

CLASIFICACION AUTOMATIZADA DE LA VEGETACION DE LA RESERVA FORESTAL DE TICOPORO MEDIANTE IMAGENES HRV SPOT

Ennio Pozzobon

Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Laboratorio de Fotogrametría y Sensores Remotos, Mérida-Venezuela. E-mail: pozzobon@forest.ula.ve

RESUMEN

El presente estudio comprendió la aplicación de un algoritmo de clasificación automatizada, de forma supervisada, a una imagen multiespectral HRV del satélite SPOT que cubre la Reserva Forestal de Ticoporo, Estado Barinas, Venezuela, tomada en marzo de 1989, con la finalidad de producir información sobre los tipos de vegetación existentes en el área, haciendo énfasis en sus características fisionómico - estructurales (altura y densidad de cobertura). Para tal fin se seleccionó, dentro de la reserva, un área en condiciones de vegetación natural, en donde se aplicó el algoritmo de clasificación automatizada (maximum likelihood methods). Se pudo diferenciar cinco tipos de vegetación boscosa, los matorrales, la vegetación herbácea, los cuerpos de agua y las áreas sin cobertura vegetal (suelo descubierto). La evaluación de la clasificación arrojó una exactitud general del 87,2 %, con un coeficiente Kappa del 86,3 %, considerándose los valores obtenidos como altamente satisfactorios.

Palabras clave: Clasificación automatizada, Reserva Forestal de Ticoporo, imagen multiespectral SPOT.

ABSTRACT

This study comprised the application of an automated supervised classification algorithm to an image multiespectral HRV-SPOT of the Ticoporo Forest Reserve, Barinas State, Venezuela. The goal was to produce information about the types of vegetation present in the area making emphasis in the physiognomic-structural characteristics (height and cover density). We could differentiate five classes of forest vegetation, the bushes, the herbaceous vegetation, the water bodies and the non-vegetated areas. The evaluation of the classification dash a general accuracy of 87,2 % with a Kappa coefficient of 86.3 % and these values can be considered highly satisfactory.

Key words: Automated Clasification, Ticoporo forest reserve, SPOT image.

INTRODUCCIÓN

Las imágenes multiespectrales satelitales de alta resolución espacial son cada día más utilizadas en el levantamiento cartográfico de las distintas variables que conforman la superficie terrestre; dentro de ellas las coberturas boscosas tropicales. El carácter multiespectral (diferentes rangos espectrales) de las imágenes multiplica la posibilidad de extracción de información.

El principal objetivo del presente trabajo consistió en producir a través de la interpretación digital de imágenes multiespectrales del barredor HRV del sistema SPOT, información sobre los tipos de cobertura vegetal existentes en la Reserva Forestal de Ticoporo, Estado Barinas, Venezuela, haciendo énfasis en las características fisionómico-estructurales de la vegetación (altura y porcentaje de cobertura). Para tal fin se seleccionó dentro de la

reserva un área en condiciones de vegetación natural donde se aplicó el algoritmo de clasificación supervisada de máxima verosimilitud (Maximum Likelihood).

El área seleccionada consistió de un rectángulo de 52.000 ha aproximadamente ubicada en la parte sur de la reserva. (Ver figura 1).

Las imágenes multiespectrales HRV constan de tres bandas, correspondiéndose dos en el rango visible y una en el infrarrojo cercano. La imagen utilizada fue tomada en marzo de 1989 durante la época seca. Con ella se elaboró una composición a falso color en el sistema de procesamiento digital de imágenes empleado. El procesamiento digital de la imagen HRV fue realizado empleando el sistema de procesamiento digital MIPS (Maps and Image Processing System), versión 3.0.

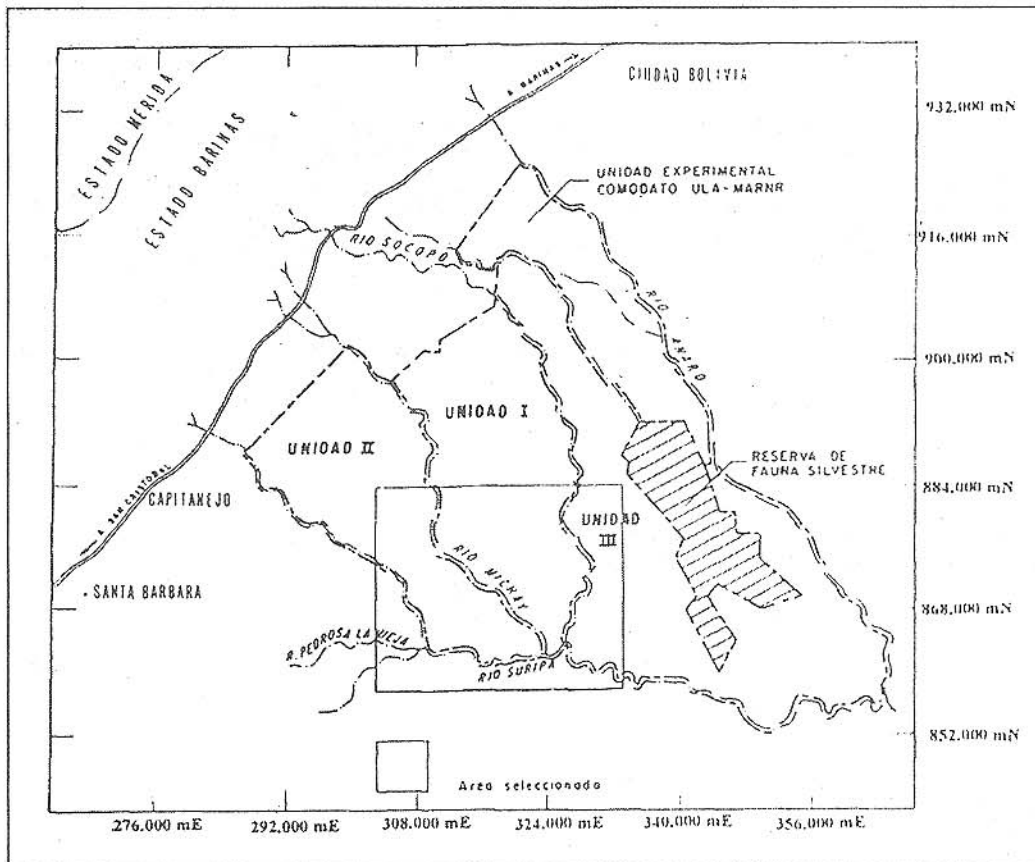


Figura 1. Ubicación relativa del área de estudio, dentro de la Reserva Forestal de Ticoporo, estado Barinas.

Descripción general del área de estudio

Ubicación política

La Reserva Forestal de Ticoporo fue decretada en 1955, según Resolución N° 56 de fecha 27/06/55 y publicada en Gaceta Oficial N° 24.788 del 06/07/55. Está ubicada en jurisdicción de las Parroquias Ciudad Bolívar y Santa Bárbara del Municipio Autónomo Pedraza, en el estado Barinas.

Ubicación geográfica

Se encuentra ubicada entre los meridianos $70^{\circ} 19' 00''$ y $70^{\circ} 46' 57''$ de longitud oeste y entre los paralelos $7^{\circ} 43' 00''$ y $8^{\circ} 12' 00''$ de latitud norte. Ver figura 2.

División administrativa

Desde sus inicios la Reserva ha tenido problemas legales debido a invasiones, motivo por el cual han cursado dos desafectaciones, la primera en el año de 1959, de 40.000 ha, y la segunda en el año 1972 de 43.000 ha, para un total de 83.000 ha, que fueron transferidas al IAN con fines de Reforma Agraria.

La superficie oficial actual de la Reserva Forestal de Ticoporo es de 187.156 ha, de las cuales 146.075 ha están en régimen de concesión con contratos administrativos a largo plazo a empresas privadas y mixtas. En la reserva existen cuatro unidades de manejo forestal. La Unidad I, de 45.000 ha, cedida a la empresa Emifoca en junio de 1982, es la unidad que ha sufrido más severamente las invasiones agropecuarias, habiendo desaparecido más del 90 % de la vegetación boscosa original. La Unidad II, con una superficie de 40.775 ha, fue otorgada a la empresa CONTACA en marzo de 1970. En ella cohabitan plantaciones de teca, bosques manejados, áreas explotadas, áreas en explotación y zonas donde supuestamente queda vegetación original. La Unidad III de 60.300 ha, fue otorgada a la empresa EMALCA en julio de 1972. Esta unidad presenta relativamente mayores problemas de invasiones que la unidad II (Arends, 1993). En esta unidad se pueden apreciar áreas de bosques manejados, plantaciones de apamate y áreas no intervenidas de vegetación natural. Hacia el



Figura 2. Ubicación relativa de la Reserva Forestal de Ticoporo.

sudeste de la unidad se localizan las Sabanas de Anaro, con una extensión de 12.000 ha, decretada Refugio de Fauna Silvestre, siendo utilizada actualmente con fines pecuarios, aunque en forma extensiva. La Unidad IV o Área Experimental cedida en Comodato a la Universidad de Los Andes por el MARNR en diciembre de 1982, inicialmente contaba con 24.000 ha. Hoy día solo cuenta con aproximadamente 1.200 ha como consecuencia de las numerosas invasiones. En esta unidad se desarrollan proyectos de ganadería y agroforestería, así como el manejo de las plantaciones de teca allí existentes.

Características ecológicas

La reserva está enmarcada dentro de la zona de vida bosque seco tropical, según Holdridge (Ewel y Madriz, 1976) y bosque tropófito macrotérmico según Pittier (Toro, 1993). Sin embargo, se le considera una transición entre el bosque seco tropical y el bosque húmedo tropical

Características edafológicas

Los suelos se han desarrollado a partir de sedimentos aluviales provenientes de la Cordillera de Los Andes y depositados por los ríos Zapa, Michay, Socopó, Acequias, Quiú, Bum Bum y Suripá (Ochoa, 1983).

La planicie aluvial de estos ríos se caracteriza por su topografía ligeramente inclinada en dirección NW-SE, con pendientes generales inferiores al 1%, haciéndose cada vez más plana a medida que se aleja del piedemonte.

Los suelos de Ticoporo, en forma general, presentan problemas en su aprovechamiento debido

a las inundaciones periódicas, texturas finas y baja permeabilidad. Comúnmente se encuentran suelos de buena calidad en los ejes de sedimentación (bancos), con suelos arcillosos con problemas de drenaje hacia las partes bajas (bajíos). Las condiciones topográficas le confieren al área una baja capacidad de evacuación del agua, tendiéndose en general al drenaje lento, a niveles freáticos altos y a estados de saturación periódicos en el suelo. El clima, caracterizado por una marcada estacionalidad de las lluvias y un intenso período de sequía, determina un exceso de agua en la época de lluvias y un déficit en la de sequía. Ello, sumado a la topografía determina la inundación de grandes sectores del área y la saturación de los suelos, manteniéndose bien drenados sólo los sectores altos en posición de banco. Durante la sequía, tanto los suelos muy arenosos como los muy arcillosos, ofrecen por sus condiciones físico-hidrológicas, una reducida oferta de agua a la vegetación (Franco, 1988).

Características climáticas

Se considera que toda el área de piedemonte y llanera, correspondiente a los Llanos Altos Occidentales, presentan una temperatura media anual de 26,4 °C, oscilando entre los 24 y 28 °C. El promedio de precipitación anual es de 1900 mm, muy irregular en su distribución durante el año (Castillo, 1971).

METODOLOGÍA

Materiales y Equipos

Se empleó una imagen multiespectral de 20 m de resolución, obtenida a través del sensor HRV del sistema SPOT, registrada en tres bandas del espectro electromagnético, tomada en marzo de 1989. Esta imagen no tenía problemas de nubosidad y en ninguna de sus bandas tenía defectos. Adicionalmente se emplearon fotografías aéreas pancromáticas, a escala 1/25.000 de la misión 050370 tomadas en 1976 y fotografías aéreas de pequeño formato (70 mm) color normal, a escala 1/12.000, tomadas en mayo 1992. Como material de apoyo cartográfico se utilizó cartas base del Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional, actualmente Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar, de fotoíndices y mapas de tipificación de la vegetación boscosa de la zona.

Para realizar la clasificación automatizada de la vegetación sobre la imagen SPOT se utilizó el sistema de procesamiento digital de imágenes MIPS, versión 3.0 instalado en el Laboratorio de Fotogrametría y Sensores Remotos de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. En la interpretación de las fotografías aéreas se emplearon estereoscopios de espejos y en el trabajo de campo, estereoscopios de bolsillo.

Clasificación supervisada

El algoritmo de clasificación supervisada empleado fue el de Máxima Verosimilitud (Maximum Likelihood Algorithm). Los algoritmos de clasificación automatizada pueden ser agrupados en dos categorías: paramétricos y no paramétricos. El algoritmo de máxima verosimilitud es de tipo paramétrico, el cual asume que los datos presentan una distribución normal o Gaussiana. Esto permite describir cada categoría a través de una función de probabilidad, a partir de su vector de las medias y de la matriz varianza-covarianza (Chuvieco, 1990). El clasificador de máxima verosimilitud es uno de los más preciso, ya que hace uso de la teoría de probabilidades para asignar los píxeles a los diferentes tipos de cobertura (clases) existentes en el área. Sólo es necesario conocer la media y la desviación típica de cada clase para calcular la probabilidad de que un determinado píxel le pertenezca.

En forma general puede decirse que el objetivo de cualquier clasificación de la vegetación es simplificar la gran heterogeneidad existente en las comunidades vegetales, agrupándolas en clases lo más homogéneas posibles. Para ello es necesario definir un conjunto de coberturas o clases, las cuales deben ser lo más disimiles entre sí, e internamente cada una de ellas debe tener cierto grado de homogeneidad entre sus miembros.

La clasificación supervisada supone que el analista cuenta con un conocimiento previo sobre la zona bajo estudio, el cual le permitirá identificar sobre la imagen "áreas piloto" o "áreas de entrenamiento" de cada una de las distintas categorías. A partir de los datos (valores de brillantez leídos en la imagen) obtenidos para estas áreas, el algoritmo calcula los parámetros estadísticos que definen cada una de las clases, para posteriormente asignar el resto de los píxeles del área bajo estudio a

la categoría correspondiente en función de su reflectancia espectral.

En el presente estudio, para la selección de las muestras de entrenamiento, representativas de cada clase, se emplearon fotografías aéreas a escala 1/25.000, sobre las que se determinó la ubicación espacial de cada muestra y posteriormente se identificó cada una sobre la imagen satelitaria. Las muestras fueron tomadas en forma concentrada, formando pequeños bloques o grupos.

La evaluación de las muestras de entrenamiento se realizó mediante la aplicación de un algoritmo clasificador, obteniéndose una matriz de contingencia; para tal fin fueron seleccionadas 521 muestras, en quince (15) clases espectrales, con un promedio de 34,7 muestras por clase, se obtuvo una exactitud general del 94,80 %. En las clases 1,2,3,4,5,6,7 y 10 la exactitud estuvo en un 100 %, la clase de menor exactitud fue la número 13 con un 73%, confundiendo ocho píxeles muestra con la clase 2 y dos píxeles con la clase 7. Tal como puede observarse en el cuadro 1.

Una vez obtenidas y evaluadas las muestras de entrenamiento, se procedió a aplicar el algoritmo clasificador supervisado. Las clases resultantes de la clasificación fueron reagrupadas en nueve clases definitivas de información mediante el uso de gráficos bi-dimensionales. Los valores promedios (medias) de cada una de las clases espectrales pueden ser ploteados en un espacio n-dimensional. Cuando diversos valores son ploteados, es común que valores similares se localicen juntos espacialmente, formando lo que se denomina una nube de puntos o grupo, cada grupo corresponde a una cobertura específica del terreno (clase), estas coberturas o clases pueden, a veces, ser diferenciadas. Generalmente se colocan los valores de reflectancia de las diferentes bandas del sistema en los ejes (X,Y,Z) del sistema de referencia empleado.

En la Figura 3, los gráficos bi-dimensionales se plotean las medias de cada clase espectral correspondientes a cada una de las bandas empleadas en la clasificación, para ello se utilizan combinaciones de bandas de dos en dos.

Para mejorar la apariencia final de la clasificación resultante se aplicó un procedimiento de suavización mediante la técnica del filtraje mayoritario. Para tal fin Rojas, (1992) desarrolló un programa en lenguaje SML, en donde el mecanismo operaba con una ventana de 3 x 3 píxeles, en donde se aplicó un factor de cambio de 5. Pernía, (1992) menciona la técnica

Cuadro 1. Matriz de contingencia para la evaluación de las muestras de entrenamiento.

	CLASES EN EL TERRENO															
	Total Precisión	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Clase 1	33	1,00	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clase 2	34	1,00	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clase 3	34	1,00	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clase 4	34	1,00	0	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clase 5	35	1,00	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clase 6	35	1,00	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0
Clase 7	35	1,00	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0
Clase 8	36	0,92	0	0	0	3	0	0	0	33	0	0	0	0	0	0
Clase 9	34	0,94	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	2	0	0
Clase 10	33	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	0	0	0	0
Clase 11	31	0,94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	2	0	0
Clase 12	31	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0
Clase 13	37	0,73	0	8	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	27	0
Clase 14	32	0,91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29
Clase 15	45	0,84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	38

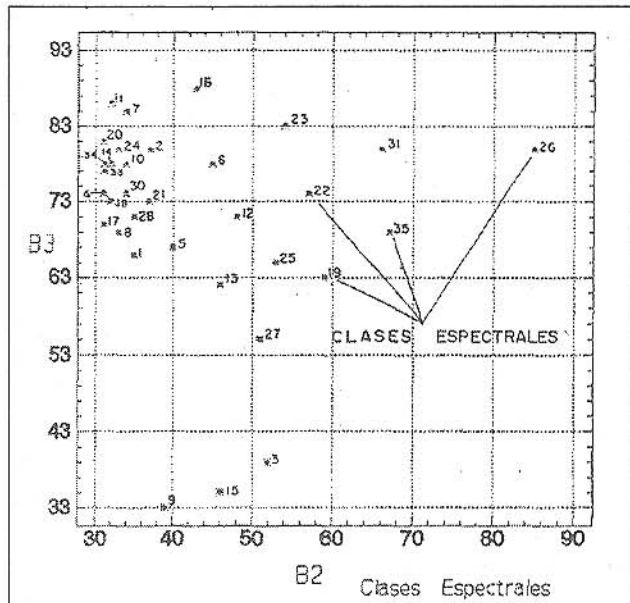


Figura 3. Clasificación Supervisada Definitiva de la Reserva Forestal de Ticoporo

del área mínima (Davis y Poet, 1976; Schowengerdt, 1983) y la técnica del filtraje mayoritario (Schwengerdt, 1983) como las técnicas automatizadas de suavización más conocidas y eficientes.

Con el objetivo de comprobar la posibilidad de discriminar los tipos de bosque de acuerdo a su altura y densidad, se realizaron dos fotocroquis, relativos a las distintas coberturas vegetales existentes en la

zona bajo estudio, en los cuales se estratificó la vegetación de acuerdo a su altura (alto, medio, bajo) y densidad de cobertura (denso, medianamente denso y ralo), a partir de fotografías aéreas pancromáticas, a escala 1/25000 y fotografías aéreas de 70 mm a color normal a escala 1/12.000 para el área comprendida entre los ríos Suripá, Quiú y Michay y para el área comprendida entre los ríos Suripá y Socopó. De estos fotocroquis se extrajo información individual referente a cada una de las características fisionómicas siguientes: altura, densidad de cobertura y diámetro de copa. Esta información se comparó con la información aportada por la clasificación.

RESULTADOS

La imagen con la clasificación supervisada final puede ser vista en la Figura 3, y las clases de información definitivas obtenidas fueron los siguientes:

- I) **Cuerpos de agua.** En esta clase fueron incluidas las diversas formas de depósito y desagües de escorrentia superficial, caños, lagunas, lagunetas, áreas inundadas (esteros, zonas de prestamos, madre-viejas, etc.), cauces de agua.
- II) **Matorral.** Clase compuesta por vegetación remanente arbustiva, medianamente densa a

rala, matorral producto de la intervención antrópica sobre el bosque y también por la vegetación secundaria (vegetación establecida en áreas desmontadas, taladas) presente.

III') Pastizal / Cultivos. Cobertura conformada por herbazales naturales, potreros limpios, potreros arbolados y áreas dedicadas a la agricultura.

Aun cuando fue posible diferenciar las áreas dedicadas a la agricultura (cultivos) de los potreros (actividad pecuaria) no se consideró necesario su separación en la clasificación final debido a los objetivos del estudio, por lo tanto estas dos clases espectrales fueron incluidas juntas en esta clase de información.

IV') Suelo descubierto. En esta clase fueron incluidas las áreas desprovistas de vegetación, tales como: picas, caminos, campos de rolas, intersección de vías, zonas de préstamo de material, etc.

V') Bosque tipo 1. Fisionómicamente son bosques bajos, de densos a ralos, situados en áreas de inundación prolongada, los cuales son conocidos en la región como cáchales. Se localizan en áreas con problemas de drenaje externo y permeabilidad lenta en el perfil, sujetas a inundación en la época lluviosa.

VI') Bosque tipo 2. Clase formada por bosques siempreverdes, de buen desarrollo, de altura media a alta, de copas medianas a grandes y con densidades de cobertura que van desde densa a medianamente densa, localizados hacia las zonas de banco y sub-banco. El sotobosque es denso, tupido, con presencia de lianas, bejucos, aráceas, y formas de vida epífitas. Las especies más frecuentes son: *Tabebuia rosea* (apamate), *Bombacopsis quinata* (saqui saqui), *Astronium graveolens* (gateado), *Pouteria reticulata* (chupón), *Brosimum alicastrum* (charo amarillo), etc.

VII') Bosque tipo 3. Bajo esta denominación se encuentran incluidos los bosques de galería, los bosques mediana y fuertemente intervenidos y la vegetación arbórea de la transición bosque / sabana. Se localizan siguiendo los principales cursos de agua de la zona, estando también diseminados por los alrededores de los caños que atraviesan las distintas unidades de manejo. Entre las especies más comunes presentes se encuentran: *Montanoa cuadrangularis* (anime), *Sterculia pruriens* (majagua),

Ochroma pyramidale (balso), *Phitecolobium falconense* (palo e hierro), etc.

VIII') Bosque tipo 4. Son bosques de desarrollo mediano a bajo en áreas inundables localizados en la cercanía de las áreas de decantación, pero sin entrar en ellas y, en algunas ocasiones, entremezclados con estas áreas, formando un verdadero mosaico. Entre las especies más frecuentes están: *Cecropia peltata* (yagrumo), *Ochroma pyramidale* (balso), *Terminalia oblonga* (guayabon), etc. Se aprecia la presencia de palmas.

IX') Bosque tipo 5. Bajo esta clase se agrupan los bosques subsiempreverdes, de mediano a buen desarrollo, de copas medianas, con presencia de palmas en todos los estratos principalmente del género *Attalea* en los pisos superiores y medio, y palmas del género *Bactris* en los pisos inferiores. El sotobosque es denso y en él se localiza abundante regeneración de especies pioneras en los claros. Generalmente se localizan alejados de los cursos regulares de agua, pero sin entrar en la zona de decantación. Las especies más comunes son: *Pouteria reticulata* (chupón), *Aniba sp* (laurel), etc.

En el proceso de clasificación se observó que las sabanas arboladas se confundieron espectralmente con áreas en donde hubo intervención antrópica fuerte, también con zonas recién desmontadas para establecimiento de potreros y con áreas de vegetación rala, razón por la cual todos estos tipos de vegetación fueron incluidos en una misma clase espectral, que dio origen a la clase de información definitiva denominada matorral. De modo similar la vegetación secundaria se confundió con la vegetación remanente de las áreas intervenidas. La vegetación secundaria en el área de estudio se presentó en diferentes grados de la sucesión vegetal, mientras que la vegetación remanente presenta diversos grados de intervención antrópica. Ambas formaciones fueron incluidas en la clase "matorral".

Los bosques de galería tienden a confundirse espectralmente con los bosques medianamente intervenidos. Ambos están incluidos en la clase "Bosque tipo 3".

Se caracterizaron cinco tipos de bosque, diferenciándose sobre todo en el grado de vigorosidad de los mismos. Las clases de información obtenidas están estructuradas por un conjunto de formaciones con respuesta espectral similar.

Cuadro 2. Superficie ocupada por las clases de información obtenidas en la clasificación.

Clases de información	Ha	%
Cuerpos de agua	853,1	1,6
Pastizal-Cultivos	4915,6	9,5
Matorral	650,0	1,3
Suelo descubierto	121,9	0,2
Bosque tipo 1	407,0	0,7
Bosque tipo 2	2681,3	5,2
Bosque tipo 3	1412,9	2,7
Bosque tipo 4	2437,5	4,7
Bosque tipo 5	38520,7	74,1
Total	52.000,0	100

Del cuadro 2 se puede apreciar que el bosque tipo 5 es el más abundante en la zona, abarcando 38.520,7 ha (74,1% del área total), este bosque se encuentra hacia los compartimientos 24, 26, 28, y 30 de la Unidad II y los compartimientos 15, 16 y 17 de la Unidad III. En el segundo lugar de superficie se encuentra el bosque tipo 2 con 2.681,3 ha (5,2%) hacia los compartimientos 26 y 29 de la Unidad II.

Los bosques de galería se ubican en una faja que sigue el curso del río Suripá, abarcando 1.412,9 ha (2,7%).

Los **cáchales** abarcan 407 ha (0,7%) y se localizan hacia el compartimiento 27 de la Unidad II. Los matorrales se sitúan en la parte sur de la Unidad I, con 650 ha (1,3%) y los pastizales hacia la margen derecha del río Suripá (fuera de la reserva) y en la Unidad I. La clasificación fue evaluada a través de una muestra de 216 puntos de chequeo, tomados al azar, mediante el uso de una tabla de números aleatorios. De estos 216 puntos se desecharon cinco, ya que no se disponía de cobertura fotográfica para su identificación. Se evitó la autocorrelación, es decir, desestimándose todo punto que estuviese ubicado a una distancia de 10 píxeles de otro previamente seleccionado.

La evaluación se realizó comparando las clases resultantes en el proceso de clasificación con las clases reales en el terreno. Para determinar la clase real en el terreno se emplearon fotografías aéreas, de escala 1/25.000, en combinación con reconocimientos de campo. Los datos de la evaluación fueron organizados en tablas de contingencia.

Cuadro 3. Matriz de Contingencia elaborada a partir de la Clasificación supervisada

Clasificación	Clases en el terreno									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
1	14	0	1	0	0	0	0	0	0	015
2	0	19	2	1	0	0	2	0	0	24
3	3	2	39	0	2	0	0	1	0	47
4	0	0	1	19	0	0	0	3	0	23
5	0	0	1	0	10	0	0	0	0	11
6	0	0	0	1	0	26	0	0	0	27
7	0	0	0	0	0	1	12	0	0	13
8	0	0	1	0	0	0	0	13	0	14
9	0	3	0	2	0	0	0	0	32	37
Total	17	24	45	23	12	27	14	17	32	211

El número de puntos correctamente clasificados fue de 184 de un total de 211 para una exactitud general del 87,2 %, como un simple porcentaje de puntos correctamente clasificados.

Cuadro 4. Evaluación obtenida en la matriz de contingencia.

Clase	Exactitud De clase %	Kappa (Coef) %	Error Comisión	Exactitud usuario %	Error Omisión	Exactitud Productor %
1	93.3	92.7	6.7	93.3	17.6	82.3
2	79.2	76.5	20.8	76.1	20.8	79.1
3	82.9	78.4	31.9	82.9	13.3	86.6
4	82.6	80.5	17.4	82.6	17.4	82.6
5	90.9	90.4	9.0	90.9	16.6	83.3
6	96.3	95.8	3.7	96.3	3.7	96.3
7	92.3	91.8	7.7	92.3	14.3	85.7
8	92.9	92.2	7.1	92.8	23.5	76.4
9	86.5	84.1	13.5	86.4	23.5	76.4

Del cuadro 4 podemos apreciar que la clase 6 (bosque tipo 2) obtuvo la mayor exactitud con 96,3% y con coeficiente Kappa de 95,8%. De un total de 27 puntos muestrales fueron bien clasificados 26 de ellos. La clase 2 (matorral) obtuvo la exactitud menor con 79,2% y coeficiente Kappa de 76,5 %, el mayor y menor error por comisión lo tuvieron las clases 3 (pastizal-cultivos) y la 6 (bosque tipo 2) respectivamente. De un total de 13 píxeles clasificados dentro de la clase 7 (bosque tipo 3) un píxel fue erróneamente clasificado siendo de la clase 6 (error comisión) y dos píxeles de la clase 7 fueron clasificados como de la clase 2 (error de emisión).

CONCLUSIONES

Con el uso de la imagen HRV de SPOT, bandas 1, 2, y 3 del año 1989 (resolución espacial de 20 m) y mediante la aplicación del algoritmo de clasificación supervisada empleado se pudo discriminar cinco clases diferentes de bosques en el área bajo estudio. Dichas clases de bosques están conformadas por tipos variados de vegetación arbórea en cuanto a sus características estructurales (altura y densidad de cobertura) se refiere. Esto se debe, en gran parte, a la gran heterogeneidad que presentan los bosques de la Reserva Forestal de Ticoporo, variabilidad que se manifiesta en la riqueza de su composición florística, diferencias en cuanto a la edad de los árboles, altura, diámetro de copa, formas de vida presentes, estratificación vertical del bosque, porcentaje de cobertura, etc. Bosques tan heterogéneos presentan entonces una amplia gama de posibilidades de captación por parte de los sensores de alta resolución (20 m), lo cual influye de manera negativa cuando se requiere cartografiarlos a un nivel detallado. Además, el porcentaje de reflectancia, detectado por el sensor, de los diferentes tipos de cobertura del terreno, también está influenciado por factores atmosféricos (nubosidad, bruma), por la elevación solar, resolución espacial, las propiedades ópticas del sotobosque, características del suelo subyacente, la geometría del dosel, etc. El análisis de la influencia de cada uno de estos factores escapa a los objetivos del presente trabajo. La información obtenida (tipos de vegetación) puede considerarse como útil para levantamientos a nivel de reconocimiento o exploratorio.

Mediante el algoritmo de clasificación empleado no pudo obtenerse información consistente sobre las características fisionómico-estructurales de los bosques en lo que respecta a altura y densidad de cobertura.

AGRADECIMIENTO

Mediante la presente deseo agradecerle al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico. (CDCHT) de la Universidad de Los Andes el financiamiento del proyecto codificado como FO-257-91 gracias al cual se hizo posible esta publicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARENDS, E. 1993. *Comunicación personal*. INDEFOR. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales.
- ARONOFF, S. 1985. The Minimum Accuracy Value as an Index of Classification Accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 51,1: 99-111.
- BOLSTAD, P. y T. LILLESAND. 1991. Rapid Maximum Likelihood Classification. *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*, 57,1: 67-74.
- EWEL J. y A. MADRIZ. 1976. *Zonas de Vida de Venezuela. Memoria Explicativa sobre el Mapa Ecológico*. Ministerio de agricultura y Cría. Fondo Nacional de Investigación Agropecuarias. Editorial Sucre. Segunda Edición.
- FRANCO, W. 1981. *Los suelos del lote Boscoso San Pedro y Reserva Forestal de Imataca, Guarapiche y Ticoporo*. Trabajo de Ascenso. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Instituto de Silvicultura. Mérida.
- HUDSON, D. y W. RAMM. 1987. Correct Formulation of the Coefficient of Agreement. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53,4: 21-422.
- OCHOA, G. 1983. *Caracterización Mineralógica y Génesis de una Secuencia de Suelos desarrollada en Depósitos Aluviales del río Socopó, Ticoporo, Estado Barinas*. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Mérida.
- PERNÍA, E. 1993. *Caracterización de la Vegetación de la Reserva Forestal Caparo a través del Procesamiento Digital de Imágenes TM de Landsat*. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Mérida.
- PITTIER, H. 1938. Clasificación de los Bosques. *Boletín de la Sociedad de Ciencias Forestales*, Tomo IV, N° 30. Caracas.
- ROJAS, J. 1992. Programas en Lenguaje SML para la Suavización de Clasificaciones. *Documento interno*. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Mérida.
- ROSENFELD, H. y L. FITZPATRICK. 1986. A Coefficient of Agreement as a Measure of Thematic Classification Accuracy. *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*, 52,2: 223-27.
- SCHOWENGERDT, R. A. 1983. *Techniques for image processing and Classification in Remote Sensing*. Academic Press INC. Harcourt Brace Jovanovich Publishers.