 123-385/D/ ACT/CO–, de Corpoboyacá y de la Uptc; igualmente al IGAC, por el material cartográfico y fotográfico facilitado, y a la CAS, por suministrarnos la cartografía básica de su jurisdicción. Queremos expresar nuestro agradecimiento a quienes colaboraron con su asesoría técnica y diligencia administrativa para la ejecución del proyecto.

REFERENCIAS

- [1] S. E. Franklin and M. A. Wulder, “Remote Sensing Methods in Medium Spatial Resolution Satellite Data Land Cover Classification of Large Areas”. *Progress in Physical Geography*, vol. 26, pp.173–205, 2002.
- [2] D. Bailey, F. Herzog, I. Augenstein, S. Aviron, R. Billeter, E. Szerencsits and J. Baudry, “Thematic Resolution Matters: Indicators of Landscape Pattern for European Agro-Ecosystems”. *Ecological Indicators*, vol. 7, pp. 692-709, 2007.
- [3] E. Chuvieco, *Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona: Ariel, 2002.
- [4] J. L. Hernández-Stefanoni and R. Ponce-Hernández, “Mapping the Spatial Distribution of Plant Diversity Indices in a Tropical Forest Using Multi-Spectral Satellite Image Classification and Field Measurements”. *Biodiversity and Conservation*, vol. 13, pp. 2599-2621, 2004.
- [5] C. Solano, C. Roa y Z. Calle, Estrategia de desarrollo sostenible corredor de conservación Guantiva-La Rusia-Iguaque: Boyacá-Santander / Colombia. Colombia: Fundación Natura, 2005.
- [6] D. Armenteras, F. Gast and H. Villareal, “Andean Forest Fragmentation and the Representativeness of Protected Natural Areas in the Eastern Andes, Colombia”, *Biological Conservation*, vol. 113, pp. 245-256.
- [7] C. Tucker, D. Grant and J. Dykstra, “NASA’s Global Orthorectified Landsat Data Set”, *Photogrametric Engineering & Remote Sensing*, vol. 70, pp. 313-322, 2004.
- [8] Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), *Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Paipa*, Paipa, 1999.

- [9] E. H. Helmer and B. Ruefenacht, "Cloud-Free Satellite Image Mosaics with Regression Trees and Histogram Matching". *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 71, pp. 1079-1089, 2005.
- [10] L. H. Melo y M. A. Camacho, *Interpretación visual de imágenes de sensores remotos y su aplicación en levantamientos de cobertura y uso de la tierra*. Bogotá: IGAC. 2005.
- [11] European Environment Agency. 1995. CORINE Land Cover. Dinamarca. Available from Internet: <http://reports.eea.europa.eu/COR0-landcover/en>. Verified: April of 2007.
- [12] J. Carletta, "Assesing Agreement on Clasification Task: The Kappa Statistic", *Computational linguistics*, vol. 22, pp. 249-256, 1996.
- [13] A. Larrazabal, "Evaluación del uso de imágenes SPOT y LANDSAT para la identificación de bosques de polylepis", en *Memorias del XII Simposio Internacional en Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica* (Cartagena), SELPER, 2006.
- [14] L. Fahring, "Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity", *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, vol. 34, pp. 487-511, 2003.

Fecha de recepción: 11 de agosto de 2008
Fecha de aprobación: 26 de marzo de 2009