

Cartografía de la cobertura/uso de la tierra del Parque Nacional Sierra de La Culata, estado Mérida-Venezuela

Cartography of the land cover/land use of the National Park Sierra de La Culata, Mérida State-Venezuela

Aldana D. Angnes T.* y Bosque Sendra Joaquín**

Recibido: octubre, 2007 / Aceptado: febrero, 2008

Resumen

Con el fin de detectar los cambios en la cobertura/uso de la tierra del Parque Nacional Sierra de la Culata y aportar datos para la toma de decisiones, se procedió a levantar la información de base requerida en el estudio temporal reseñado, es decir la cartografía de la cobertura/uso de la tierra de los años 1988 y 2003 considerados en el presente trabajo. Para ello se interpretaron imágenes captadas por el sensor Landsat aplicando técnicas de discriminación como los árboles de decisión, apoyándonos en los índices de vegetación (NDVI y NDII) y en información auxiliar como la altitud. Los mapas elaborados dejan entrever el predominio de los bosques y páramos ocupando más del 90% del parque. Sin embargo, son preocupantes las superficies agrícolas observadas en los productos cartográficos, particularmente las de nueva generación que en el año 2003 se presentan en las zonas bajas y boscosas del parque.

Palabras clave: Cartografía; cobertura/uso de la tierra; árbol de decisiones; imágenes satelitales.

Abstract

In order to detect the changes in the land cover/land use in the National Park "Sierra de la Culata" and to provide the data for the decision making, we proceeded in this work to constructer the base information required in temporary studies; in other works, the cartography of the land cover/land use of this area in the years of 1988 and 2003. To do so, several images captured by the Landsat sensor were interpreted applying discrimination techniques such as decision tree, vegetation index (NDVI and NDII) as well as other information such as altitude. The resulting maps show the superior proportion of the forests and paramos covers, which occupy over the 90% of the park's surface. However, it is to worry the small extensions of land intended for the agricultural exploitation seen in the maps. Particularly, we observed the latest ones which now appear in the map of the year 2003. These agricultural areas can be seen mainly in the lower forest and lowlands of the park.

Key words: Cartography; land cover/land use; decision tree; remote sensing.

* Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales, Mérida-Venezuela, e-mail: angnest@hotmail.com

** Universidad de Alcalá, Departamento de Geografía, Alcalá de Henares, Madrid-España, e-mail: joaquin.bosque@uah.es

1. Introducción

Bajo la figura de parques nacionales se espera limitar la intervención humana sobre los espacios naturales, conservándolos en su estado prístino para el disfrute de las generaciones presentes y futuras. Siguiendo estos principios, el Estado venezolano ha creado 43 parques nacionales y 21 monumentos naturales manejados y controlados por el Instituto Nacional de Parques, con base en los planes de ordenamiento, manejo y reglamentos de uso (POMRU) establecidos en cada caso.

Se ha reconocido ampliamente en la literatura que la figura jurídica de área protegida no ha detenido del todo los procesos de intervención humana desarrollados dentro de sus linderos. A nivel latinoamericano, específicamente Amend y Amend (1992), enunciaron en su trabajo los conflictos generados fundamentalmente por las actividades agropecuarias, las ocupaciones ilegales y el uso de los recursos, afectando el funcionamiento de los ecosistemas naturales. Entre la diversidad de factores causales de esta problemática se considera, en muchas publicaciones, la carencia de información sobre las áreas protegidas y el escaso monitoreo a través del tiempo (Jamison, 2003; Goodman, 2003; Okello y Kiringe, 2004; Hockings, 2003), lo cual limita la aplicación de planes de control y manejo y la evaluación y reformulación de los POMRU, entre otros aspectos. Tal es el caso que nos ocupa; es decir, el Parque Nacional Sierra de la Culata, ubicado en el estado Mérida - Venezuela, creado en

1989 para proteger un poco más de 2.000 Km². Sin embargo, en los últimos años se han reportado procesos de deforestación sobre algunos sectores de las cuencas de los ríos: Frio, Playa Grande, Tucani y Torondoy (Rangel, 2001; Escalona y Castillo, 2002; Dugarte y Rojas, 2003), lo cual expresa en forma parcial la situación confrontada en el parque, pues desde el momento de su declaratoria como área protegida no se han realizado estudios que revelen los cambios positivos y negativos ocurridos en la totalidad de su territorio.

Esta situación originó el inicio de una investigación con el objeto de establecer la incidencia humana sobre el parque, e identificar las unidades ecológicas afectadas por el hombre y las que se encuentran en proceso de recuperación; aportando así datos para la toma de decisiones en procura del mantenimiento y protección de la diversidad biológica.

Los vacíos de información sobre el parque no sólo se remiten a las transformaciones ocurridas en el tiempo, sino también a la información de base requerida en investigaciones sobre cambios espaciales, como la cartografía de la cobertura/uso de la tierra de los años 1988 y 2003 considerados en este caso. Para solventar esta dificultad se procedió a levantar la cartografía reseñada mediante la interpretación de imágenes captadas por el sensor Landsat aplicando técnicas de discriminación como los árboles de decisión, apoyándonos en los índices de vegetación (NDVI y NDII) y en información auxiliar como la altitud, para generar los resultados que se exponen en los próximos apartados.

1.1 Consideraciones conceptuales y metodológicas

La expresión cartográfica de la cobertura terrestre constituye una de las aplicaciones básicas de la teledetección espacial desarrollada con fines de inventarios y diagnósticos espaciales, ordenación territorial y detección de cambios, entre otros (Aplin, 2004); conformando una importante fuente de datos geográficos sobre los aspectos formales del uso de la tierra. Algunos autores (Meyer y Turner, 1994; Moser, 1996), citados por Briassoulis (1999), separan los términos uso y cobertura al definir esta última como la cantidad y tipo de cubiertas vegetales, cuerpos de aguas, materiales terrestres y las infraestructuras humanas existentes sobre la superficie terrestre. Las diferencias entre uso y cobertura son remarcadas en algunas publicaciones, por cuanto el tipo de ocupación de la superficie terrestre es interpretada de imágenes captadas por sensores remotos sobre la señal emitida por los objetos, la cual no siempre indica el uso al que se destinan los mismos (Chuvieco, 2002; Seto *et al.*, 2002); por lo tanto, los límites de la cobertura no necesariamente coinciden con los del uso (Jansen y Di Gregorio, 2002).

Aún se aprecia en la literatura la falta de consenso en el empleo de estos términos, en algunos casos considerados como sinónimos y, en otros, separados bajo diversas modalidades como: cobertura de la tierra (Comber *et al.*, 2004), cobertura y uso de la tierra (Pan *et al.*, 2004), cobertura/uso de la tierra (Gautam y Watanabe, 2004) y uso de la tierra (Jia *et al.*, 2004).

Esta situación también se ve reflejada en las clasificaciones desarrolladas para la caracterización cartográfica de esta variable, tema sobre el cual Di Gregorio y Jansen (2000) realizaron una revisión general, como marco para iniciar el proceso de concepción de un sistema de clasificación del uso de la tierra y, por otra parte, para justificar la propuesta del sistema de clasificación estándar de la cobertura terrestre recientemente publicada por la FAO (Jansen y Di Gregorio, 2002), lo cual parece conducir a la clara separación entre cobertura y uso de la tierra.

Entre tanto, el levantamiento de la cobertura terrestre de áreas poco intervenidas como el parque nacional objeto de nuestro interés, mediante la interpretación de imágenes captadas por sensores remotos, cuyas cubiertas describen tanto la vegetación natural como los tipos de cultivos allí desarrollados (indicador directo del uso agrícola), admite ubicar la presente investigación dentro del grupo de trabajos que expresan en su conjunto la cobertura/uso de la tierra del espacio en consideración.

El empleo en estos casos de un sistema de clasificación estándar de la cobertura terrestre como el presentado por la FAO (Di Gregorio y Jansen, 2000), no sólo facilita las comparaciones, sino que permite describir, sistemáticamente, las clases o categorías mediante la integración de un conjunto de criterios independientes desglosados en dos fases: una fase dicotómica que discrimina las cubiertas por la ausencia o presencia de un clasificador (presencia o ausencia de vegetación, condición edáfica (terrestre o acuática) y

por la artificialidad de la cobertura (manejada o natural); y una fase modular, en la que se agregan otros parámetros para establecer con mayores detalles, los tipos de cultivos, de vegetación o de otras categorías.

1.2 Fuentes de datos agropecuarios

La información requerida en las fases dicotómica y modular diseñadas por la FAO (Di Gregorio y Jansen, 2000) se obtiene de diversas fuentes de datos (imágenes de sensores remotos, productos cartográficos, estadísticas, etc.). En áreas protegidas ubicadas en regiones montañosas tropicales donde se desarrollan actividades agropecuarias, como el caso en estudio, es difícil en ocasiones subdividir las cubiertas de cultivos identificadas en imágenes Landsat. Estos detalles pueden incorporarse en la cartografía final, al diferenciar las unidades delimitadas mediante la información recopilada en campo, a través de las encuestas-entrevistas que tradicionalmente se aplican a los productores agrícolas.

El análisis de los datos colectados en campo permite clasificar las cubiertas de cultivos por ejemplo, según las tipologías agrícolas planteadas por la Unión Geográfica Internacional (Rojas, 1995) o la FAO (Flores, 1981), cuyas categorías son diferenciadas mediante la integración de una diversidad de variables como: los métodos productivos y el nivel tecnológico aplicado en cada fase de la actividad agrícola (preparación del terreno, siembra, mantenimiento y cosecha), las prácticas de rotación y descanso, los insumos

de energía humana, animal o mecánica, la orientación de la producción, la productividad y fuerza de trabajo, la asistencia técnica y crediticia, la intensidad de uso, los tipos de cultivos, la especialización y diversificación de la producción, entre otras.

1.3 Herramientas para la discriminación de la cobertura/uso terrestre

La cartografía de la cobertura/uso de la tierra es elaborada mediante la interpretación digital y visual de imágenes captadas por sensores remotos, utilizando las funciones contenidas en programas específicos (PCI, ERDAS, ILWIS, etc.) o las incorporadas en algunos Sistemas de Información Geográfica.

En cualquier caso, el procedimiento general conlleva la definición de la leyenda a utilizar, la realización de las correcciones geométricas, topográficas y por reflectividad de las imágenes consideradas, y la interpretación de las mismas. Finalmente, se procede a verificar la fiabilidad del producto cartográfico elaborado, comparándolo con datos de campo, con los mapas producidos por otros autores o con los datos extraídos de fotografías aéreas o imágenes satelitales de mayor resolución, sobre un número de puntos previamente definidos mediante una técnica de muestreo (Congalton y Green, 1999).

Para la interpretación de imágenes satelitales se aplican diversas técnicas de discriminación sobre la información contenida tanto en las bandas espectrales

como en las transformaciones aplicadas sobre las mismas, y en el conjunto de variables auxiliares que se vienen incorporando al proceso (Chuvieco, 2002). Una de las transformaciones más utilizadas es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el cual expresa el vigor vegetal o contenido de clorofila, a partir de las reflectividades de las bandas rojo (R) e infrarrojo (IRC) (bandas 3 y 4 de imágenes Landsat), que se integran en la siguiente expresión general: $NDVI = (IRC - R) / (IRC + R)$

Otro de los índices desarrollados es el del Contenido de Humedad en la Vegetación (NDII), empleado en la mayoría de los casos, como su nombre lo indica, para determinar el contenido de humedad de diversas cubiertas vegetales (Jackson *et al.*, 2004) y a distintos niveles: hoja, planta y dosel, mediante dos modalidades: el NDII (Normalizad Difference Infrared Index) establecido por Hardisky *et al.* (1983) o el NDWI (Normalized Difference Water Index) creado por Gao (1996).

Las diferencias entre el NDII y NDWI se vinculan con las distintas amplitudes de la longitud de onda correspondiente a una de las bandas utilizada en su cálculo, concretamente la correspondiente al infrarrojo medio (SWIR), las cuales van de 1,55 a 1,75 μm en el primer caso y de 1,2 a 2,5 μm en el segundo (Jackson *et al.*, 2004).

El NDII, por su parte, se calcula con las reflectividades de las bandas infrarrojo cercano (IRC) e infrarrojo medio (SWIR) (bandas 4 y 5 en el sensor Landsat), a partir de la siguiente expresión: $NDII = (IRC - SWIR) / (IRC + SWIR)$.

El contenido de humedad en la vegetación, aunque ha sido poco utilizado para discriminar las cubiertas terrestres en general (Xiao *et al.*, 2002) o el área quemada en particular (García y Chuvieco, 2004), podría emplearse para separar cubiertas vegetales que presentan un elevado contraste espectral, como los bosques y los mosaicos de pastizales y arbustos que integran los páramos de las montañas andinas venezolanas.

La estructura, composición florística y densidad de la vegetación, desarrollada sobre las montañas andinas, es condicionada por un conjunto de factores climáticos y topográficos que separan de manera muy marcada comunidades ecológicas con características específicas y muy diferentes entre sí, distribuyéndose en forma continua sobre espacios altitudinales relativamente bien definidos. La relación entre estos factores y el conjunto vegetal se expresa en la figura 1, en la cual podemos apreciar de manera general dos grandes unidades ecológicas separadas por el límite altitudinal de 3000 msnm aproximadamente. Las zonas ubicadas por encima de este límite componen los mosaicos de pastizales y arbustos de los páramos andinos y por debajo del mismo se aprecian las diversas cubiertas arbóreas que caracterizan nuestra región.

Las diferencias tan marcadas en el vigor y contenido de humedad de las especies vegetales que integran los páramos y bosques andinos, constituyen criterios significativos para utilizar el NDVI o el NDII como discriminantes de tales cubiertas; no obstante, dentro del marco de las referencias consultadas no se encon-

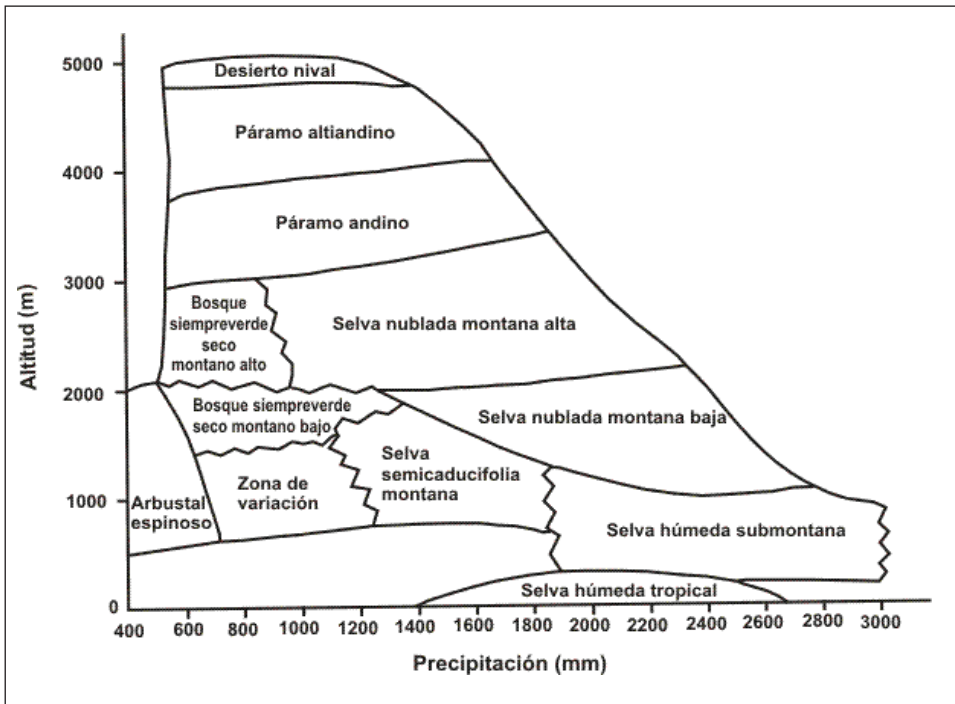


Figura 1. Unidades ecológicas. Fuente: Ataroff y Sarmiento, 2003

traron trabajos relativos al tema. Entre los estudios más cercanos se menciona el de Xiao *et al.* (2002), quienes llegaron a la conclusión de que la estimación conjunta de los índices NDVI y NDWI para clasificar imágenes satelitales, provee una mejor separación de los tipos de cobertura de la tierra. A su vez, García y Chuvieco (2004) utilizaron el NDII, pero para discriminar áreas quemadas.

Por otra parte, cuando las técnicas de discriminación tradicionales como la clasificación supervisada, no resuelven las confusiones que se presentan entre las cubiertas analizadas y los niveles de separabilidad entre las mismas se encuentran por debajo del límite establecido, el

empleo de otra técnica como los árboles de decisión podría solventar la dificultad, particularmente cuando se dispone de alguna información auxiliar como ocurre en el caso que nos ocupa.

1.4 Árbol de decisiones

Friedl y Brodley (1997) describen esta técnica como un procedimiento de clasificación que recursivamente separa un conjunto de datos en pequeñas subdivisiones sobre la base de un grupo de test definidos en cada rama o nodo del árbol. Estos elementos se insertan en una estructura de clasificación explícita y fácil de interpretar. De acuerdo con estos

autores, los árboles de decisión se dividen en multivariados, híbridos y univariados. En este último caso, los umbrales en cada nodo del árbol son definidos por una sola característica (espectral, temporal, direccional, espacial, textural o información auxiliar) de los datos de entrada (Friedl *et al.*, 2002), para dividirlos en dos o más subconjuntos o en un número discreto de resultados. Cada clase es sometida a una regla de decisión de la forma $X_i >= b$ o $X_i <= b$, donde X_i es la característica en el espacio de datos y b es el umbral del X_i .

Para estimar b se utilizan una variedad de medidas por ejemplo, a través de la media \pm un número determinado de desviaciones típicas de los datos contenidos en las bandas originales o de las transformaciones operadas sobre ellas que mejor discriminen cada categoría (Barbosa *et al.*, 2002).

Algunas clases como las cubiertas agrícolas presentan una gran variabilidad espectral y temporal dificultando su delimitación, por lo que con frecuencia estas categorías son pobremente separadas o difíciles de discriminar (Loveland *et al.*, 1999), más aún establecer los umbrales de corte en los datos de entrada enunciados.

La aplicación en estos casos de técnicas de interpretación visual de imágenes satelitales mediante la digitalización en pantalla de las respectivas unidades, resulta una opción viable para separar los cultivos presentes sobre espacios predominantemente naturales como en el caso del parque nacional analizado en el presente trabajo. Diversos autores han

empleado este procedimiento con fines variados (Zihni, 2000; Joyakumar *et al.*, 2002), siguiendo una metodología como la detallada por Pernía y López (1997) y utilizando criterios de interpretación visual como el tono, textura, forma, tamaño y contexto de las unidades espaciales (King, 2002; Rahman *et al.*, 2004).

2. Metodología

La cartografía de la cobertura/uso de la tierra del Parque Nacional Sierra de la Culata, correspondiente a los años 1988 y 2003, fue elaborada bajo criterios homogéneos de interpretación de fuentes de datos similares, y mediante el uso de escalas y leyendas iguales para los dos momentos temporales considerados. Todo ello con el objeto de minimizar los errores generalmente presentados en estudios temporales que parten de bases cartográficas levantadas de diferente forma.

Los criterios utilizados en la discriminación de las cubiertas presentes en el área de estudio, se ven condicionados por el contexto jurídico que enmarca el área de estudio (parque nacional) y por el contexto biofísico que lo particulariza, como formar parte del ramal nororiental de la cordillera de los Andes venezolanos, con una extensión considerable (un poco más de 2000 Km²) de zonas montañosas sobre cuyas vertientes de fuertes pendientes (Figura 2), se insertan pocas vías de penetración en condiciones muy precarias, dificultando el acceso rápido al interior de un parque que presenta una

variación altitudinal que oscila entre los 700 msnm en sus partes más bajas, hasta los 4700 msnm en el sector denominado Alto de Piedras Blancas (Figura 3).

Bajo estos contextos fue estructurado el proceso de levantamiento y expresión cartográfica de la cobertura/uso de la tierra del parque en tres grandes etapas:

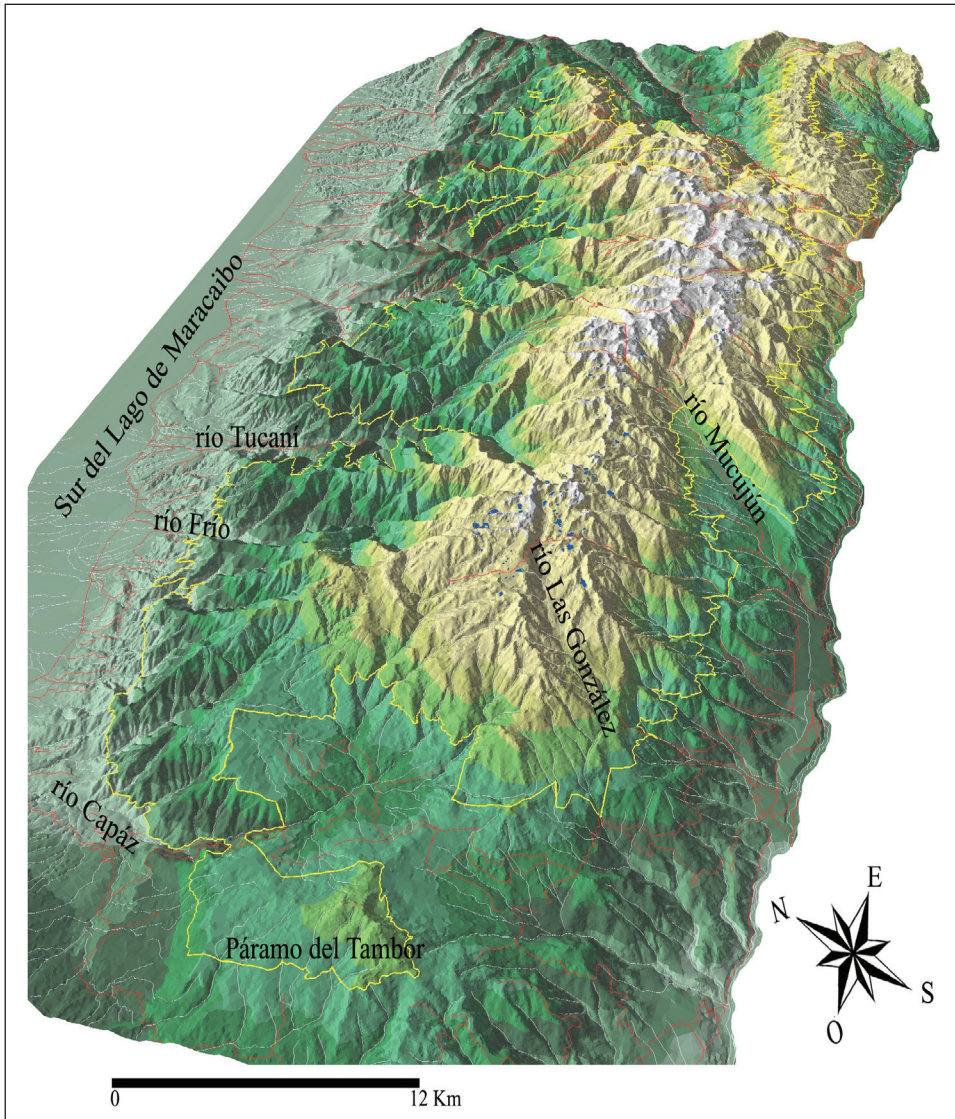


Figura 2. Parque Nacional Sierra de la Culata. Vista en dirección Suroeste-Noreste. Fuente: INPARQUES 1996

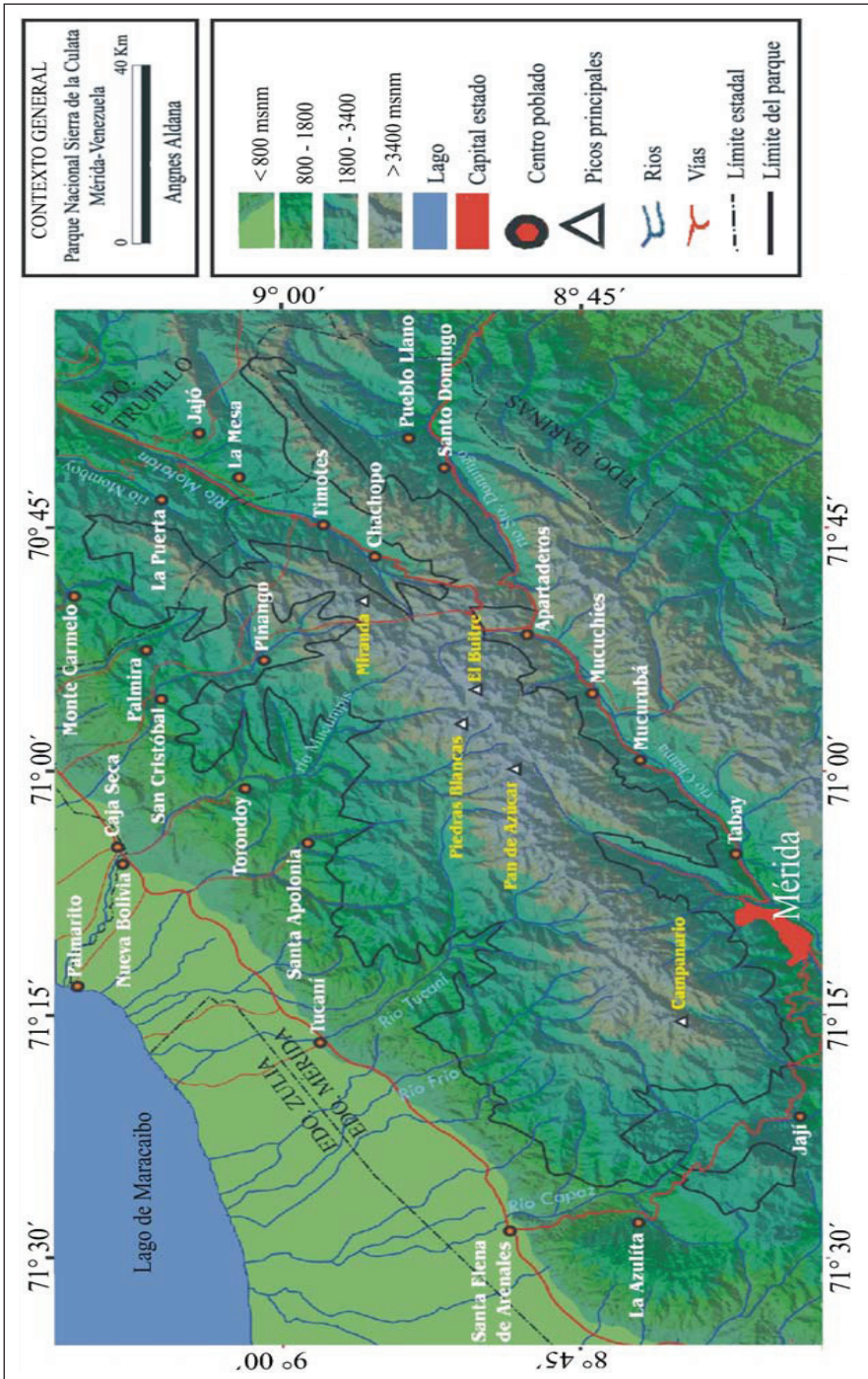


Figura 3. Parque Nacional Sierra de la Culata. Contexto general. Fuente: INPARQUES 1996

- Definición de escala y leyenda* tomando en cuenta los objetivos del trabajo y las características de las imágenes satelitales utilizadas, es decir Landsat TM y ETM de la época más seca y con menor presencia de nubes (Cuadro 1). En tal caso se seleccionó la escala 1:100.000 por ser la recomendada en la literatura para los sensores Landsat (Chuvieco, 2002) y 9 categorías de cobertura/uso de la tierra establecidas de acuerdo con los parámetros del sistema de clasificación estándar de la FAO (Di Gregorio y Jansen, 2000). Estas categorías resaltadas con fondo gris en la figura 4, se organizan en grupos dicotómicos como: cubiertas sin vegetación y con vegetación, siendo esta última subdividida en los conjuntos de vegetación natural y no natural.

Las unidades agrícolas representadas en los mapas de cobertura/uso de la tierra elaborados, constituyen un conjunto integrado de dos fuentes de datos: a) la información interpretada de las imágenes satelitales en cuanto a

forma, dimensiones y localización de las unidades cultivadas; y b) la información suministrada por una muestra de 60 productores agrícolas, a quienes se les aplicaron encuestas-entrevistas previamente diseñadas en torno a las siguientes variables: tipos de cultivos, mano de obra, orientación de la producción, asistencia técnica y crediticia, preparación del terreno, medidas de conservación, uso del barbecho o descanso de la tierra, fertilización, riego, prácticas de mantenimiento, medios de transporte de la producción y algunos aspectos de la ganadería.

El análisis de los datos recopilados en las encuestas permitió discriminar los cultivos con base en algunas de las tipologías diferenciadas en la clasificación de la UGI (Rojas, 1995), subdividiéndose la horticultura en piso alto (más de 3000 msnm) y piso bajo (menos de 3000 msnm), por desarrollarse estos cultivos dentro de las dos grandes unidades ecológicas afectadas por el hombre que habita en el parque; es decir: páramos en el

Cuadro 1. Imágenes satelitales utilizadas

Imagen Landsat	Fecha	Path/raw	Fuente
TM	26-12-1987	007-054	Descargada del Servidor gratuito de la red http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp
TM	20-01-1988	006-054	Facilitada por el Centro de Procesamiento Digital de Imágenes (CPDI) Venezuela.
ETM	04-01-2003	007-054	Facilitada por el Vice ministerio de Conservación Ambiental del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Venezuela.
ETM	29-01-2003	006-054	Financiada por el Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá, Madrid - España.

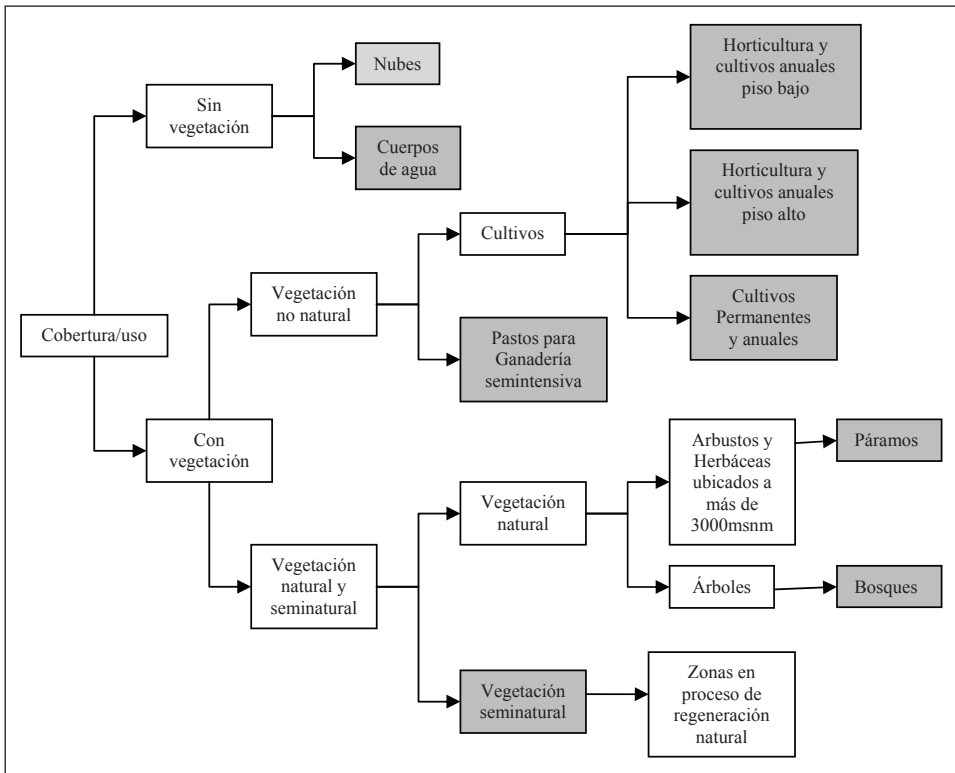


Figura 4. Leyenda

primer caso y bosques en el segundo.

- *Procesamiento de las imágenes satelitales mediante:*
 - Las correcciones geométricas, topográficas y por reflectividad aplicadas a las imágenes Landsat consideradas (Programa PCI 9.1).
 - La verificación de la corrección topográfica al estimar y comparar la correlación entre la capa de iluminación y las bandas de la imagen corregidas y sin corregir. Posteriormente, se establecieron las diferencias de reflectividad en cubiertas de páramo y bosques ubicadas en vertientes que presentan

distinto grado de iluminación, y se contrastaron los valores obtenidos en la desviación típica de tales cubiertas antes y después de realizada la corrección topográfica (Riaño *et al.*, 2003).

- La selección de los índices de vegetación NDVI y NDII para separar bosques de páramo, la banda 3 con valores de reflectividad para separar las nubes y, la banda 5 (SWIR) topográficamente corregida para delimitar los cuerpos de agua.
- La estimación del umbral de corte (media \pm n desviaciones típicas), (Barbosa *et al.*, 2002) de las cubier-

tas de bosques, páramos, cuerpos de aguas y nubes, a partir de las estadísticas aportadas por los índices de vegetación y las bandas 3 y 5.

– La generación de un mapa binario (bitmap), que identifica a las cubiertas agrícolas con el valor 1 y el espacio restante con el valor 0, mediante la digitalización en pantalla (Programa PCI 9.2), bajo criterios de interpretación visual como el tono, textura, forma y contexto (Pernía y López, 1997; King, 2002).

– La transferencia a las imágenes de satélite del bitmap señalado y del modelo digital del terreno previamente elaborado en el Sistema de Información Geográfica Idrisi (raster).

– La aplicación del árbol de decisiones indicado en la figura 5, mediante la función easy modelling del programa PCI 9.1, usando los umbrales estimados y mostrados en el cuadro 2, para generar los mapas de cobertura/uso de la tierra del Parque Nacional Sierra

de la Culata de los años 1988 y 2003.

- *Verificación de las clasificaciones*

La fiabilidad de los mapas elaborados fue establecida al comparar las superficies de cada cubierta con las obtenidas por GEOMATICA (INPARQUES-GEOMATICA, 1996), y con las estimadas en el trabajo elaborado por Ataroff y Sarmiento (2003), así como también con los datos de campo levantados sobre 50 puntos muestrales ubicados en las cercanías de las vías de penetración al parque y en las unidades de mayor tamaño cubiertas por cultivos, páramos, bosques.

Por otra parte, en el Sistema de Información Geográfica Idrisi, se interceptaron los mapas de cobertura/uso de la tierra de fechas distintas (1988-2003) e índices de vegetación iguales (NDVI o NDII), para identificar el índice más adecuado en la separación de las cubiertas de páramos y bosques y estimar los cambios dudosos o erróneos generados en ambos casos.

Cuadro 2. Umbrales para cada categoría

Capas	Año	Media (x)	Desviación Típica (δ)	Umbrales		
				Agua y sombras	Nubes	Bosque /Páramo
NDII	1988	0,222852	0,279357			$x - 0,08 * \delta = 0,20$
NDII	2003	0,082055	0,291048			$x - 0,007 * \delta = 0,08$
NDVI	1988	0,139077	0,28319			$x - 1,056 * \delta = 0,16$
NDVI	2003	0,144672	0,292141			$x - 1,111 * \delta = 0,18$
Banda3	1988	0,305098	0,223564		$x + 0,603 * \delta = 0,44$	
Banda3	2003	0,215347	0,161206		$x + 0,5 * \delta = 0,29$	
Banda5	1988	0,214643	0,156617	$x - 1,191 * \delta = 0,028$		
Banda5	2003	0,250904	0,191736	$x - 1,23 * \delta = 0,015$		

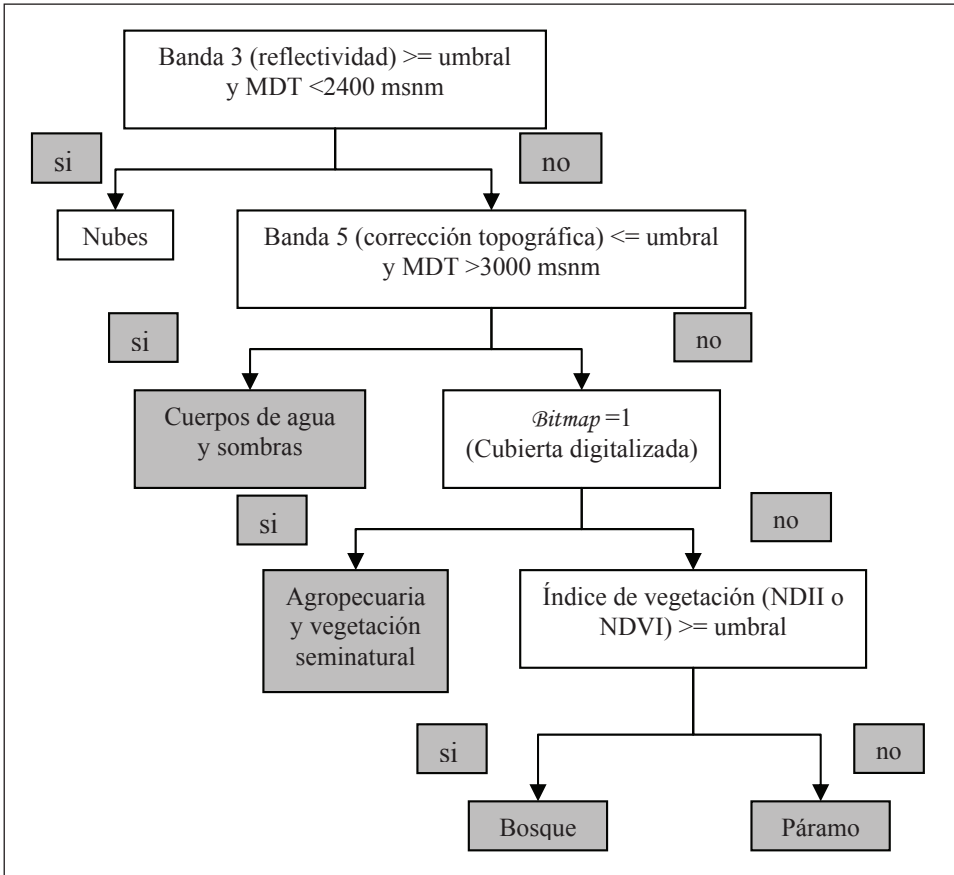


Figura 5. Árbol de decisiones

3. Resultados

3.1 Cobertura/uso de la tierra del Parque Nacional Sierra de la Culata

Los mapas de cobertura/uso de la tierra del Parque Nacional Sierra de la Culata de los años 1988 y 2003 (Figuras 6 y 7) elaborados en el presente trabajo, representan la localización y distribución espacial de 9 categorías de ocupación, cuyo contenido temático de acuerdo con

la memoria descriptiva presentada por la FAO (Di Gregorio y Jansen, 2000), se enuncia a continuación:

Vegetación natural: comprende las áreas donde la cobertura vegetal se encuentra en equilibrio con las fuerzas bióticas y abióticas de su biotopo. En el área de estudio esta categoría está representada por:

- *Mosaicos de herbazales y arbustos de zonas altas > 3000msnm* (páramos

andinos, altiandinos y los desiertos de páramo).

- *Bosques densos*, ubicados por debajo de la cota altitudinal de 3000 msnm aproximadamente.

De acuerdo con la clasificación de la FAO (Di Gregorio y Jansen, 2000) se incluye también en este grupo a las áreas que fueron inicialmente intervenidas por el hombre, posteriormente abandonadas y que actualmente se encuentran en proceso de recuperación natural. Esta categoría es identificada en el sistema de clasificación enunciado como:

– *La vegetación seminatural*, compuesta por mosaicos de árboles, arbustos y herbáceas utilizadas en algunos casos para ganadería extensiva.

Vegetación no natural conformada por tres categorías:

- *Áreas terrestres cultivadas y manejadas*, donde la vegetación natural ha sido removida por el hombre y reemplazada por cultivos con la intención de obtener cosechas. Las unidades diferenciadas en el área en estudio son:
 - Cultivos permanentes y anuales (café, cambur, maíz, ocumo, apio).
 - Cultivos hortícolas y anuales (papa, zanahoria, ajo, brócoli) de *piso alto* (>3000msnm).
 - Cultivos hortícolas y anuales (papa, zanahoria) de *piso bajo* (< 3000 msnm).
 - Pastizales para ganadería.
- *Los cuerpos de agua* natural permanente representadas por los ríos y lagunas de origen glaciar que se em-

plazan en la base de antiguos circos glaciares ubicados por encima de los 3000 msnm aproximadamente.

- *Las áreas desprovistas de vegetación* correspondientes con las superficies que presentan menos del 4% de cobertura vegetal natural o artificial incluyendo roca desnuda, arenas y desiertos. En el área de estudio se identifica esta categoría con los afloramientos rocosos presentes en las zonas más altas de las montañas, con conos de derrubio formados al pie de los circos glaciares y con los desiertos de páramo. Sin embargo, por no detectarse (en los recorridos de campo y la consulta a expertos) intervención humana sobre estas unidades y por estar ubicados en la unidad ecológica denominada páramo, no fue discriminada aparte, sino incluida en los mosaicos de arbustos y herbazales de las zonas altas (páramos).

Se incluye también en la leyenda a las cubiertas de *nubes* registradas en las imágenes de satélite. Estas nueve categorías se despliegan en las figuras 6 y 8 donde se aprecia el predominio de las cubiertas de bosques y páramos, ocupando estos últimos una mayor extensión y totalizando ambas categorías un poco más del 90% del parque (Cuadro 3 y Figuras 7 y 9).

Sobre el pequeño espacio restante (0,62% para 1988 y 0,65% en el 2003) se intercalan, en las zonas altas o páramos, los cuerpos de aguas y en las inmediaciones al lindero del parque, sobre las zonas bajas fundamentalmente, se emplazan las

Cuadro 3. Superficie ocupada por cada categoría en cada año

Cubiertas	Superficie			
	1988		2003	
	Has	%	Has	%
Bosque	93853	46,58	87338	43,34
Páramo	101594	50,42	101824	50,53
Vegetación seminatural	609	0,30	609	0,30
Cultivos permanentes y anuales	965	0,48	1422	0,71
Cultivos hortícolas y anuales piso alto	572	0,28	616	0,31
Cultivos hortícolas y anuales piso bajo	117	0,06	126	0,06
Pastos para ganadería	268	0,13	359	0,18
Cuerpos de agua y sombras	1253	0,62	1302	0,65
Nubes	2264	1,12	7899	3,92

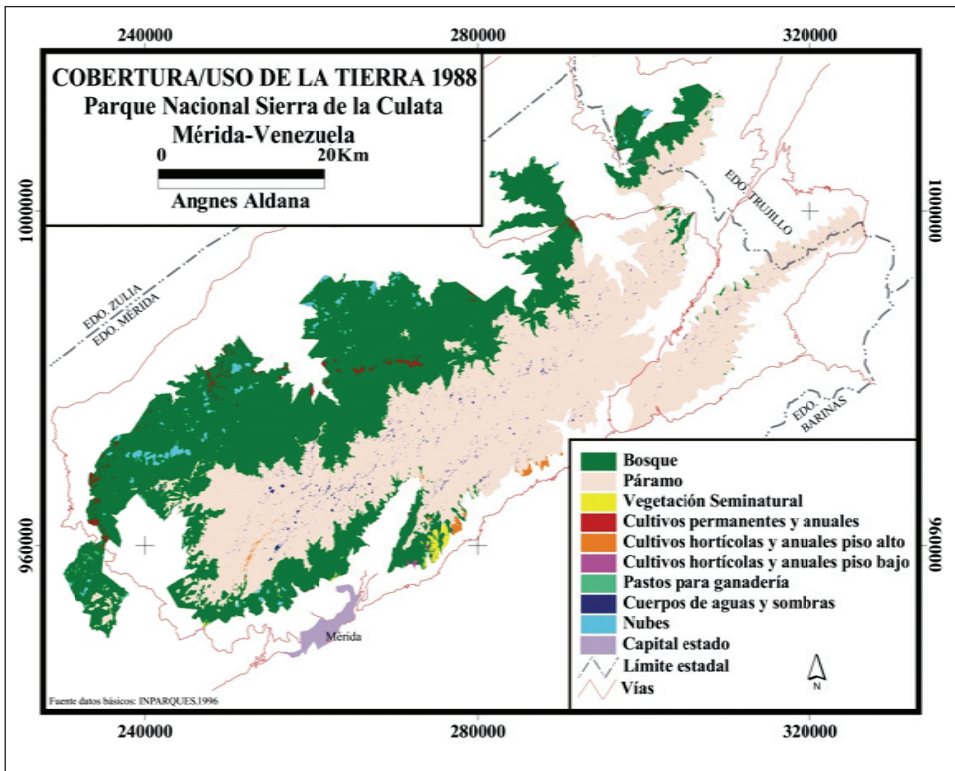


Figura 6. Cobertura/uso de la tierra, 1988

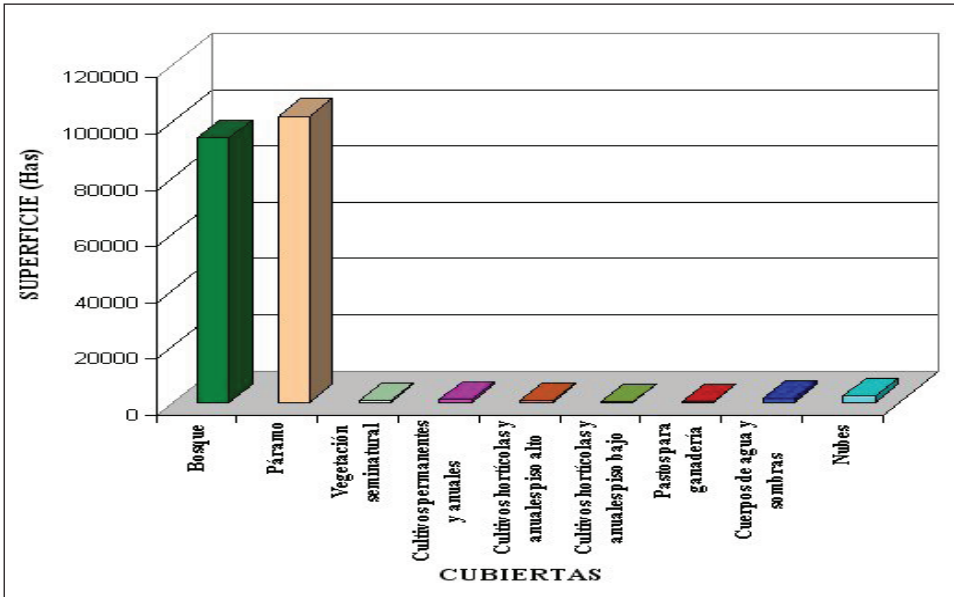


Figura 7. Cobertura / uso de la tierra, 1988

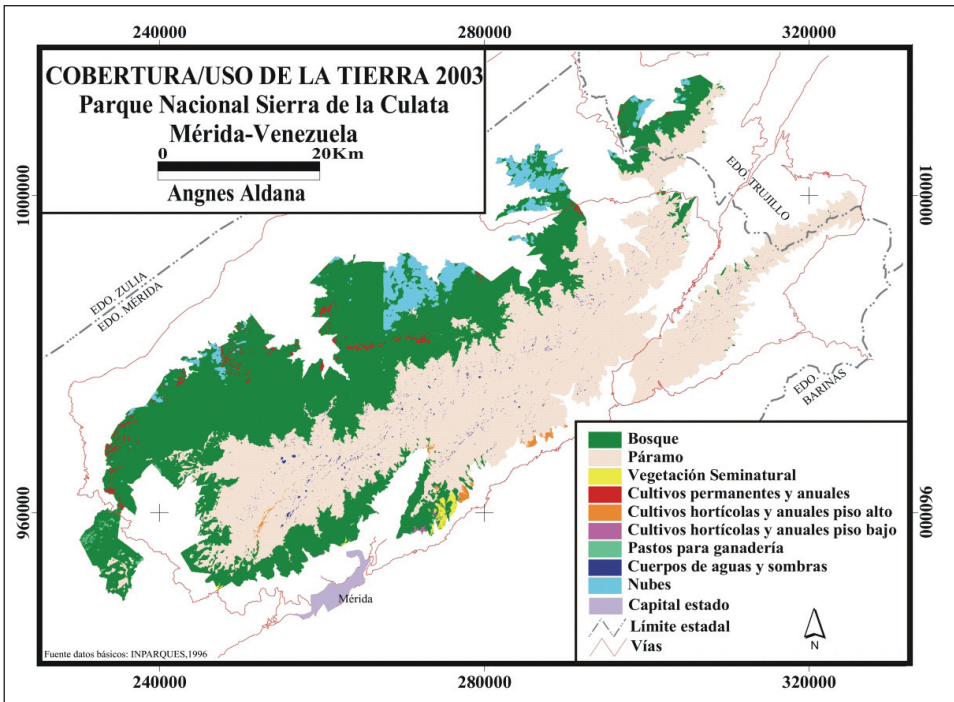


Figura 8. Cobertura/uso de la tierra, 2003

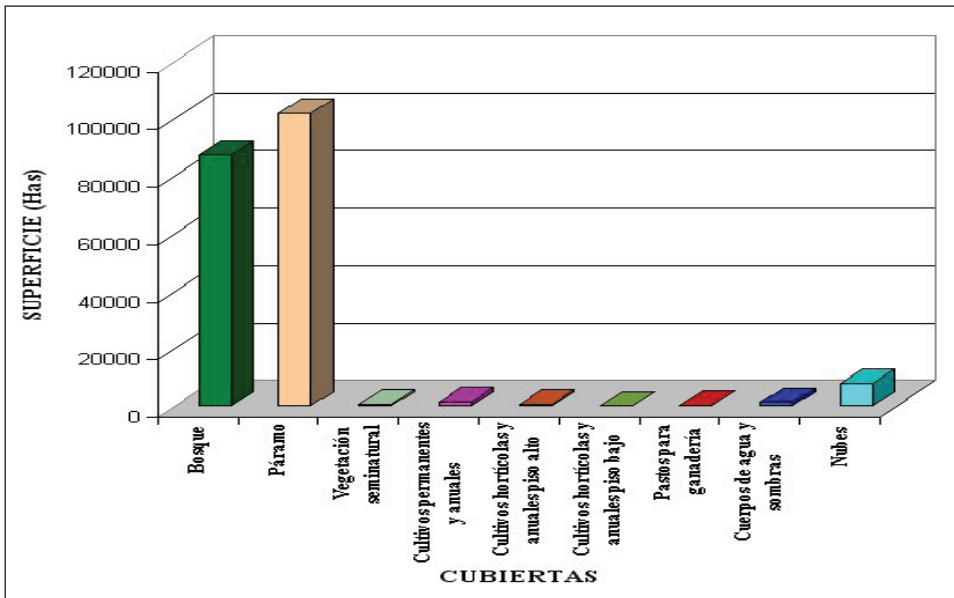


Figura 9. Cobertura/uso de la tierra, 2003

cubiertas agrícolas y los espacios ocupados por vegetación seminatural.

Los datos aportados por el cuadro 3, no sólo expresan las dimensiones de las cubiertas consideradas, sino que dejan entrever, por una parte, la proporción dominante de las cubiertas vegetales naturales en los dos momentos temporales y, por la otra, la reducción de los bosques y el incremento de las unidades agrícolas.

En relación a las cubiertas agrícolas encontramos los valores más altos en los cultivos permanentes y anuales (0,48% para 1988 y 0,71% en el 2003), los cuales tienden a desarrollarse sobre las inmediaciones de los linderos del parque y a lo largo de las rutas de penetración al interior y partes altas de sus cuencas.

Es evidente las semejanzas entre los productos cartográficos elaborados para

cada año; sin embargo, es preocupante no sólo las pequeñas manchas agrícolas que se perfilan en los dos mapas en forma de puntos dispersos, sino también las de nueva generación que de manera difusa y numerosa se observan en el año 2003, fundamentalmente en las zonas bajas y boscosas del parque.

3.2 Fiabilidad de la cartografía elaborada

La producción de mapas de cobertura/uso de la tierra del Parque Nacional Sierra de La Culata, mediante la clasificación de imágenes satelitales, conlleva la estimación de una serie de errores generados antes y después de la interpretación acometida, los cuales expresan la fiabilidad de la cartografía elaborada. Las valora-

ciones encontradas en cada fase se desglosan a continuación.

Previo al proceso de interpretación de las imágenes satelitales

- Se obtuvo un error medio cuadrático por debajo de un píxel (entre 0,5 y 0,9) en cada una de las correcciones geométricas aplicadas sobre las imágenes utilizadas, lo cual se acerca a los límites (0,25-0,5 píxel o máximo un píxel) establecidos por diversos autores citados por Munyati (2000) para trabajos con fines de detección de cambios.
- El mapa de iluminación requerido en el proceso de corrección topográfica fue elaborado a partir de un modelo digital del terreno producido en el Sistema de Información Geográfica

Idrisi con un error de 7 m. Según Riaño *et al.* (2003), un MDT con un error alrededor de 9 m podría ser suficiente para realizar una corrección topográfica en imágenes Landsat.

- Las reducciones de los coeficientes de correlación estimados entre la capa de iluminación y las bandas de la imagen (Cuadro 4), indican que el efecto de la topografía sobre la señal registrada en la imagen de satélite fue eliminado (Chuvieco, 2002).
- Las reducciones en la desviación típica de las cubiertas de bosques y páramos ubicados en vertientes con distinto grado de iluminación, evaluadas antes y después de la corrección topográfica (Cuadro 5), constatan la certitud de la corrección realizada (Chuvieco, 2002).

Cuadro 4. Coeficientes de correlación

		754-1988	654-1988	754-2003	654-2003
Bandas		Coeficiente Correlación entre cada banda y la capa de iluminación	Coeficiente correlación entre cada banda y la capa de iluminación	Coeficiente correlación entre cada banda y la capa de iluminación	Coeficiente correlación entre cada banda y la capa de iluminación
Sin la corrección	1	0,23	0,40	0,22	0,22
	2	0,35	0,47	0,34	0,28
	3	0,36	0,46	0,34	0,29
	4	0,39	0,42	0,36	0,27
	5	0,41	0,52	0,40	0,36
	7	0,20	0,46	0,36	0,32
Con la corrección	1	-0,25	-0,02	-0,19	-0,17
	2	-0,12	0,05	-0,04	-0,10
	3	-0,12	0,04	-0,05	-0,10
	4	-0,09	-0,02	-0,03	-0,14
	5	-0,06	0,10	0,02	-0,02
	7	-0,30	0,04	-0,03	-0,07

Cuadro 5. Desviación típica

		Reflectividades 1988	Corrección topográfica 1988	Reflectividades 2003	Corrección topográfica 2003
Cubiertas	Bandas	Desviación Típica	Desviación típica	Desviación Típica	Desviación típica
Páramo	1	0,0084	0,0060	0,0086	0,0071
	2	0,0160	0,0120	0,0093	0,0080
	3	0,0310	0,0100	0,0087	0,0070
	4	0,0160	0,0070	0,0068	0,0055
	5	0,0100	0,0080	0,0100	0,0094
	6	0,0170	0,0140	0,0120	0,0100
Bosque	1	0,0016	0,0012	0,0033	0,0029
	2	0,0037	0,0025	0,0032	0,0030
	3	0,0027	0,0018	0,0026	0,0024
	4	0,0080	0,0058	0,0050	0,0058
	5	0,0026	0,0017	0,0033	0,0030
	6	0,0039	0,0030	0,0033	0,0030

Los efectos de la reducción del sombreado después de aplicar la corrección topográfica se pueden apreciar en la siguiente sección de la imagen (Figuras 10 y 11):

Posterior a la clasificación de la cobertura/uso de la tierra

En el cuadro 6 se distingue un 15% de diferencias entre las cubiertas de bosques al comparar los resultados del presente trabajo con los obtenidos por GEOMATICA (INPARQUES-GEOMATICA, 1996) mediante una clasificación supervisada.

Las mayores diferencias se presentan en los cuerpos de agua y sombras, limitados en el presente trabajo a la zona ubicada por encima de los 3000 msnm, lo cual descarta a las sombras desplegadas por debajo de este límite altitudinal.

El porcentaje de nubes es mayor en el mapa de GEOMATICA, pues sus autores utilizaron la imagen 754 de enero-1988 con mayor cobertura nubosa que la de diciembre-1987 procesada en nuestro caso.

De lo anterior se desprende que las diferencias entre las imágenes de satélite analizadas y el uso de dos técnicas diferentes de clasificación de la cobertura, influyen en las proporciones de nubes, aguas y sombras interpretadas por los autores y dificultan la comparación de los resultados presentados en el cuadro 6. No obstante, podemos apreciar una diferencia menor (1,54%) entre las cubiertas menos afectadas por los problemas enunciados; es decir, los páramos, cuya superficie estimada con distintas técnicas y diferentes índices de vegetación (NDVI o NDII)

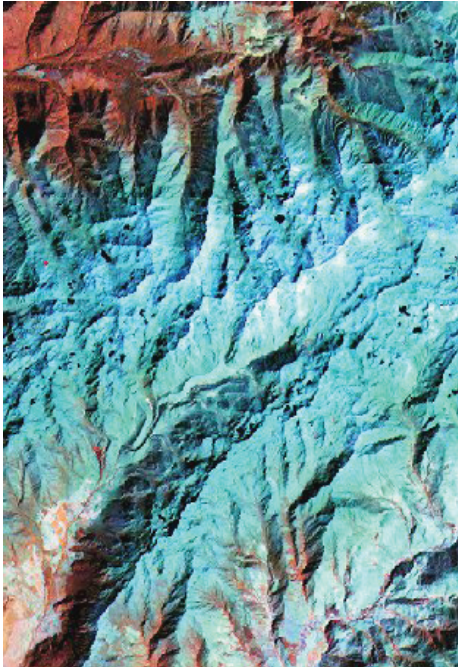


Figura 10. Sección de la imagen antes de la corrección topográfica

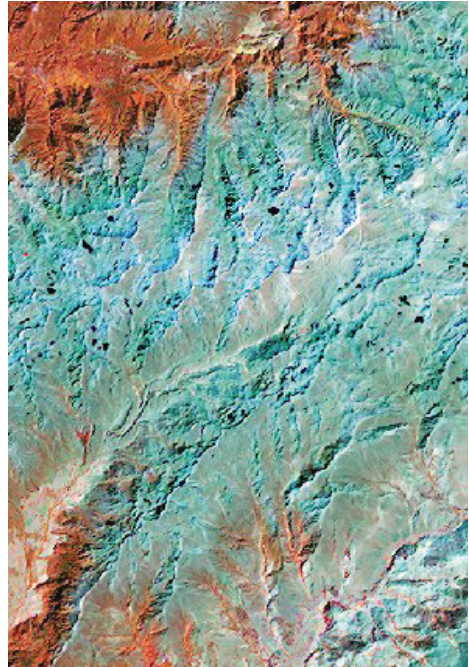


Figura 11. Sección de la imagen después de la corrección topográfica

Cuadro 6. Superficies (%) de las cubiertas estimadas con diversos métodos

	Superficie %					
	Bosque	Páramo	Nubes	Agrícola	Agua	Vegetación Seminatural
Árbol de decisión						
NDVI 1988	46,19	51,28	1,11	0,96	0,15	0,30
NDII 1988	46,58	50,90	1,11	0,96	0,15	0,30
NDVI 2003	44,09	50,38	3,91	1,26	0,11	0,30
NDII 2003	43,34	51,07	3,92	1,26	0,11	0,30
Clasificación supervisada						
GEOMATICA-INPARQUES (1996)	40,46	50,50	2,23	0,48	6	
Modelo teórico						
Ataroff y Sarmiento (2003)	45,88	54,11				

es casi igual en ambas fechas (51,28% y 50,95 para 1988 ó 50,38% y 51,07% para 2003), lo cual ratifica la estrecha relación entre estos índices que ha sido reseñada por algunos autores específicamente para cubiertas de pastizales (Chuvieco *et al.*, 2002; Jackson *et al.*, 2004) como las presentadas en los páramos andinos.

3.3 Comparación con datos de campo

La comparación de los mapas de cobertura/uso de la tierra con los datos de campo de los puntos seleccionados mediante un muestreo estratificado aleatorio, arrojó una correspondencia total con las cubiertas de bosques y páramos. Por el contrario, las cubiertas agrícolas no mostraron tal similitud con la realidad, detectándose algunas confusiones con los sectores cubiertos por vegetación seminatural.

Por su inaccesibilidad los cuerpos de aguas no fueron comprobados así como tampoco las categorías ubicadas en sectores inseguros para los visitantes, como el suroeste del parque y la vertiente norte del mismo, poco controlados o vigilados por las autoridades competentes. Estas razones también impidieron establecer las diferencias entre pequeñas cubiertas agrícolas y los movimientos de masa o derrumbes ocasionados durante el período.

Los bajos porcentajes alcanzados en los errores de la corrección geométrica y las pequeñas diferencias encontradas entre las cubiertas de páramos estimadas por GEOMATICA y las obtenidas en el presente trabajo (Cuadro 6), nos permite calificar la fiabilidad de la cartografía elaborada en el presente trabajo como bas-

tante adecuada; sin embargo, las limitaciones reseñadas con anterioridad dejan entrever que tal apreciación puede estar sobrevalorada.

3.4 Diferencias entre NDVI y NDII

Los productos de la intersección de los mapas de cobertura/uso de la tierra de fechas distintas (1988/2003) e índices iguales, registran los cambios reales y diversas categorías de cambios dudosos, los cuales se corresponden en su mayoría con las transformaciones de bosques a páramos y de páramos a bosques. Este último caso podría derivarse de un incremento en la temperatura de las zonas altas, favoreciendo el avance del bosque hacia altitudes mayores a los 3000 msnm. De hecho, el límite del timberland o ecotono en ciertos lugares del Parque Nacional Sierra de la Culata, sobrepasa tal cota altitudinal (Rangel y Duque, 1986).

La zona de transición entre los bosques y el ecosistema páramo de las montañas andinas, sigue un patrón interdigitado en el que se mezclan arbustos cargados de epifitas y árboles retorcidos creciendo en impenetrables bosques bordeados por pastizales altos (Monasterio y Vuilleumier, 1986), reflejando un proceso de adaptación de la vegetación (cambios en su forma, función y comportamiento) a las condiciones climáticas más adversas que se van presentando a medida que se asciende en altitud (Sarmiento, 1986), para pasar de cubiertas vegetales leñosas y arbóreas a cubiertas no leñosas arbustivas y herbáceas. Constituye así esta franja un espacio heterogéneo, entrelazado

entre los bosques y el páramo bajo una configuración tan irregular como el relieve sobre el cual se desarrolla, dificultando su delimitación.

El cambio de bosques a páramo es difícil de reconocer, aunque podría ser el producto del fenómeno denominado Paramización (Universidad Nacional de Colombia, s/f; Jokisch y Lair, 2002) ocasionado por la intervención humana del bosque altiandino, la instalación de cultivos, el abandono de la actividad agropecuaria y posterior colonización del espacio con hierbas y arbustos, muchos de los cuales son elementos de páramo y subpáramo. Lo cual permite explicar la presencia de plantas parameras como el

frailejón, en algunos sectores ubicados por debajo de los 3000 msnm al suroeste del Parque Nacional Sierra de la Culata.

La peculiaridad del patrón espacial del cambio de bosque a páramo y su opuesto desplegado en los mapas elaborados (Figuras 12 y 13), como lo es su ubicación a lo largo de la franja ecotonal, en una zona prácticamente inaccesible y la información suministrada por expertos en el área, así como las verificaciones en algunos puntos del parque, dejan entrever que estos no son cambios reales.

Los cambios dudosos o erróneos representan el 1,8 % de los cambios detectados, distribuidos en su casi totalidad entre los cambios de bosques a páramos

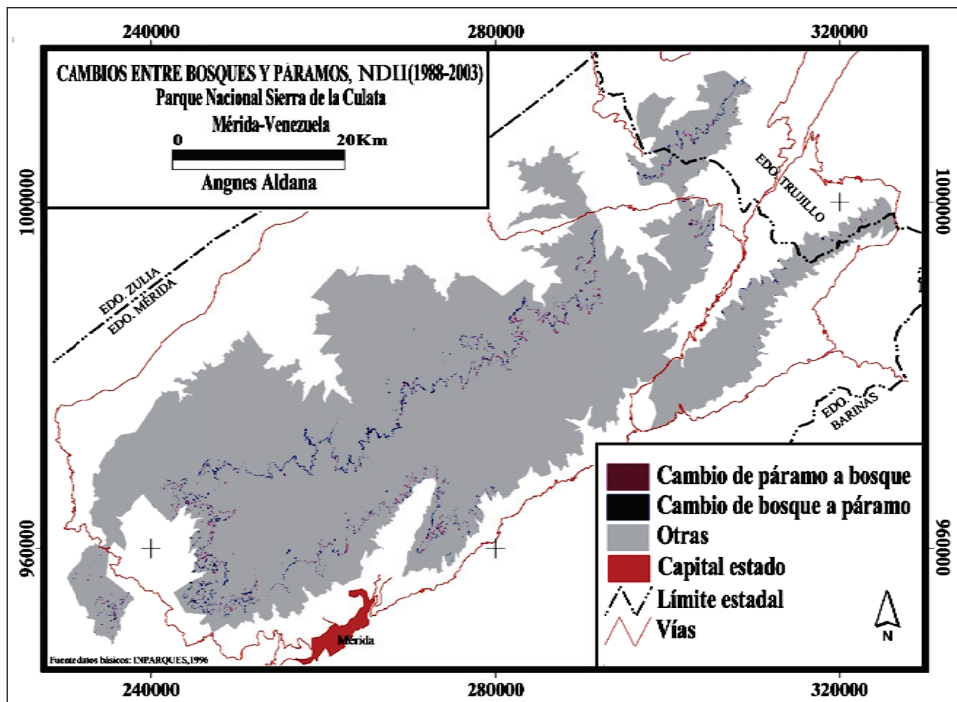


Figura 12. Cambios entre bosque y páramos (NDII), 1998-2003

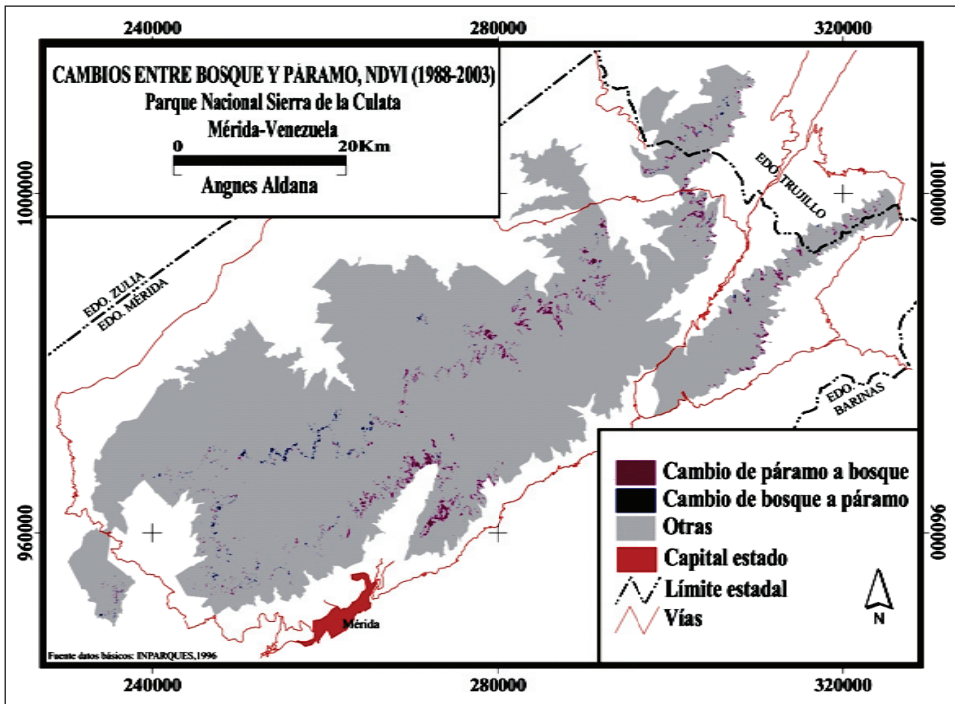


Figura 13. Cambios entre bosque y páramos (NDVI), 1998-2003

y su contrario (1,08%), adjudicados en el presente trabajo a los errores de la corrección geométrica y a las características de la zona de transición que separa el bosque del páramo, lo cual corrobora los resultados encontrados por Powell *et al.* (2004) al evaluar 5 clasificaciones distintas realizadas por expertos interpretes en la región de Rondônia-Brasil.

Tres aspectos fundamentales sobre los cambios dudosos reseñados se pueden apreciar en las figuras 12 y 13.

- Estos cambios se presentan a lo largo de la franja ecotonal, pero su distribución es más regular u homogénea en los mapas elaborados con NDII que en

los obtenidos con NDVI, concentrándose en este último caso entre el centro y este del parque fundamentalmente.

- Las superficies ocupadas por estos tipos de cambios (Cuadro 7) son similares cuando se emplea el índice de contenido de humedad en la vegetación (NDII), mientras que con el índice NDVI se presentan diferencias significativas, predominando en este caso el cambio de páramo a bosque.
- Se alcanza un mayor error de cambio (2691,81 Has) cuando se utiliza el NDVI (Cuadro 7).

Los tres aspectos reseñados nos permiten concluir que es más adecuado utilizar el NDII que el NDVI para discriminar bos-

Cuadro 7. Superficie (Has) de cambios dudosos

	Cambio de bosque a páramo	Cambio de páramo a bosque	Total
Superficie (Has) con NDVI	396,63	2295,18	2691,81
Superficie (Has) con NDII	1183,00	955,00	2138,00

ques y páramos, particularmente cuando los mapas de cobertura/uso de la tierra que contienen estas categorías son utilizados posteriormente en procesos de detección de cambios.

4. Conclusiones

La cartografía de la cobertura/uso de la tierra del Parque Nacional Sierra de la Culata, deja entrever el predominio de las cubiertas naturales y la escasa intervención humana en los dos años considerados. Las diferencias entre 1988 y 2003 se ven modestamente proyectadas en las áreas afectadas por un proceso de deforestación que no es posible percibir en su totalidad, mediante la interpretación de imágenes Landsat. Es necesario por lo tanto emprender estudios más detallados en sitios específicos, con imágenes de mayor resolución espacial (ASTER, IKONOS), para identificar las unidades agrícolas de menor dimensión que no detecta el sensor Landsat y cuantificar la magnitud real de la intervención humana en esta área protegida.

Los árboles de decisión constituyen una herramienta sencilla y adecuada para discriminar de manera general la cobertura/uso de la tierra de parques nacionales poco intervenidos como el de la

Sierra de la Culata, especialmente si se dispone de una base de datos digital que incluya la información auxiliar requerida en el proceso de delimitación de las categorías seleccionadas.

La digitalización en pantalla como método de interpretación visual de imágenes satelitales es un trabajo engorroso y lento y amerita de la verificación en el campo de un alto porcentaje o de la totalidad de las unidades delimitadas, lo cual es factible en el caso de categorías agrícolas de parques nacionales poco intervenidos, precisamente por su escasa presencia. Sin embargo, la inseguridad personal que se enfrenta en algunos sectores, obstaculiza la verificación en el campo e impide alcanzar una mejor estimación de la fiabilidad de los mapas elaborados.

Las diferencias tan marcadas entre bosques y páramos andinos constituyen elementos significativos para discriminar estas categorías mediante umbrales establecidos sobre los índices de vegetación NDVI o NDII. No obstante, cuando la cartografía de la cobertura/uso de la tierra es posteriormente utilizada con fines de detección de cambios, resulta más adecuado el índice de contenido de humedad en la vegetación (NDII) para separar estas cubiertas, por cuanto el error de cambio de bosque a páramo y su opuesto no sólo es más bajo, sino que se

reparte más equitativamente entre ambos tipos de transiciones y se distribuye de manera más homogénea a lo largo de la franja ecotonal.

5. Agradecimientos

El presente documento reúne algunos de los resultados obtenidos en la tesis doctoral intitulada “*Evaluación de los cambios ocurridos en la cobertura/uso de la tierra del Parque Nacional Sierra de la Culata, Estado Mérida-Venezuela. Período 1988-2003*”, elaborada dentro del marco del programa de doctorado en ‘Cartografía, SIG y Teledetección’ (Universidad de Alcalá, Madrid-España), con el apoyo económico y logístico aportado por las siguientes Instituciones:

- Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela.
- Consejo de Desarrollo Científico Humánico y Tecnológico de la Universidad de Los Andes (CDCHT), Mérida-Venezuela. Proyecto código: FO-523-03.
- Centro de Procesamiento Digital de Imágenes, Venezuela (CPDI).
- Vice ministerio de Conservación Ambiental del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Venezuela.
- Grupo Pedología y Medio del CDCHT, Universidad de los Andes, Mérida-Venezuela.
- Instituto Nacional de Parques (INPARQUES), Mérida-Venezuela.
- Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá, Madrid-España.

6. Referencias citadas

- AMEND, S. y T. AMEND. 1992. **¿Espacios sin habitantes? Parques Nacionales de América del Sur.** UICN. Editorial Nueva Sociedad. Caracas - Venezuela. 497 p.
- APLIN, P. 2004. *Remote Sensing: Land Cover. Progress in Physical Geography.* 28(2): 283-293.
- ATAROFF, M. y L. SARMIENTO. 2003. *Diversidad en Los Andes de Venezuela. I Mapa de unidades Ecológicas del estado Mérida.* CD-ROM. Ediciones Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE). Universidad de los Andes. Mérida - Venezuela.
- BARBOSA, P.; AYANZ, J.; MARTINEZ, B. and G. SCHMUCK. 2002. Burned area mapping in southern Europe using irs-wifs. En: Viegas (ed.). **Forest Fire research and Wildland Fire Safety.** 1-8. Millpress, Rotterdam.
- BRIASSOULIS, H. 1999. *Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches.* En: The web Book of Regional Science, Regional Research Institute, West Virginia University. [On line] <http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/>
- COMBER, A.; LAW, A. and J. LISHMAN. 2004. *Application of knowledge for automated land cover change monitoring.* **International Journal of Remote Sensing.** 25(16): 3177-3193.
- CONGALTON, R. and K. GREEN. 1999. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices.** Lewis Publishers.USA. 137 p.
- CHUVIECO, E. 2002. **Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio.** Ariel Ciencia. España. 586 p.

- CHUVIECO, E.; RIAÑO, D.; AGUADO, I. and D. COCERO. 2002. *Estimation of fuel moisture content from multitemporal analysis of Landsat Thematic Mapper reflectance data: applications in FIRE danger assessment*. **International Journal of Remote Sensing**. 23(11): 2145-2162.
- DI GREGORIO, A and L. JANSEN. 2000. *Land Cover Classification System (LCCS) Classification concepts and user manual*. [On line] http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=//DOCREP/003/X0596e00.htm
- DUGARTE, I. y J. ROJAS. 2003. *Evaluación de la deforestación en tres cuencas montañosas del piedemonte lacustrino de la Cordillera de Los Andes*. Escuela de Ing. Forestal. Universidad de los Andes. Mérida - Venezuela. Trabajo de grado. 51 p. (Inédito)
- ESCALONA, A. y E. CASTILLO. 2002. *Diagnóstico con fines conservacionistas de la cuenca alta y media de río frío (área dentro del Parque Nacional Sierra de la Culata)*. Escuela de Ing. Forestal. Universidad de los Andes. Mérida - Venezuela. Trabajo de grado. 72 p. (Inédito).
- FLORES, E. 1981. **Algunos sistemas paramétricos y no paramétricos para clasificación y evaluación de tierras**. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 156 p.
- FRIEDL, M. and C. BRODLEY. 1997. *Decision tree classification of land cover from remotely sensed data*. **Remote Sensing of Environment**. 61: 399-409.
- FRIEDL, M.; DOUGLAS, K.; McIVER, D. and C. BRODLEY. 2002. *Integration of domain knowledge in the form of ancillary map data into supervised classification of remotely sensed data*. **IEEE**.1038-1040.
- GAO, B. 1996. *NDWI- A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of vegetation liquid water from space*. **Remote Sensing of Environment**. (38): 257-266.
- GARCIA, M. and E. CHUVIECO. 2004. *Assessment of the potencial of SAC-C/MMRS imagery for mapping burned areas in Spain*. **Remote Sensing of Environment**. (92): 414-423.
- GAUTAM, C. and T. WATANABE. 2004. *Reliability of land use/land cover assessment in Montane Nepal - A case study in the Kangchenjunga Conservation Area (KCA)*. **Mountain Research and Development**. 24(1): 35-43.
- GOODMAN, P. 2003. *Assessing management effectiveness and setting priorities in protected areas Kwazulu-Natal*. **BioScience**. 53(9): 843-850.
- HARDISKY, M.; KLEMAS, V. and R. SMART. 1983. *The influences of soil salinity, grown form, and leaf moisture on the spectral reflectance of Spartina alterniflora canopies*. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. (49): 77-83.
- HOCKINGS, M. 2003. *Systems for assessing the effectiveness of management in protected areas*. **BioScience**. 53(9): 823-832.
- INPARQUES-GEOMATICA. 1996. *Sistema de Información Automatizado para la Vigilancia y Control del Parque Nacional Sierra de La Culata*. CD-ROOM. INPARQUES. Caracas (Venezuela).
- JACKSON, T.; CHEN, D.; COSH, M.; LI, F.; ANDERSON, M.; WALTHALL, C.; DO-RIASWAMY, P. and E. HUNT. 2004. *Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans*. **Remote Sensing of Environment**. 92(4): 475-482.

- JAMISON, E. 2003. *Rapid Assessment of protected area management effectiveness in four countries*. **BioScience**. 53(9): 883-841.
- JANSEN, L. and A. DI GREGORIO. 2002. *Parametric land cover and land-use classifications as tools for environmental change detection*. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. 91(1-3): 89-101.
- JIA, B.; ZHANG, Z.; CI, L.; REN, Y.; PAN, B. and Z. ZHANG. 2004. *Oasis land-use dynamics and its influence on the oasis environment in Xinjiang, China*. **Journal of Arid Environments**. 56(1): 11-27
- JOKISCH, B. and B. LAIR. 2002. *One last stand? forests and change on Ecuador's eastern cordillera*. **Geographical Review**. 92(2): 235-257.
- JOYAKUMAR, S.; AROCKIASAMY, D. and J. BRITO. 2002. *Conserving forests in the eastern ghats through remote sensing and GIS. A case study in Kolli hills*. **Current Science**. 82(10): 1259-1267.
- KING, R. 2002. *Land cover mapping principles: a return to interpretation fundamentals*. **International Journal of Remote Sensing**. 23(18): 3525-3545.
- LOVELAND, T.; ZHU, Z.; OHLEN, D.; BROWN, J.; REED, B. and L. YANG. 1999. *An analysis of the IGBP global land cover characterization process*. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. 65(9): 1021-1031.
- MONASTERIO, M. and F. VUILLEUMIER. 1986. Introduction: High Tropical Mountain Biota of the World. En: Vuilleumier, F y Monasterio, M. (eds.). **High Altitude Tropical Biogeography**. 3-7. Oxford University Press, Inc. USA.
- MEYER, W. and B. TURNER. 1994. **Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective**. Cambridge University Press, USA.
- MOSER, S. 1996. *A Partial Instructional Module on Global and Regional Land Use/Cover Change: Assessing the Data and Searching for General Relationships*. **GeoJournal**. 39(3): 241-283.
- MUNYATI, C. 2000. *Wetland change detection on the Kafue Flats, Zambia, by classification of a multitemporal remote sensing image dataset*. **International Journal of Remote Sensing**. 21(9): 1787-1806.
- OKELLO, M. and J. KIRINGE. 2004. *Threats to Biodiversity and their Implications in Protected and Adjacent Dispersal Areas of Kenya*. **Journal of Sustainable Tourism**. 12(1): 55-70.
- PAN, W.; WALSH, S.; BILSBORROW, R.; FRIZZELLE, B.; ERLIEN, C. and F. BAQUERO. 2004. *Farm-level models of spatial patterns of land use and land cover dynamics in the Ecuadorian Amazon*. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. 101(2/3): 117-135.
- PERNIA, E. y J. LOPEZ. 1997. *Una metodología práctica de generación de información de imágenes de percepción remota para los SIG*. **Revista de Teledetección**. (8): 1-7.
- POWELL, R.; MATZKE, N. Jr.; CLARK, M.; NUMATA, I.; HESS, L. and D. ROBERTS. 2004. *Sources of error in accuracy assessment of thematic land-cover maps in the Brazilian Amazon*. **Remote Sensing of Environment**. 90(2): 221-235.
- RAHMAN, M.; CSAPLOVICS, E.; KOCH, B. and M. KOHL. 2004. Interpretation of tropical vegetation using Landsat ETM+ imagery. En: M. Altan (ed.). **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. 157-162. Istanbul.

- RANGEL, G. 2001. *Relaciones entre el poblamiento y la deforestación en la cuenca alta del río Playa Grande (Vertiente norte del Parque Nacional Sierra de la Culata, estado Mérida)*. Escuela de Ing. Forestal. Universidad de los Andes. Mérida - Venezuela. Trabajo de grado. 46 p. (Inédito).
- RANGEL, A. y F. DUQUE. 1986. *Levantamiento de geosistemas con fines proteccionistas de las cuencas de los ríos Tucaní y Frío*. Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Trabajo de grado. 90 p. (Inédito).
- RIAÑO, D.; CHUVIECO, E.; SALAS, J. and I. AGUADO. 2003. *Assessment of Different topographic corrections in Landsat-TM data for mapping vegetation types*. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. 41(5): 1056-1061.
- ROJAS, J. 1995. **El estudio de la Geografía Rural**. Universidad de Los Andes. Consejo de Publicaciones. Mérida - Venezuela. 211 p.
- SARMIENTO, G. 1986. Ecological features of climate in high tropical mountains. En: Vuilleumier, F y M. Monasterio (eds.). **High Altitude Tropical Biogeography**. 12-45. Oxford University Press, Inc. USA.
- SETO, K.; WOODCOCK, C.; SONG, C.; HUAN, X.; LU, J. and R. KAUFMANN. 2002. *Monitoring land-use change in the Pearl River Delta using Landsat TM*. **International Journal of Remote Sensing**. 23(10): 1985-2004.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA s/f. *Curso de Ecología y Medio Ambiente. Parte IV medio ambiente en Colombia. Ecosistemas. 1.-Ecosistemas Terrestres*. [On line] <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000088/index.html>
- XIAO, X.; BOLES, S.; FROLKING, S.; SALAS, W.; MOORE, B.; LI, C.; HE, L. and R. ZHAO. 2002. *Landscape-scale characterization of cropland in China using Vegetation and Landsat TM images*. **International Journal of Remote Sensing**. 23(18): 3579-3595.
- ZIHNI, T. 2000. **C-Factor mapping using remote sensing and GIS. A case study of Lom Sak/Lom Kao, Thailand**. Geographisches Institut der Justus-Liebig Universität Giessen and Soil Science Division International. Institute for Aerospace survey and earth sciences Enschede, the Netherlands. 25 p.