

# Cartografía de la cobertura y uso de la tierra en la cuenca alta del río Santo Domingo, estado Mérida, Venezuela

*Mapping land use and land cover in upper watershed of Santo Domingo river, Merida state, Venezuela*

RAMÓN A. OSORIO M.<sup>1</sup>,  
ELIMAR LOZANO<sup>2</sup>  
y GREIS S. GRATEROL<sup>3</sup>

1 Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales,  
E-mail: raosorio@ula.ve

2 Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, Mérida, Venezuela,  
E-mail: eloanop\_31@yahoo.com

3 Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales,  
Escuela de Geografía, E-mail: greisolg@ula.ve

Recibido: 25-10-09 / Aceptado: 18-12-09

## Resumen

Para el presente estudio se utilizó una imagen de alta resolución espacial ETM+, año 2001 del satélite Landsat. Los resultados del levantamiento se validaron en el terreno para cartografiar los usos de la tierra en la cuenca alta del río Santo Domingo. Tanto el mapa temático como los resultados planimétricos de los tipos encontrados, podrían utilizarse como referencia en los análisis futuros de la dinámica de la cuenca. Como resultado de la interpretación visual de la imagen y la validación en campo de las coberturas y usos de la tierra existentes en el área de estudio, se identificaron diez (10) clases o tipos de uso y cobertura, con una superficie de 41.724,8 ha. Por su auto ecología, es la formación Páramo (P) la que cubre mayor superficie con 14.567 ha, lo que representa aproximadamente el 35% del área de la cuenca, seguido de la formación matorral con el 32% del área, es decir cubre una superficie de 13.369,3 ha. Las formaciones forestales entre bosques naturales y bosques plantados (plantaciones forestales), sólo cubren aproximadamente el 12% del área de la cuenca: Bosque natural 10,15% (4.235,4 ha), Bosque plantado 1,67% (698,4 ha).

**Palabras clave:** mapa, cobertura y uso de la tierra, cuenca río Santo Domingo, teledetección, imagen TM y ETM+ del satélite Landsat, Sistema de Información Geográfica, SIG.

## Abstract

In this study, an image of high spatial resolution ETM + 2001 year of the satellite Landsat was used. The results of information collection validated in the field for mapping the land use and land cover in the upper watershed of the Santo Domingo River. Both the thematic map and the planimetric results of the types found, may be used as reference in the future analyses of the dynamics of the watershed. As result of the visual interpretation of the image and the validation in field of the land cover and existing land use in the high watershed of the Santo Domingo river, there were identified ten (10) classes or types of use of the land and vegetable coverage, with a surface of 41.724,8 hectares. For it autoecology is the paramo formation (P) the one that covers major surface with 14.567 ha, which represents approximately 35 % of the area of the watershed, followed by the bush formation with 32 % of the area, that is to say covers a surface of 13.369,3 ha. The forest formations between natural forests and plantations forests, only cover approximately 12 % of the area of the watershed: natural Forest 10,15% (4.235,4 ha), planted Forest 1,67 % (698,4 ha).

**Key words:** mapping, cover and land use, Santo Domingo river watershed, remote sensing, TM and ETM+ images from Landsat satellite, Geographic Information System, GIS.

## 1. Introducción

La cuenca alta del río Santo Domingo es una de las cuencas prioritarias del estado Mérida por ser productora de agua para consumo humano, riego y aprovechamiento hidroeléctrico, ya que su densa red hidrográfica drena sus aguas a la represa del Complejo Hidroeléctrico General José Antonio Páez (Guevara y Yánez, 1975). Está legalmente amparada bajo cuatro figuras jurídicas a saber, para

la protección y conservación de sus bosques, suelos y aguas: Parque Nacional Sierra Nevada, Zona Protectora cuenca del río Santo Domingo, Área de Protección de Obra Pública (Zona del Astrofísico CIDA) y Parque Nacional Sierra de La Culata.

A pesar del amparo de estas figuras jurídicas, esta cuenca, al igual que la mayoría de las cuencas altas de la Cordillera Andina, se caracteriza por tener una intensa utilización con fines de producción agrícola, razón por la que presenta alto ries-

go a experimentar cambios en el uso de la tierra, fundamentalmente por factores como la expansión de la frontera agrícola, que en general, interviene la vegetación natural en vertientes con fuertes pendientes, y en algunos casos genera la aparición de procesos erosivos con el aporte de sedimentos, afectando el buen funcionamiento del Complejo Hidroeléctrico General José Antonio Páez.

En consecuencia, hubo la necesidad de emprender un estudio del uso de la tierra para ubicar y determinar los diferentes tipos y así crear una base de datos espacial actualizada. En este trabajo se utilizó una imagen de alta resolución espacial ETM+, año 2001 del satélite Landsat y los resultados del levantamiento se validaron en el terreno para cartografiar los usos de la tierra en la cuenca alta del río Santo Domingo. Tanto el mapa temático como los resultados planimétricos de los tipos encontrados, podrían utilizarse como referencia en los análisis futuros de la dinámica de la cuenca.

El objetivo de la investigación es contribuir a la producción de información que pueda ser utilizada en un futuro inmediato por los organismos públicos y/o privados, responsables de la toma de decisiones para el manejo de la misma, para el proceso de ordenación del territorio, planteamiento y aplicación de estrategias, medidas de control, y diseño de los respectivos planes de recuperación y conservación de la cuenca. Asimismo, proporciona información que sirve como referencia importante para el monitoreo y evaluación de logros en los futuros proyectos de manejo de la cuenca por parte de los consejos comunales; ya que la política actual es darle mayor responsabilidad y participación a las comunidades.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 La cuenca alta del río Santo Domingo

La cuenca alta del río Santo Domingo se localiza al Noreste del estado Mérida (Figura 1), concretamente dentro de las estribaciones de la Sierra de Santo Domingo por su vertiente derecha y la Sierra del Norte o de La Culata, en la vertiente izquierda, en la prolongación del páramo de Mucuchíes (Moreno *et al.*, 1991).

La cuenca alta del río Santo Domingo, desde sus nacientes hasta el sitio de presa (Complejo Hidroeléctrico General José Antonio Páez), tiene una

superficie de 41.724,8 ha, distribuidas en tres subcuencas: alta río Santo Domingo (24.180,0 ha), río Pueblo Llano (9.535,3 ha) y el río Aracay (8.009,5 ha). Está delimitada por las coordenadas geográficas 8°45'00" a 9°02'00" de latitud Norte y 70°32'42" y 70°51'00" de longitud Oeste, y UTM 967.700 m y 998.900 m Norte, y 298.250 m a 330.600 m Este.

Desde el punto de vista político-administrativo, la cuenca alta del río Santo Domingo pertenece a los municipios Cardenal Quintero y Pueblo Llano, del estado Mérida, y a la Dirección Estatal Ambiental DEA-Mérida del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.

Según MARNR (1980), la cuenca se caracteriza por presentar un rango altitudinal que va desde los 1.600 a los 4.906 msnm. La temperatura varía desde los 16 °C en las partes más bajas hasta los 6 °C en las partes altas de la cuenca. La vegetación natural de la zona es una transición entre bosques bajos siempre verdes y vegetación de páramo con una gran intensidad de cultivos agrícolas principalmente horticultura.

### 2.2 Tecnologías de percepción remota y cartografiado

Los datos utilizados en el marco de este estudio se derivaron de la imagen satelital de alta resolución espacial, capturada por el sensor ETM+ del satélite Landsat, tomada en enero del 2001 con una resolución espacial de 28,5 m. La imagen se obtuvo gratuitamente en línea a través de Internet (TRFIC, GOES y ESIPFED, 2005) y luego fue importada, copiada y procesada con el Sistema de Procesamiento Digital de Imágenes TNT-mips versión 6.9, del Laboratorio de Fotogrametría y Sensores Remotos de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes. No fue posible obtener imágenes más recientes de forma gratuita.

El área de la imagen donde aparece en su totalidad la cuenca en estudio, resultó de muy buena calidad, con un porcentaje mínimo despreciable de cobertura de nubes y sin ningún tipo de defecto. Para corregir las deformaciones geométricas de la imagen, independientemente de las fuentes y tipos de distorsión, se usaron Puntos de Control Terrestre (PCT), tomados de hojas cartográficas a escala 1:25.000 del Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional, con la finalidad que ambas imágenes tuvieran coordenadas cartográficas de la

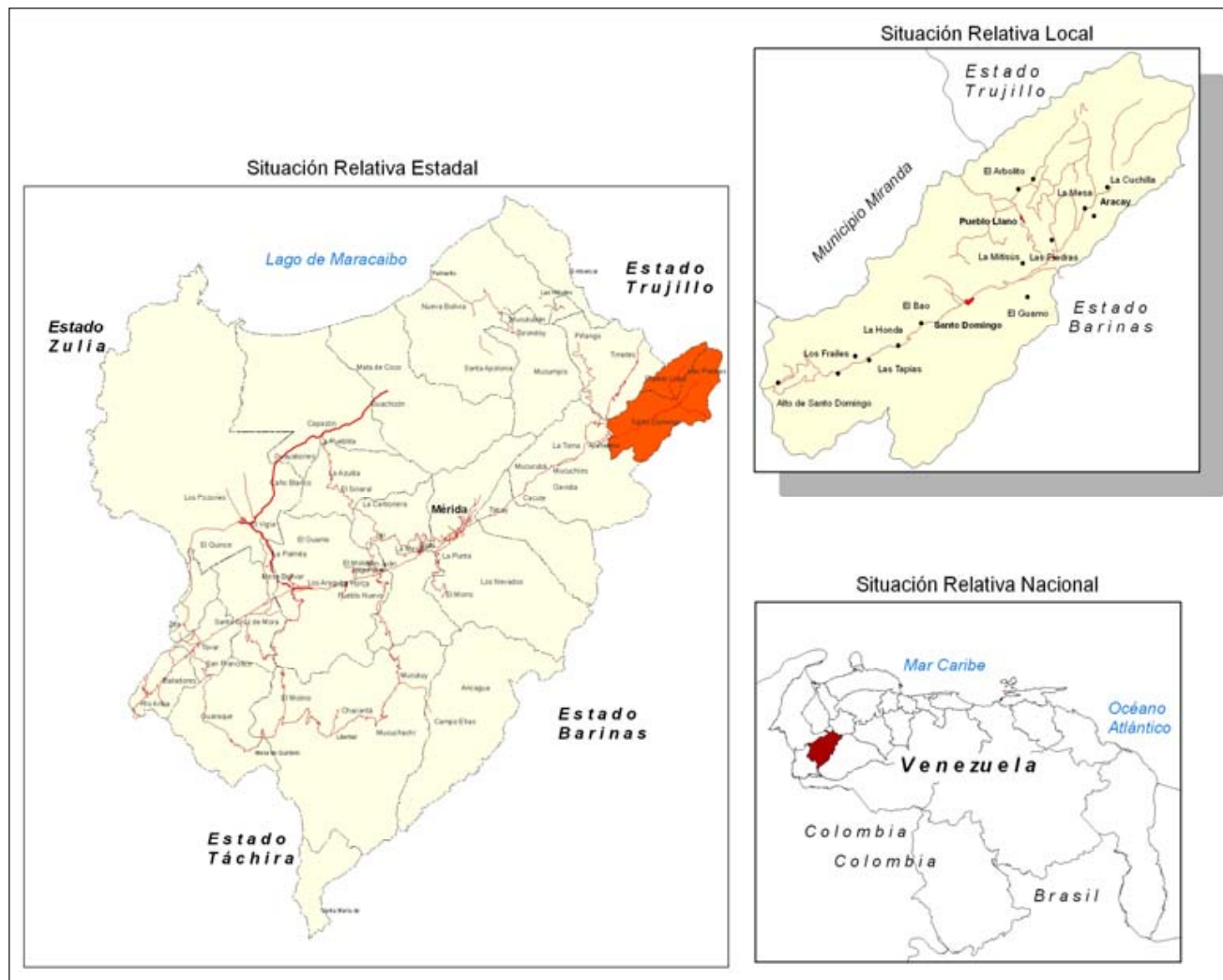


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca alta de Santo Domingo.

proyección Universal Transversal Mercator (UTM), Zona 19. La corrección geométrica involucra el proceso de interpolación geométrica o espacial (Método de los polinomios), que permite determinar la nueva posición del píxel y su orientación (Chuvieco, 1996).

La primera etapa del procesamiento de la imagen comprendió la definición, mejoramiento del contraste y filtraje de la misma, con la finalidad de mejorar la apariencia y calidad visual de la imagen, de tal forma que se definieran mejor los rasgos de interés que presentan, tales como detalles, variedad de colores y contraste de tonos, y así facilitar la posterior realización de la interpretación visual en pantalla.

Para mejorar la disposición de la información contenida en los datos originales, haciendo más evidentes determinados datos de interés se utilizó

el método de transformación Kauth-Thomas (Tasseled cap o Gorro del Mago) explicado por Lillesand y Kiefer (1999). Con este método, se combinaron linealmente las seis bandas no termales de Landsat (1, 5 y 7), obteniéndose tres nuevas bandas o imágenes, expresando cada una un componente o un valor de índice denominados:

- *Brillo* (índice de brillo del suelo, Brightness): generó una banda de brillantez reflejando los cambios en la reflectividad total de la escena, y permitiendo discriminar suelos desnudos (Figura 2).
- *Verdor* (índice de vegetación, Greenness): la banda obtenida indica el contraste entre las bandas visibles y el infrarrojo próximo, y permite determinar la presencia de cobertura vegetal, ve-

getación vigorosa, cultivos y áreas urbanizadas (Figura 2).

- *Humedad* (índice de contenido de humedad de la vegetación y del suelo, Wetness): la banda generada está vinculada con la banda de infrarrojo medio, en la que se manifiesta con mayor claridad la absorción del agua, por lo que se puede discriminar cursos o cuerpos de agua y áreas con mayor contenido de humedad (Figura 2).

Cada uno de los índices obtenidos es calculado como una suma ponderada o combinación lineal de los valores de ingreso de la banda, mediante la fórmula:

$$\text{Valor índice} = a \text{ TM1} + b \text{ TM2} + \dots + f \text{ TM7}$$

Los coeficientes de ponderación desde a hasta f son predefinidos para cada índice y se muestran en la ventana "Raster Combination" del programa TNT-mips versión 6.9, del Sistema de Procesamiento Digital de Imágenes.

Las tres bandas obtenidas de esta transformación, fueron de gran utilidad al realizar la interpretación visual en pantalla de la imagen ETM+ de Landsat, ya que con la composición a color de las mismas [brillo (Rojo) + verdor (Verde) + humedad (Azul)], en varias oportunidades se pudo determinar y verificar con mayor certeza la presencia en el área de estudio de categorías de cobertura como centros poblados o edificaciones, cuerpos de agua, vegetación, suelos descubiertos y áreas de cultivo (Figura 3).

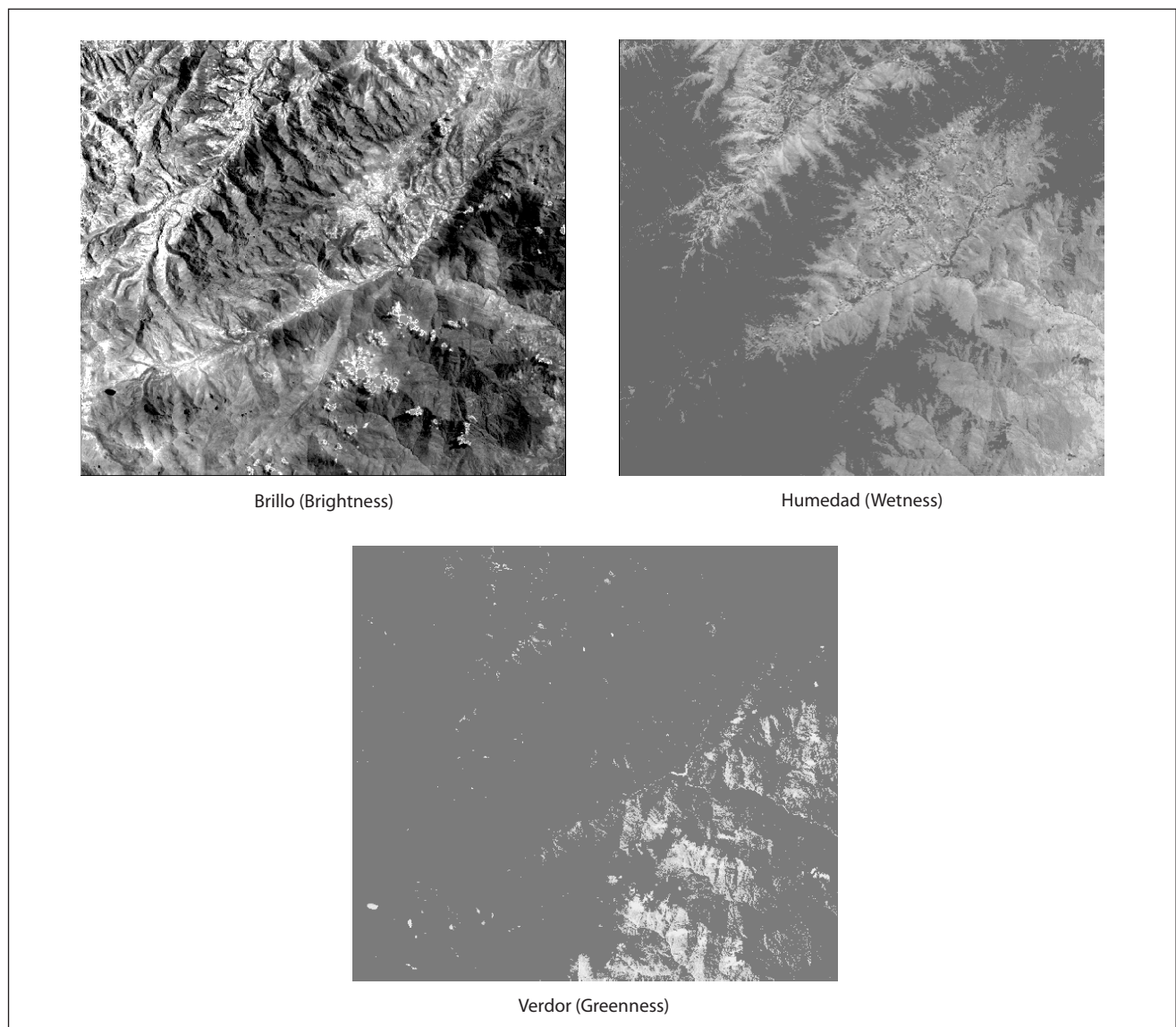
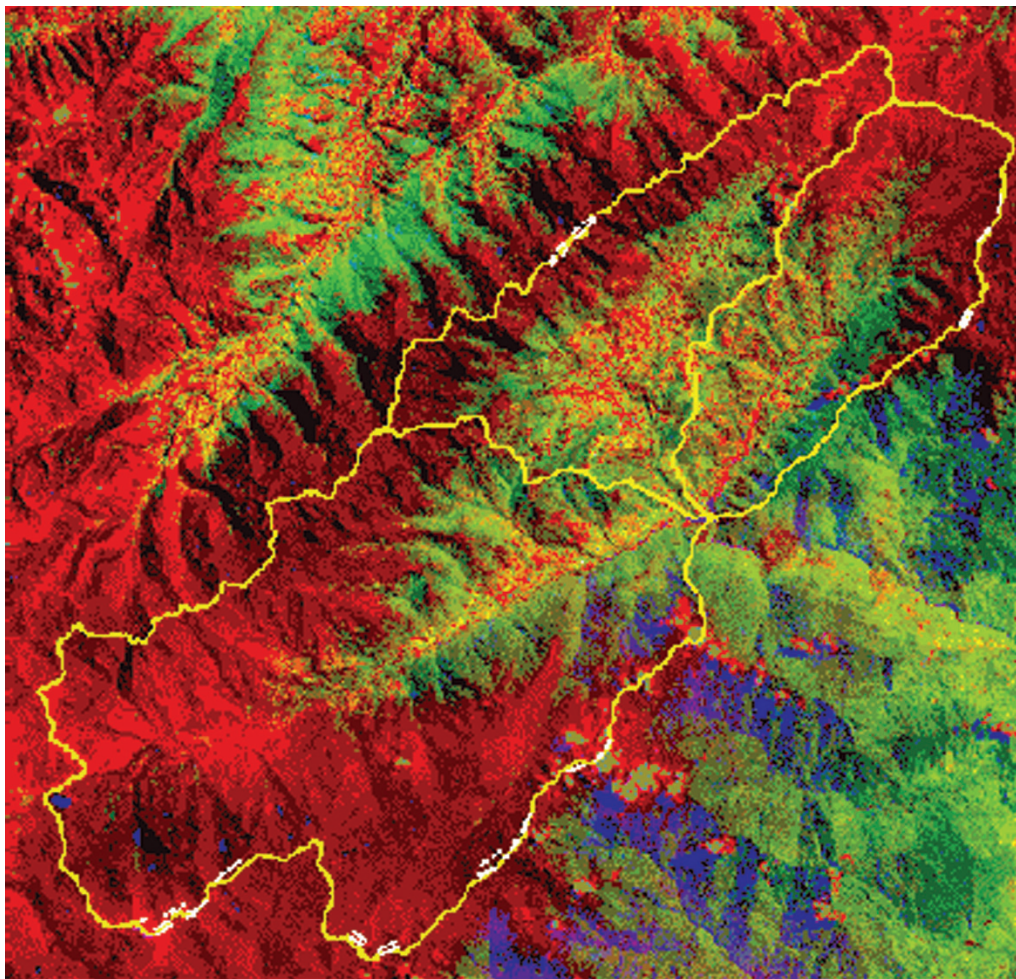


Figura 2. Subimágenes obtenidas de la transformación Kauth-Thomas (Tasseled cap) para la imagen de satélite ETM+ del satélite Landsat, año 2001.



**Figura 3.** Subimagen composición a color con la combinación de las tres bandas (Brillo (Rojo) + Verdor (Verde) + Humedad (Azul)) obtenidas de la transformación Kauth-Thomas (Tasseled cap), imagen de satélite ETM+ del satélite Landsat, año 2001.

Estas operaciones combinadas con la información recabada en el reconocimiento inicial de campo sobre los tipos de cobertura y uso de la tierra existente en la cuenca y la leyenda preliminar establecida inicialmente, permitieron mediante la interpretación visual en pantalla la identificación de las siguientes categorías de uso de la tierra:

- Afloramiento rocoso (Ar)
- Área agropecuaria (Ap)
- Área crítica de erosión (E)
- Área urbana y/o construcción (Au)
- Bosque natural (Bn)
- Bosque plantado (Bp)
- Cuerpo de agua (Ag)
- Matorral (M)
- Páramo (P)
- Suelo descubierto (Sd)

Para validar, reajustar y actualizar los tipos de usos de tierra, se llevaron a cabo tres prospecciones de campo. La verificación se realizó mediante un muestreo aleatorio simple modificado, basado en una variable que tiene distribución binomial (verdadero o falso), así todos los polígonos de la interpretación tuvieron la misma probabilidad de ser elegidos.

Se obtuvo una muestra de sesenta (60) puntos y de acuerdo a su ubicación y accesibilidad, se verificaron en campo cincuenta y siete (57) puntos. Para completar la verificación de la interpretación visual se construyeron las matrices de contingencia o matriz de confusión y se calcularon las exactitudes del usuario y del productor.

En la matriz de confusión las columnas suelen indicar las clases de referencia, y las filas las categorías deducidas de la clasificación o interpreta-

ción (Cuadro 1). La diagonal de esta matriz expresa el número de puntos de verificación en donde se produce acuerdo entre las dos fuentes (imagen clasificada y realidad), mientras los marginales suponen errores de asignación. La relación entre el número de puntos correctamente asignados y el total expresan la fiabilidad global del mapa. Los residuales en columnas indican tipos de cubierta real que no se incluyeron en la clasificación (errores de omisión), mientras los residuales en filas implican cubiertas de la clasificación que no se ajustan a la realidad (error de comisión) (Parra, 2007)

Luego de realizada la verificación en el terreno y evaluada la clasificación, se procedió a corregir las confusiones detectadas en los polígonos de interpretación visual de los usos de la tierra, obteniéndose de esta manera el archivo vectorial definitivo contentivo de la interpretación y clasificación visual para el año 2005.

Estos archivos obtenidos en formato vectorial (uso de la tierra, drenajes, vialidad, etc.) fueron la base para la elaboración del mapa a escala 1:50.000. El diseño del formato cartográfico para el mapa definitivo contiene una red de coordenadas UTM, Datum Geodésico WGS84, título y escala, luego se exportó a un archivo de extensión “.tif” para su impresión.

### 3. Resultados y discusión

Como resultado de la interpretación visual de la imagen y la validación en campo, se obtuvo el mapa de cobertura y uso de tierra (Figura 4) existentes en la cuenca alta del río Santo Domingo, en el cual se identificaron diez (10) clases o tipos de uso de la tierra y cobertura vegetal.

Los tipos de cobertura y uso de la tierra fueron verificados y actualizados al año 2005 mediante las prospecciones de campo, en combinación con la construcción de las matrices de contingencia o matriz de error calculando las exactitudes del usuario y del productor (Cuadro 1).

Como se observa en el cuadro 1, en la mayoría de las clases interpretadas, la exactitud del usuario (ExU) es alta. Este porcentaje le indica al usuario del mapa qué correspondencia existe entre la categoría de uso de la tierra representada en el mapa y la del terreno. Igualmente, se determina que el porcentaje de aciertos por parte del intérprete al clasificar visualmente en la imagen los tipos de uso de la tierra con relación a los que realmente existen en el terreno varía de 75% a 100%, y a este, se le conoce como la exactitud del productor (ExP). Se observa que las mayores confusiones están al clasificar Bosque plantado que se confunde con Bos-

**Cuadro 1.** Matriz de confusión para la clasificación visual sobre la pantalla de un Sistema de Procesamiento Digital de Imágenes. Imagen ETM+, año 2001.

		Clasificación Verificada (Terreno)										Total	ExU	ESA
		Ar	Au	E	Bn	Bp	Ca	M	P	Sd	A			
Clasificación (Imagen)	Ar	3										3	100,0	0,0
	Au		3									3	100,0	0,0
	E			2								2	100,0	0,0
	Bn				4	1						5	80,0	20,0
	Bp					6						6	100,0	0,0
	Ca						2					2	100,0	0,0
	M					1		16	1			18	88,89	11,1
	P								7			7	100,0	0,0
	Sd									2		2	100,0	0,0
	A										1	9	88,9	11,1
	Total		3	3	2	4	8	2	16	8	2	8	57	
ExP		100,0	100,0	100,0	100,0	75,0	100,0	100,0	77,8	100,0	100,0			
ESE		0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	0,0	0,0	22,2	0,0	0,0			

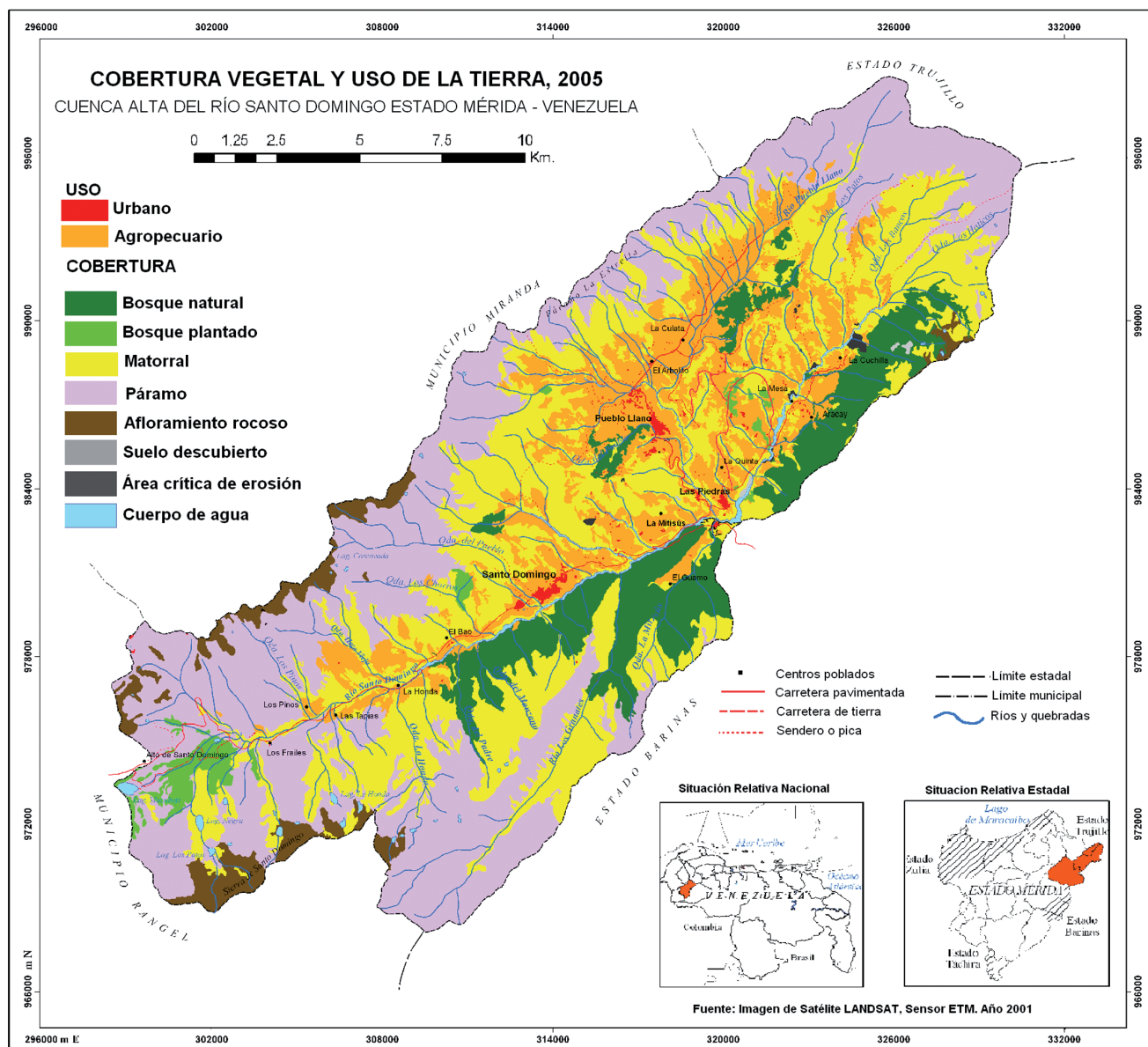


Figura 4. Mapa de cobertura y uso de la tierra de la cuenca alta del río Santo Domingo.

que natural y Matorral, y el Páramo, que presenta confusión con Área agropecuaria y también con Matorral.

La superficie cubierta por los distintos tipos de vegetación y uso de la tierra se estimaron a través del software TNT Mips 6,5 (Cuadro 2 y Figura 4). La cuenca alta del río Santo Domingo comprende 41.724,8 hectáreas. Por su auto ecología, es la formación Páramo (P) la que cubre mayor superficie con 14.567 ha, lo que representa aproximadamente el 35% del área de la cuenca, seguido de la formación matorral con el 32% del área, es decir cubre una superficie de 13.369,3 ha, las formaciones foresta-

les entre bosques naturales y bosques plantados (plantaciones forestales), solo cubren aproximadamente el 12% del área de la cuenca (Bosque natural 10,15% (4.235,4 ha), Bosque plantado 1,67% (698,4 ha). Alrededor del 16% de la superficie de la cuenca esta destinada a cultivos generalmente (horticultura), aunque la categoría fue clasificada como área agropecuaria. Los demás usos de igual importancia pero de menor proporción son los afloramientos rocosos 3,70%, Cuerpos de agua 0,83%, Área urbana y/o construcción (Au) 0,50%, Área crítica de erosión (E) 0,13% y por último Suelo descubierto (Sd) con 0,07% del total del área de la cuenca.

**Cuadro 2.** Superficie de la cuenca desglosado por usos de la tierra.

Tipos de cobertura y uso de la tierra	Superficie (ha)	Proporción de la cuenca (%)
Suelo descubierto (Sd)	28,6	0,07
Área crítica de erosión (E)	55,9	0,13
Área urbana y/o construcción (Au)	208,1	0,50
Cuerpo de agua (Ag)	347,8	0,83
Bosque plantado (Bp)	698,4	1,67
Afloramiento rocoso (Ar)	1.544,1	3,70
Bosque natural (Bn)	4.235,4	10,15
Área agropecuaria (Ap)	6.670,2	15,99
Matorral (M)	13.369,3	32,04
Páramo (P)	14.567,0	34,91
Total	41.724,8	100,00

#### 4. Conclusiones

La tecnología de percepción remota tiene un potencial muy importante para aplicaciones prácticas y en especial en la determinación de la cobertura vegetal y uso de la tierra en cuencas altas tropicales. Las imágenes satelitales de alta resolución espacial mejoradas, permiten desarrollar y comprobar técnicas de interpretación que optimizan el análisis visual en pantalla de las imágenes multispectrales. Sin embargo, se observó que por ser la zona de estudio un área montañosa, en la imagen de satélite se presenta problemas de sombras que originan confusiones para la interpretación visual en pantalla, generando clasificaciones erróneas del uso de la tierra.

Las nuevas imágenes Brillo, Verdor y Humedad generadas por la aplicación del método Kauth-Thomas (Transformación Tasseled Cap) contribuyeron en gran medida en el reconocimiento de las clases de uso de la tierra identificables visualmente en pantalla sobre la imagen ETM+ del satélite Landsat, mejorada. Esto permite detectar más fácilmente cambios en el uso de la tierra si se compara o analiza con imágenes del mismo sensor pero diferentes fechas de adquisición.

Por otro lado, este estudio dio lugar a un inventario de la situación actual de la cobertura y uso de la tierra de la cuenca alta del río Santo Domingo. Con la interpretación visual en pantalla y el uso del software TNT Mips, en combinación con los levantamientos de campo, fue posible identificar y describir los tipos encontrados. Estos resultados, pueden ser utilizados como información de referencia base, fundamental para los organismos públicos

y/o privados responsables de la toma de decisiones para la planificación, manejo integral, recuperación y conservación de la cuenca, así como en el proceso del diseño del respectivo plan de ordenación del territorio, que conduzcan al aprovechamiento racional y la preservación de sus recursos naturales.

#### 5. Referencias bibliográficas

- CHUVIECO, E. 1996. *Fundamentos de teledetección espacial*. 3ª ed. revisada. Ediciones Rialp, S.A. Madrid. 594 p.
- GUEVARA, J. y YANEZ, A. 1975. *Complejo Hidroeléctrico General José Antonio Páez. Sedimentos en el embalse*. Mimeografiado. Caracas, Venezuela. 32 p.
- LILLESAND, T. y R. KIEFER. 1999. *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley and Sons, Inc. 724 p.
- MARNR. 1980. *Estudio de vegetación, uso actual e índice de protección vegetal de la cuenca alta del río Santo Domingo*. División de Información e Investigación del Ambiente. Zona 7. Estado Trujillo, Venezuela. 125 p.
- MORENO, F., L. RAMIREZ y R. CAMINO. 1991. *Ensayo sobre evaluación económica-financiera de un proyecto de plan integral de conservación de cuencas altas: caso río Santo Domingo*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. División de Planificación y Ordenación del Ambiente. Mimeografiado. Mérida, Venezuela. 45 p.
- PARRA, A. 2007. *Manual procesamiento digital de imágenes de satélites con ENVI*. Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Instituto de Fotogrametría. Mérida, Venezuela. 15 p.
- TRFIC, GOES y ESIPFED. 2005. Landsat.org. En línea: <http://www.landsat.org/> [Consultado: 17/02/2005].