

EMPLEO DE LA TELEDETECCIÓN EN EL ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN TROPICAL: EL CASO DE LA RESERVA FORESTAL DE TICOPORO (VENEZUELA)

Emilio Chuvieco; Javier Salas y Enrique Meza

Departamento de Geografía - Universidad de Alcalá

Antiguo Colegio de Málaga

C/. Colegios, 2

28801 - Alcalá de Henares

España

emilio.chuvieco@uah.es; javier.salas@uah.es; enrique.meza@uah.es

Franklin Vargas

Universidad de Los Andes

Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales

Escuela de Geografía

Vía Chorros de Milla

Mérida 5101

Venezuela

vargas1@cantv.net

RESUMEN

En este trabajo se ensaya una metodología sencilla de análisis multitemporal para el seguimiento del proceso de deforestación en la Reserva de Ticoporo, Venezuela. Para llevar a cabo este estudio se ha utilizado una serie de fotografías aéreas (año 1962) y cuatro imágenes de satélite, procedentes de diversos sensores de alta resolución espacial (Landsat MSS y TM y SPOT-HRV), de los años 1972, 1989, 1993 y 1997. De la fotointerpretación del primer documento se obtuvo un mapa de formaciones de vegetación, que posteriormente se reagrupó a dos únicas categorías, zonas forestales y agrícolas. Las imágenes se clasificaron en estas mismas categorías mediante el establecimiento de umbrales de sus respectivos índices de vegetación (NDVI). Se realizó una tabulación cruzada de cada par de imágenes clasificadas de fechas consecutivas (1962-1972, 1972-1989, 1989-1993, y 1993-1997), así como de la primera y última fecha, para extraer las zonas de cambio y las estables durante ese intervalo de tiempo. La deforestación experimentada en esta zona puede cifrarse en unas 80.000 ha, lo que supone el 60% del área de estudio. La técnica se mostró de gran utilidad para el seguimiento de este fenómeno, pudiendo ser utilizada por los órganos de gestión para paliar los efectos negativos asociados a los procesos de deforestación. Por último, se lleva a cabo un sencillo análisis de la evolución del patrón espacial del área de estudio en ese periodo. El análisis de los cambios experimentados en las manchas (*patches*) del área de estudio, contabilizando el número de polígonos, su densidad, tamaño promedio y diversidad, muestran una tendencia al aumento de la diversidad espacial (mayor fragmentación, pues el espacio original se parcela), pese a la pérdida de diversidad vegetal (reducción de las cubiertas forestales).

Palabras Clave:

Teledetección, Análisis multitemporal, Detección de cambios, Deforestación.

ABSTRACT

This study presents a simple multi-temporal analysis methodology to monitor the deforestation process in the Tipocoro Reserve (Venezuela). A series of air photos (1962) plus four satellite images from 1972, 1989, 1993 and 1997 were used.

A vegetation type map was obtained from photo-interpretation, which was later reclassified into just two categories: forests and crops. The satellite images were also classified into these two same categories by establishing thresholds for each of their vegetation indices (NDVI). A cross tabulation was carried out for each pair of classified images in chronological order (1962-1972, 1972-1989, 1989-1993, and 1993-1997) plus a pair corresponding to the first and last date (1962-1997), in order to determine changes during this time period. The total deforestation can be estimated in approximately 80,000 ha, which accounts for 60% of the study area.

The method used proved to be very useful for deforestation monitoring purposes and can be implemented by forestry management officials to control its effects.

Finally, a simple analysis was carried out to study the spatial trends in the study area throughout this period. Changes in the study area's patches were analysed taking into account the number of polygons, density, average size and diversity. Results showed that spatial diversity increased (higher fragmentations, since the original area is parceled out), in spite of the decrease in vegetation diversity resulting from losses in forested cover area.

Key Words:

Remote sensing, Multitemporal analysis, Change detection, Deforestation.

INTRODUCCIÓN

El manejo de sus recursos naturales es uno de los principales problemas que afrontan actualmente muchos de los países en vías de desarrollo. El importante crecimiento demográfico, la pobreza estructural, la debilidad de sectores alternativos a la agricultura, la alta concentración de la propiedad de la tierra y la inexistencia de vigilancia y control en áreas naturales, son algunas de las diversas causas que propician el deterioro ambiental y los altos índices de deforestación en países en vías de desarrollo.

El avance tecnológico que experimentamos hoy en día permite tener un conocimiento global de cualquier región de la superficie de la tierra a partir de imágenes provenientes de sensores a bordo de plataformas satelitales, que pueden ser accesibles a cualquier persona o institución. Desafortunadamente, en ocasiones esta información ambiental no está accesible a las instituciones con responsabilidad en la gestión del territorio, ya por falta de centros de formación adecuados, ya por carencias materiales de distinto tipo.

Pese a sus dificultades de aplicación, estas tecnologías pueden ofrecer una gran ayuda

a los países en vías de desarrollo, ya que proporciona rapidez y precisión en los estudios ambientales, además de facilitar el levantamiento, evaluación, análisis, toma de decisión y puesta en marcha de proyectos en espacios económicamente deprimidos y/o ecológicamente amenazados.

En este contexto, Venezuela se presenta como un país con una extensión territorial que casi duplica al estado español pero con la mitad de su población, con riquezas naturales y minerales incalculables representadas por uno de los sistemas de parques nacionales, zonas protectoras y reservas forestales más importantes del mundo, además de contar con elevadas reservas de petróleo, gas natural, oro, diamantes, hierro, bauxita, etc. A pesar de sus enormes recursos, Venezuela padece una notable inestabilidad económica y política, así como un continuo empobrecimiento de su población. El impacto de esta situación ha propiciado el deterioro de los recursos naturales del país. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO, 1993) asegura que entre 1981 y 1990 la deforestación anual promedio en el territorio venezolano aumentó a más del doble de la que se registraba en la década de los 70, alcanzándose un promedio de 600.000

hectáreas por año, una cifra equivalente a más de 1.600 hectáreas por día durante toda la década.

Por otro lado, más del 90 % de la población venezolana se localiza al norte del río Orinoco y es precisamente en esa parte del país donde se han registrado pérdidas cercanas al 60 % de los bosques originales (Centeno, 1989). Los bosques que han resistido a los embates de la mencionada devastación quedan fraccionados, por lo que en algún momento fueron considerados por las autoridades nacionales como espacios destinados para asegurar el aprovechamiento sostenido de un recurso natural. Desafortunadamente la gran variedad de esos lugares no han quedado ajenos a los procesos de degradación ambiental y hoy en día se encuentran bajo importantes procesos de deterioro de su paisaje vegetal y de toda la biodiversidad asociadas a ella.

Para analizar, y paliar en la medida de lo posible, este fenómeno debe utilizarse todas las herramientas disponibles. El empleo de la teledetección en el seguimiento de los procesos de deforestación cuenta ya con una abundante literatura, realizado tanto con análisis visual como digital (Batista y Tucker, 1991; Green y Sussman, 1990; Malingreau *et al.*, 1992). Entre los enfoques de mayor interés conviene considerar el empleo del análisis lineal de mezclas espectrales, de cara a extraer información sub-píxel a partir de imágenes NOAA-AVHRR (Adams *et al.*, 1995; Hlavka y Spanner, 1995; Shimabukuro *et al.*, 1994), la utilización de imágenes radar, en sectores con cobertura muy frecuente de nubes (Grover *et al.*, 1995), y el análisis multitemporal (Nelson, 1994).

En este trabajo no se pretende ensayar nuevas metodologías en teledetección, sino más bien utilizar esta herramienta como fuente de datos para analizar un problema medioambiental de gran trascendencia en los países tropicales. En consecuencia, se ha preferido emplear técnicas de interpretación sencillas, y por lo tanto fácilmente abordables, que ofrezcan una información fidedigna del problema, sin necesidad de abordar un laborioso proceso del análisis digital.

Las técnicas de análisis multitemporal a partir de imágenes de satélite para el seguimiento de la deforestación ofrecen una fuente de gran utilidad para la gestión de los territorios

afectados por este fenómeno. Esta información permitiría concentrar los recursos y medios necesarios para paliar o reducir los efectos negativos producidos por los procesos de deforestación en aquellas áreas más afectadas o de mayor valor ecológico. No obstante, aunque la técnica de evaluación ambiental propuesta sea útil, es necesario recordar que la última palabra en llevar a cabo las propuestas reflejadas siempre será una decisión política (motivada en la mayoría de los casos por presiones internas o externas). Para ello, es importante reflejar en documentos técnicos, como el aquí presentado, una serie de propuestas coherentes con las realidades ambientales de la región estudiada, de modo que en el momento en que surja la iniciativa política se cuente con investigaciones consolidadas en esa temática.

OBJETIVOS

El objetivo principal de esta investigación es la medición de los efectos de la deforestación en la Reserva Forestal de Ticoporo, Estado Barinas - Venezuela, en un periodo de 36 años (1962-1997), a través del análisis digital de una serie de imágenes de satélite e inventarios aerofotográficos del área.

Para garantizar un conocimiento más detallado del área de estudio y facilitar la interpretación de los resultados, se llevó a cabo, además, una revisión de los antecedentes bibliográficos del sector, que se complementaron con una fase de actualización cartográfica y con el análisis de las características físicas y socioeconómicas del área de estudio.

EL ÁREA DE ESTUDIO

Situación geográfica

El área de estudio se encuentra ubicada en Estado Barinas, en el occidente de Venezuela (fig. 1). Se enmarca en las coordenadas geográficas 70°46'11" - 70°25'51" Oeste y 8°09'42" - 7°50'50" Norte. Cuenta con una superficie de unos 1.300 km². Pese a la gran variedad de geformas presentes en la zona, asociadas fundamentalmente a los paisajes más próximos (piedemonte andino y planicie aluvial), sus condiciones climáticas son



Situación Nacional



Situación Regional - Estado Barinas

Figura 1. Localización del área de estudio

considerablemente homogéneas. La temperatura media anual es de 27° C, con amplitud térmica de 3° C. Las precipitaciones medias anuales oscilan entre los 2.000 y 2.500 mm y se distribuyen entre los meses de abril y diciembre. En función de estos parámetros, según la clasificación de Holdridge, el área de estudio se incluye en la zona de "Bosque Tropical Húmedo", uno de los ecosistemas más ricos en cuanto a biodiversidad de todo el planeta. Desde el punto de vista hidrográfico, el área se encuentra drenada por ríos de régimen permanente, provenientes de la cuenca andina, que discurren en dirección NO-SE y desembocan en el río Suripá, que fluye en dirección O-E. El exceso de humedad, junto a factores como relieve plano, características de los suelos o densidad de drenajes, contribuyen a la permanencia de la humedad y a las inundaciones estacionales (MARNR, 1984).

Aspectos socioeconómicos

El área de estudio se enmarca en el municipio Antonio José de Sucre. El centro poblado más próximo y de mayor jerarquía es Socopó, capital del municipio, que contaba en 1999 con 28.778 habitantes. Siguen, en orden de importancia, el poblado de Bum-Bum, con 4.252 habitantes, Chameta con 3.457 habitantes, Macagual-Mirí con 2.775 habitantes y Batatuy con 2.600 habitantes. Según la nomenclatura venezolana, todos estos poblados se catalogan como centros urbanos (frente a rurales), ya que su población sobrepasa los 2.500 habitantes, y cuentan con los servicios públicos básicos, como electricidad, agua potable, teléfonos, cloacas, y transporte interurbano público, entre otros.

En esta zona de la Selva de Ticoporo comenzaron a instalarse los primeros colonos al final de la década de los 30 y durante la década de los 40, que se dedicaron a la tala y quema de los árboles para establecer cultivos tradicionales como medio de subsistencia. A partir de los años 50, junto a la necesidad de nuevas tierras, se incorpora también la demanda del mercado nacional de maderas preciosas. A la instalación inicial de campesinos que cuentan con una economía de subsistencia, se añade la presencia de empresas privadas, que se

encargan de hacer oficial la nueva vocación de Ticoporo: la producción de madera para la construcción (Laques, 1993).

A partir de este momento la población ha ido creciendo vertiginosamente en el área de estudio y su periferia, aumentando el número de habitantes en los principales centros poblados y creándose otros tantos dispersos por toda la superficie estudiada. Quizá el caso más representativo sea Socopó, que en 1950 tenía una población de 70 habitantes, que se incrementó a 1.360 en 1971, 11.917 en 1981 y 28.778 en 1999 (Manrique, 1999).

Este fenómeno se ve favorecido por la presión demográfica de las regiones andinas vecinas. Los habitantes de los estados Táchira, Mérida y el propio estado Barinas refuerzan en un primer momento las migraciones de campesinos pobres sobre los espacios vacíos. La construcción de vías para la exploración petrolera hacia finales de la década de los 40 (Delgado et al, 1986; Laques, 1993) facilita la llegada de inmigrantes. Ya a mediados de la década de los 60, y una vez consolidadas las vías de penetración a través de la construcción de la carretera Troncal 005 (1964), que se empalma al Suroeste con la frontera colombiana, se efectúa la llegada masiva a Ticoporo de un gran número de campesinos colombianos desplazados por la situación económica y política de su país de origen. Este aumento del flujo de inmigrantes se hizo aún más crítico en la década de los ochenta (Rojas, 1993), debido al empobrecimiento cada vez más acentuado y al recrudecimiento de los combates entre la guerrilla, paramilitares y el ejército colombiano.

La pirámide de población (fig. 2) muestra una estructura por edad y sexo típica de una población en crecimiento, con base ancha y predominio neto de los estratos más jóvenes. Esta situación es coherente con el comportamiento general de la población en Venezuela. Resulta curioso que la proporción de mujeres con respecto a los hombres es inferior en todos los rangos, posiblemente debido a que la población femenina emigre hacia las principales ciudades de Venezuela, al mismo tiempo que la población masculina foránea se siente atraída con la posibilidad de hacerse con tierras fértiles para el establecimiento de agricultura de subsistencia. Este hecho es común a toda la región andina. La población de 12 y más años de edad (con posibilidad de trabajar) para el Municipio Antonio José de Sucre

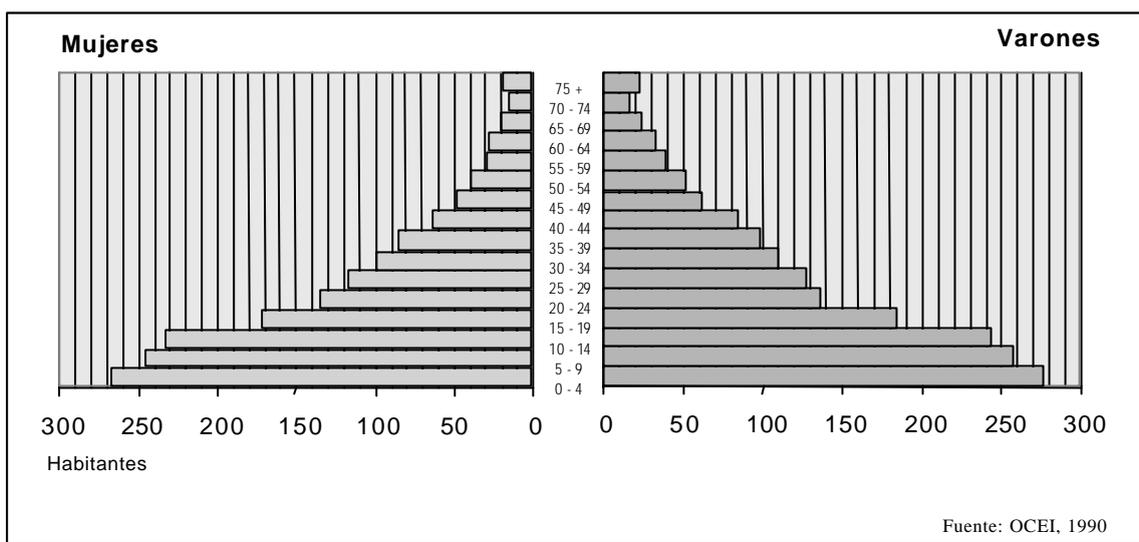


Figura 2. Distribución de la población por edad y sexo

equivalía al 63,37%, en tanto que la población económicamente activa (PEA) era del 47,02%.

Para conocer de forma más directa la situación de los colonos de esta zona se llevó a cabo una encuesta (Vargas, 2000) dentro de las unidades de manejo forestal bajo la condición de "invadidas" desde hacía algunos años, que se basó en información requerida por el Ministerio de Agricultura y Cría para los censos agrarios. Esta encuesta puso de manifiesto que esta zona se ve afectada por una gran escasez de créditos oficiales para la producción agrícola, situación que es mitigada por la existencia de créditos ocultos proporcionados por prestamistas. Los ingresos obtenidos por los fundos son muy dispares, con predominio de rentas muy bajas, inferiores al que se considera salario mínimo mensual (son habituales rentas inferiores a 120.000 bolívares anuales, unos 140 €). Los ingresos provienen principalmente de las actividades agrícola vegetal y de la ganadería.

En cuanto a la estructura habitacional, en el área de estudio predominan las viviendas tipo ranchos (paredes de madera con techo de zinc), que, generalmente, no tienen servicio de luz eléctrica, agua potable, ni sistema de desagüe.

Con relación a las actividades agrarias destaca el pequeño tamaño de las explotaciones (fundos), predominando las que no superan las 50 ha. Estos minifundios dificultan la mecanización y la explotación comercial. De hecho, los cultivos

predominantes (yuca, plátano, maíz, ñame, cacao, café, sorgo, caraota, ocumo, caña de azúcar, arroz, tomate y frutales) se orientan, principalmente, a la autosubsistencia, aunque algunos de ellos (como el plátano) tienen un carácter totalmente comercial y la totalidad dedica una pequeña parte a la comercialización.

La superficie dedicada a pasto, que varía notablemente entre unidades, se dedica a la alimentación de un ganado predominantemente bovino, de carácter comercial, junto a porcino, equino, aves y ovino. Estos últimos, exceptuando el equino, utilizado como medio de desplazamiento, se destinan principalmente al autoconsumo.

La mano de obra asalariada ocupada en este sector es principalmente de carácter temporal, destinada a trabajos muy puntuales (cosechas y atención al ganado). El elevado número de este personal se debe a la escasa mecanización que existe en estas regiones.

En cuanto a las plantaciones forestales, la mayoría de los agricultores mantienen las plantaciones forestales por iniciativa propia, por lo que apenas reciben asistencia técnica. Las especies forestales más comunes son la teca, la melina y el apamate.

Todos estos indicadores apuntan a una agricultura de autosubsistencia, dominada por explotaciones de tamaño pequeño, escaso grado de mecanización, predominancia de cultivos para el

autoconsumo, etc.; practicada por una población con un nivel socioeconómico bajo, sin apenas servicios básicos, con bajos ingresos anuales y un fuerte ausentismo de los niños a la escuela.

MÉTODOS DE ANÁLISIS

Para llevar a cabo el análisis de la evolución de la deforestación en el área en estudio, se procedió, en primer lugar, a la recopilación del material disponible. En ese sentido, la documentación de sensores remotos más antigua con la que cuenta la reserva forestal de Ticoporo corresponde a fotografías aéreas adquiridas en enero y febrero de 1960, con una escala nominal de 1:60.000. De la fotointerpretación de este material se obtuvo un mapa de unidades de vegetación genéricas, de gran utilidad para conocer las condiciones iniciales del área de estudio y para tener una mayor perspectiva temporal.

Este mapa se restituyó a la cartografía base y se digitalizó para su posterior comparación con las imágenes de satélite. Los polígonos derivados de este proceso fueron convertidos a un formato raster, con píxeles de 40 x 40 m, características seleccionadas para el resto de imágenes a utilizar en el estudio. Además, este mapa sirvió de base para la delimitación de las unidades forestales y agrícolas, que se utilizarían para calcular las pérdidas y ganancias de cubierta forestal en el estudio multitemporal.

La metodología propuesta se centró en el procesamiento e interpretación de imágenes de diferentes fechas (1972, 1989, 1993 y 1997), y de diferentes sensores (Landsat - MSS, Landsat - TM y SPOT - HRV). Para que estas imágenes fuesen comparables entre sí, fue precisa la homogeneización radiométrica y la corrección geométrica de todas las imágenes, con el fin de que los resultados fueran consistentes en la serie.

El primer paso de un análisis multitemporal suele orientarse hacia la calibración radiométrica entre las imágenes que intervienen en el proceso. Este procedimiento resulta necesario, cuando se trabaja con niveles digitales, para asegurar que los valores de todas las imágenes a comparar sean equiparables, ya que los originales son dependientes del sensor y la fecha de adquisición (Chuvioco, 2002). No obstante, esta calibración no es necesaria si

se trabaja con imágenes categóricas, es decir, previamente clasificadas. En este caso, las imágenes utilizadas en el análisis multitemporal se habían clasificado previamente en dos categorías (forestal y agrícola), por lo que el estudio no requería la homogeneización radiométrica. Esta decisión fue tomada, en parte, por no contar con los coeficientes de calibración de algunas de las imágenes analizadas. También se consideró la posibilidad de trabajar con la comparación directa entre imágenes por medio de los índices de vegetación, ya que esta técnica tiene como especial ventaja la reducción del efecto de iluminación y de calibración entre sensores.

En un segundo paso, se ajustaron geoméricamente todas las imágenes que intervinieron en el proceso a partir de una serie de puntos con coordenadas conocidas. Se procuró que los puntos seleccionados estuvieran distribuidos homogéneamente por toda la imagen. Cuanto más claros se presentaban los rasgos comunes entre las imágenes (considerando principalmente los rasgos humanos) más fácil resultó la asignación de puntos de control y obviamente el proceso arrojó resultados más precisos. Se tomaron unos 20 puntos para cada imagen, cantidad que se encuentra en los estándares recomendados para las características del área de estudio (tamaño de la zona y superficie relativamente plana) y de la escala de las imágenes utilizadas. La transformación se basó en ecuaciones lineales simples. El RMS (error medio cuadrático) más elevado registrado en la corrección geométrica fue de 0,8 píxel. El método aplicado para el remuestreo de las imágenes fue el de convolución cúbica, con un píxel de salida de 40 x 40 metros. Este tamaño de píxel supuso un compromiso entre las tres resoluciones de las imágenes de entrada: la MSS, con 80 x 80 metros (aproximadamente), la Landsat-TM, de 30 x 30 m, y la SPOT-HRV, de 20 x 20 m. En términos estrictos se debería haber adaptado el tamaño de salida de los píxeles a la más grosera, pero esto hubiera supuesto sacrificar resolución espacial en el resto de las imágenes, comprometiendo la calidad en los resultados. Las imágenes resultantes de este procedimiento contaron con 930 columnas y 873 filas.

Tras la homogeneización radiométrica y el ajuste geométrico de las imágenes se procedió al análisis multitemporal. Parece obvio para un estudio de deforestación

utilizar transformaciones de imágenes que refuercen el componente vegetal. Por ello, se generaron índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para las distintas fechas. Este índice es un indicador de comprobada eficacia para realzar la señal de la vegetación frente a otras cubiertas (Deblonde y Cihlar, 1993; Gilabert *et al.*, 1997). Se define como:

$$\text{NDVI} = (i_{\text{IRC}} - i_{\text{R}}) / (i_{\text{IRC}} + i_{\text{R}})$$

donde i_{IRC} y i_{R} indican las reflectividades del píxel i en la banda del infrarrojo cercano y del rojo, respectivamente.

Antes de realizar esta operación sería necesario aplicar las correcciones atmosféricas y convertir los niveles digitales (ND) originales a reflectividades. No obstante, como ya se comentó anteriormente, para algunas de las imágenes seleccionadas no se poseían algunos de los parámetros necesarios para abordar esta conversión. Por ello, se utilizó el modelo propuesto por Guyot y Gu (1994) para niveles digitales originales. Estos autores aplican un modelo teórico en el que concluyen que los valores del NDVI para las imágenes Landsat-TM y SPOT-HRV calculados a partir de ND, subestiman entre 0,05 y 0,20 el valor calculado con reflectividades. Por tal razón, proponen una corrección que haga equivalente el cálculo con ND o reflectividades para imágenes Landsat TM:

$$\text{NDVI}_{\text{TM}} = (\text{ND}_{\text{IRC}} - 0,801 \text{ND}_{\text{R}}) / (\text{ND}_{\text{IRC}} + 0,801 \text{ND}_{\text{R}})$$

y para imágenes SPOT-HRV:

$$\text{NDVI}_{\text{HRV}} = (\text{ND}_{\text{IRC}} - 0,633 \text{ND}_{\text{R}}) / (\text{ND}_{\text{IRC}} + 0,633 \text{ND}_{\text{R}})$$

El NDVI oscila entre los valores -1 y +1, lo que facilita su interpretación. Según Holben (1986) se puede considerar como umbral crítico para cubiertas vegetales un valor de NDVI en torno a 0,1 y para la vegetación densa de 0,5. El índice de vegetación señalará, entre otras cosas y en lo que respecta a este trabajo, el estado de vitalidad de la vegetación, su valor disminuirá en el momento que pierda vitalidad la vegetación boscosa. Gracias a este comportamiento, este índice facilita la determinación de áreas de cambio en la masa forestal.

En este trabajo, los NDVI se utilizaron para extraer la cubierta forestal de cada una de las fechas para las que había imágenes disponibles (1972, 1989 y 1993), utilizando una

segmentación del histograma para definir las categorías de interés. Esta segmentación se realizó sobre unas parcelas piloto, para las que se conocía la caracterización de cubiertas y su evolución temporal (la tabla 1 muestra los valores de NDVI utilizados para separar el área forestal y el agrícola en cada período). Otra posible solución hubiera sido segmentar las imágenes de resta multitemporal entre NDVI de cada fecha, pero no se contaba con suficiente información de campo para la verificación de los resultados. Para el año 1962 se utilizó el mapa de unidades de vegetación obtenido de la fotointerpretación, que también se reclasificó a dos categorías: forestal y agrícola. La comparación entre las distintas imágenes binarias de cada fecha se realizó a partir de una sencilla técnica de tabulación cruzada (fig. 3).

Para la imagen de 1997 se optó por una clasificación no supervisada, ya que fue preciso combinar dos imágenes de distintas fechas. Las categorías resultantes se reclasificaron a forestal y agrícola, respectivamente.

Este enfoque permitió generar un mapa y una tabla con los cruces encontrados entre las categorías de los dos mapas de entrada, para las distintas fechas disponibles. Como resultado se obtuvieron nuevas clases que albergaron las transiciones producidas entre los dos periodos considerados en cada momento. Como los mapas de entrada eran binarios (forestal y agrícola), los cruces multitemporales resultantes tenían cuatro categorías: de forestal a forestal (bosque estable), de forestal a agrícola (deforestación), de agrícola a agrícola (cultivos estables), y de agrícola a forestal.

Siguiendo los objetivos de la investigación, se puso un especial énfasis en la segunda categoría, pues a través de ella se pudieron identificar las zonas que han sufrido algún tipo de deforestación entre las fechas de referencia.

Las comparaciones se efectuaron entre las imágenes de fechas sucesivas: 1962-1972, 1972-1989, 1989-1993 y 1993-1997, así como entre las imágenes de 1972 y la de 1997, con la finalidad de tener una valoración global de los procesos que han afectado a la reserva de Ticoporo. Se seleccionó de la imagen de 1972, en lugar del mapa de 1962, porque era una fuente más fácilmente comparable con la imagen de 1997;

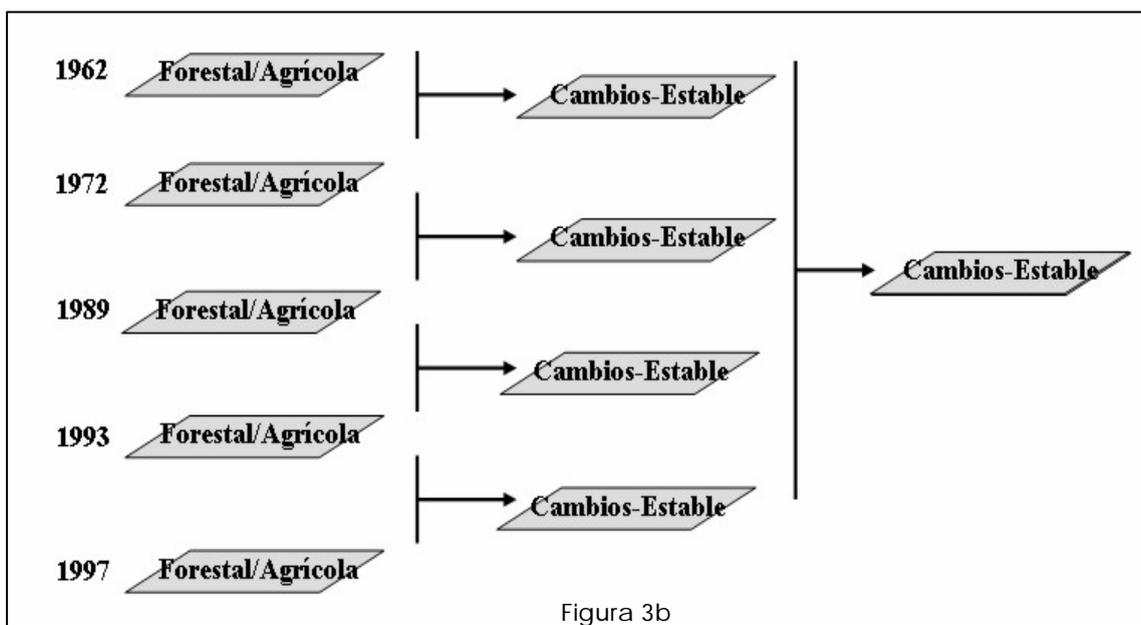
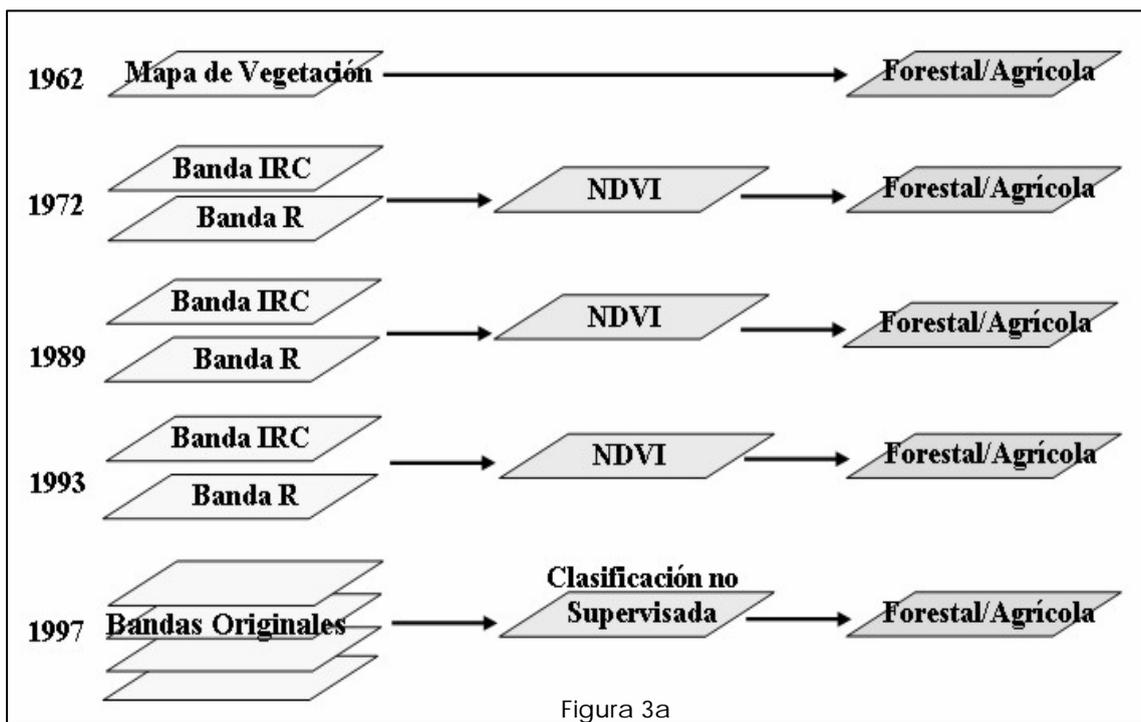


Figura 3a y 3b. Esquema de la metodología utilizada en el trabajo: detección de cambios por comparación entre clasificaciones

Imágen	Valor Bosque	Valor No Forestal	Comentarios
1972	> 0.18	< 0.18	Presencia De Bandeado
1989	> 0.16	< 0.16	Mayor Sequía
1993	> 0.35	< 0.35	Presencia de Cultivos Vigorosos

Tabla 1. Valores utilizados para separar la cubierta forestal sobre imágenes de NDVI

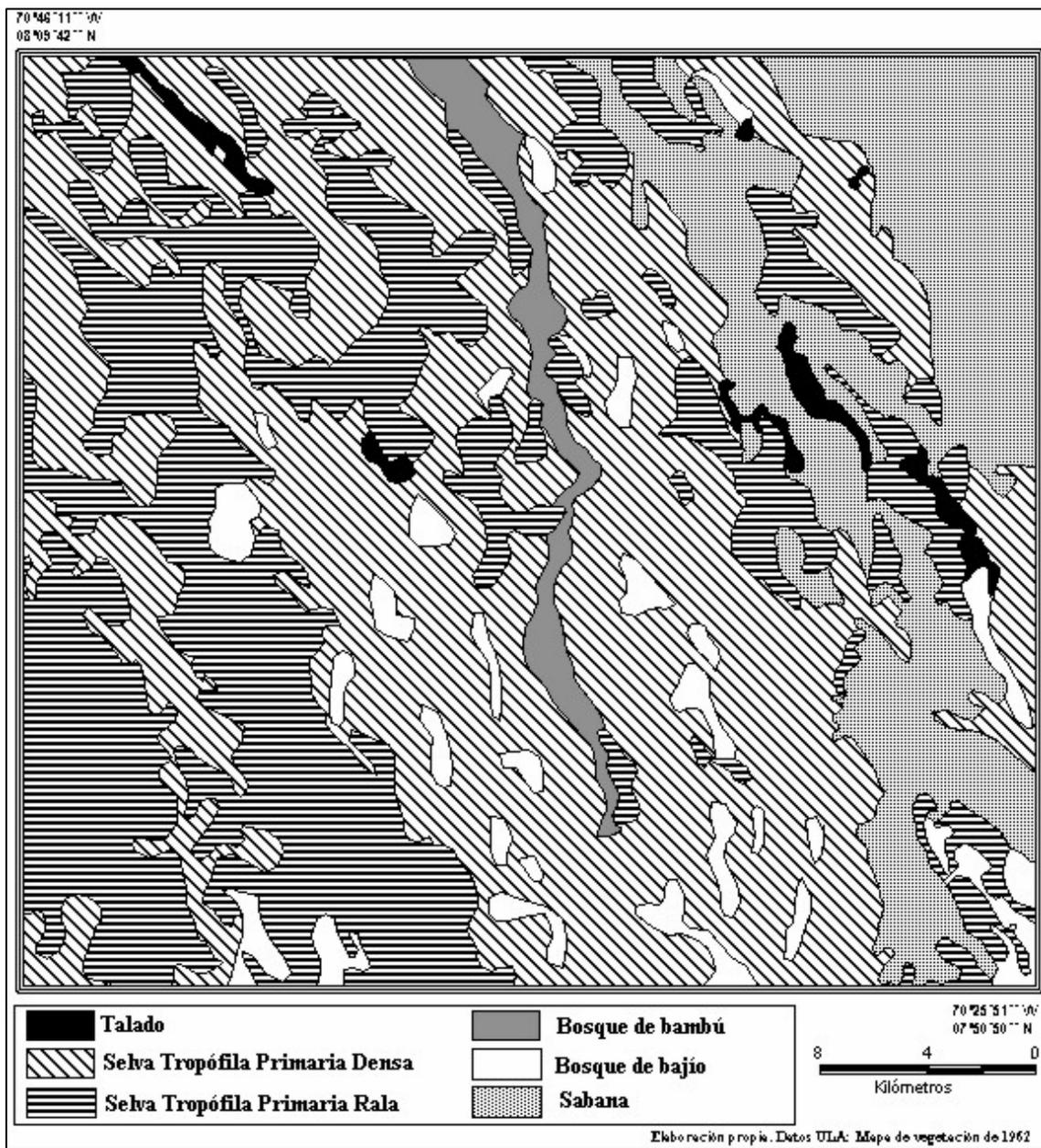


Figura 4. Unidades de vegetación de 1962

consideramos más oportuno la comparación entre dos clasificaciones obtenidas a partir de imágenes de similares características (espaciales y espectrales), que la de clasificaciones obtenidas de fuentes de diversa procedencia. Además, atendiendo a las clasificaciones obtenidas, no se registraron excesivos cambios en la cobertura vegetal entre los años 1962 y 1972, como veremos en los resultados que se presentan a continuación.

RESULTADOS

El mapa de unidades vegetacionales de 1962

El periodo de estudio comienza en 1962, año para el que se cuenta con el mapa de unidades vegetacionales obtenido mediante fotointerpretación. En este mapa (fig. 4) las unidades de vegetación se presentan en seis categorías: selva tropófila primaria densa, selva tropófila primaria rala, bosques de bajo, bosque de bambú, sabanas y áreas taladas.

Ya en esta fecha se aprecia en el noreste de la zona de estudio un sector talado, descrito por una línea recta en dirección (SE - NW), que según la bibliografía consultada obedece a la penetración efectuada en la zona por parte de las compañías petroleras, que a través de esta intervención facilitaron el acceso, mediante una vía diferente a la fluvial, a los campesinos andinos que habían sido desplazados por la mala situación agrícola de esa región en los años previos. En estos momentos no existe un interés científico por el fenómeno de la deforestación, por lo que cualquier diagnóstico de este proceso debe basarse exclusivamente en la interpretación de este material.

En este mapa se observa que la distribución de la vegetación reproduce, en cierta manera, la orientación que presentan los cauces de los ríos que bajan desde la región andina y que controlan la presencia de las masas boscosas. La vegetación arbórea se instala en los depósitos más altos que bordean a los ejes de los ríos. Dependiendo de la altura de esos ejes o bancos se presentaban árboles en densidades más o menos importantes hasta llegar a los bosques de bajíos. Hacia el sur del mapa se nota una mayor presencia de los bosques de bajíos, que se localizan tanto dentro de los bosques densos como en los ralos, aunque en este caso agrupados en superficies de cierto tamaño. Esto nos induce a pensar que las condiciones de humedad imperantes favorecían más a este tipo de bosques.

Se observa, asimismo, una mejor organización en ejes más anchos de los bosques densos y ralos, que no se aprecia en la parte norte del mapa, donde estos ejes eran más delgados. Un factor importante, en este sentido, puede ser la influencia de las crecidas de los ríos, más claras en la zona sur del área de estudio.

Imagen de NDVI de 1972

En esta imagen (fig. 5-a) se aprecian importantes contrastes entre las áreas de cobertura boscosa y las de vegetación de gramíneas. Las tonalidades más claras (valores más altos de NDVI) identifican las zonas forestales, en tanto que las agrícolas aparecen en tonos oscuros, ya que en esta época (octubre) experimentan una actividad vegetativa más escasa,

especialmente en el año que se registró la imagen.

Los tonos más claros corresponden, principalmente, al bosque de bambú, que presenta, asimismo, una textura bastante lisa. El resto de la superficie boscosa aparece con tonalidades más oscuras, cuya intensidad dependerá del contenido de humedad y/o de la densidad de la vegetación. Esta última está muy influenciada por las características de la micro-topografía o de los suelos y por el grado de las intervenciones humanas que se hayan presentado antes o estén ocurriendo en el momento del registro de la imagen. Los tonos más oscuros de la imagen aparecen en aquellas zonas que mostraban una vegetación menos vigorosa, como el área agrícola y zona de pastizales de la reserva de fauna, situada en el sector oriental de la imagen, o bien en los cauces fluviales (con gran contenido de agua en esta época del año).

Respecto al mapa de unidades vegetacionales de 1962, se observa una disminución de la zona forestal en la vertiente noreste de la imagen, perpendicular a la carretera que une Socopó con el centro del país. Se trata, evidentemente, del inicio del proceso de colonización planificada, típico de las zonas tropicales, siguiendo las vías de comunicación más importantes.

Imagen del NDVI de 1989

En esta imagen también se observa un claro contraste entre las zonas forestales y las zonas agrícolas y cursos de agua (fig. 5-b). Como en la imagen anterior, los tonos más oscuros corresponden a las áreas herbáceas que en este momento cuentan con poco vigor vegetativo, de ahí su bajo valor del NDVI. Dentro de la zona forestal, sin embargo, las tonalidades más oscuras son reflejo de las explotaciones que se estaban llevando a cabo en el momento de la adquisición de la imagen. Las zonas forestales, que aparecen en tonos claros, se corresponden con las franjas norte-sur que aparecen en el centro y oeste de la imagen. Estas zonas se encuentran, principalmente, en manos de Empresas Privadas y Semi-Privadas, CONTACA y EMALLCA. En algunos de estos sectores forestales se observan tonos más oscuros, indicadores de la presión



a



b



c



d

Figura 5. NDVI de las imágenes: a) LANDSAT MSS (19/10/72), b) SPOT HRV XS (16/02/89), c) SPOT HRV XS (31/12/93) y d) LANDSAT TM (20/01/97)

permanente de personas ajenas a la Reserva.

Esta imagen denota un intenso avance de los procesos de deforestación respecto a lo observado en la de 1972. Las causas son variadas, si bien, a nuestro juicio, resulta patente el efecto del cambio político ocurrido en el país a partir de 1984. Antes de esa fecha, la postura del Gobierno era favorable a preservar las reservas forestales del país, pese a las invasiones sucedidas. Sin embargo, los políticos de la oposición, como medida populista para garantizar votos a su favor en las elecciones presidenciales, respaldaban las invasiones masivas. Tras el triunfo de Acción Democrática en 1984 se

produce un claro cambio en la orientación política preservacionista, y el nuevo gobierno fomenta las invasiones en cumplimiento de las promesas electorales. En el caso de la reserva de Ticoporo, esta actitud supone una reducción en la Unidad Uno (EMIFOCA) y la Unidad Cuatro (Experimental), que para ese momento estaba bajo la responsabilidad de la Universidad de Los Andes (fig. 6).

La zona afectada por esta intervención se presenta en diversos sectores, el primero con origen en Socopó, al Noroeste de la imagen, se extiende hasta los límites de la Unidad Uno con CONTACA y con EMALLCA. Este frente consolida la tendencia apuntada en 1972,

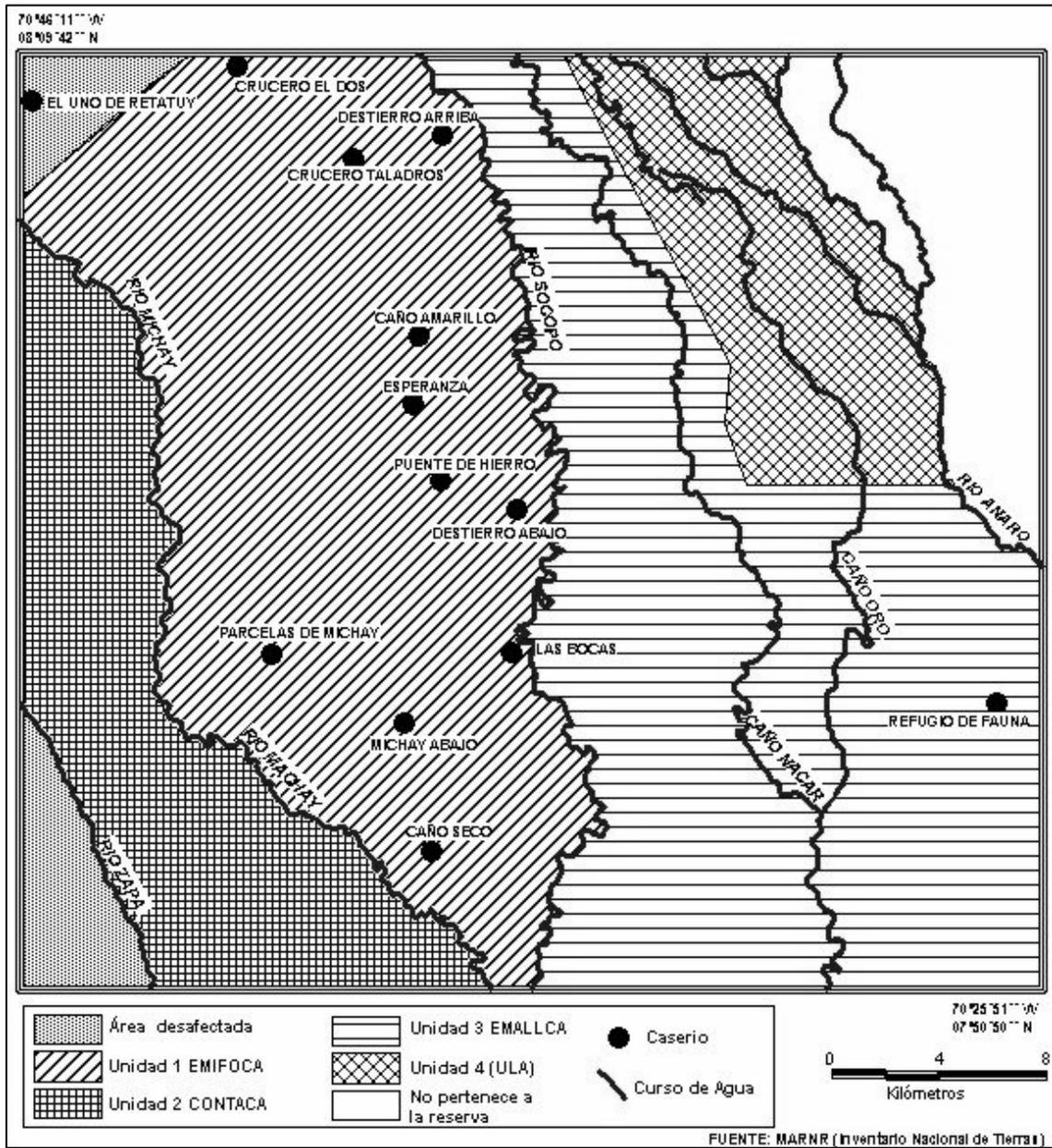


Figura 6. Unidades de Manejo Forestal

por el eje perpendicular a la carretera Socopó-Barinas. Otro frente de invasión, que proviene de las zonas que no habían sido afectadas en fechas anteriores, se localiza al Oeste de la imagen y en el Este, en torno a la reserva de fauna. También se observa un significativo avance por el Sureste, bordeando los dos pasillos que dejan las empresas forestales. Dentro de estos sectores, se observa la apertura de carreteras interiores, para fomentar la entresaca selectiva de madera. Estas áreas gestionadas por empresas forestales son las que mantienen un mejor control sobre los

invasores, en este período, de ahí que se vean mejor preservadas.

Imagen del NDVI de 1993

Como en las imágenes anteriores, los tonos más claros se corresponden con la presencia de bosques de bambú, que se caracterizan por su apariencia lineal y textura casi lisa, en comparación con el resto de los bosques. Dentro del sector forestal, los tonos más claros tienen que ver con la zona de bosque

estable, las tonalidades grises y más oscuras que acompañan a esta masa boscosa son intervenciones de deforestación, como ejemplo las vías de comunicación. Los grises menos oscuros son sectores que no están totalmente desprovistos de la vegetación boscosa o son barbechos estables. Los tonos más oscuros tienen que ver con las quemaduras o las intervenciones más recientes. Los ríos y algunas sabanas aparecen con tonalidades más oscuras como consecuencia de la presencia de humedad y el menor vigor vegetal en esta época del año.

En esta imagen (fig. 5-c) se mantienen las tendencias apuntadas en los dos periodos anteriores. Se observa un marcado crecimiento de las áreas relacionadas con la actividad agrícola siempre a expensas del bosque, aunque aquí no se presencia un cambio tan drástico como el mencionado en 1989. En este periodo parecen consolidarse las explotaciones iniciadas en la etapa anterior, lo que sugiere que se trata de invasiones de carácter definitivo. También se observa el mantenimiento de la explotación forestal, tanto por la dinámica de las franjas reservadas a las empresas concesionarias, como, precisamente, porque siguen manteniéndose pese a la presión invasora.

La excepción sería el sector más meridional, concesionado a EMIFOCA, que fue totalmente invadido en este periodo de análisis, aunque aún para esta fecha quedan algunos remanentes del bosque que también presentaba la imagen de 1989. Con relación a la Empresa CONTACA se pudo notar un comienzo de intervención hacia el sur. En cuanto a superficies arboladas que tiene bajo su responsabilidad la Empresa EMALLCA, hacia el Este y Sureste de la imagen, aún continúan sin intervenir, lo que indica que las invasiones desde el norte habían disminuido drásticamente frente al ritmo observado en el periodo anterior.

Imagen del NDVI de 1997

En esta imagen (fig. 5-d), al igual que sucedía en las anteriores, los tonos más claros tienen que ver con el bosque y con las zonas donde la vegetación se ha recuperado después de la intervención; en tanto que las más oscuras se corresponden con cambios recientes: deforestación, quemaduras e inundaciones, principalmente.

Las tonalidades más claras se encuentran en las unidades asignadas a CONTACA y EMALLCA. En las zonas gestionadas por la primera los cambios se han producido hacia el Suroeste de la imagen, donde las intervenciones se han centrado en los lugares de extracción de madera. En el sector gestionado por EMALLCA los cambios tienden hacia el Norte, donde ya en 1993 se evidenciaba la presencia de algunos invasores. En esta fecha la superficie que correspondía a EMIFOCA estaba casi totalmente desprovista de vegetación boscosa, este cambio viene indicado por las tonalidades más oscuras y por la textura más grosera.

En el año en que se adquiere esta imagen, se comentaba en la zona que las explotaciones de las maderas autorizadas cada año se habían cumplido de manera cabal, pero no así con el compromiso de la reforestación, labor ésta indispensable para garantizar la producción continua y a largo plazo del bosque. En el caso de la Empresa CONTACA era evidente la violación del referido contrato y de las cláusulas correspondientes a esos trabajos de reforestación. En el caso de EMALLCA la situación parecía ser más o menos la misma.

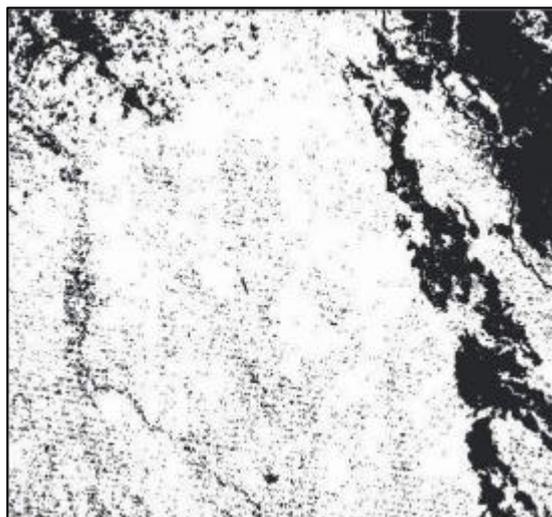
Hasta el año 1996 la Unidad II (CONTACA) no contaba con invasores reconocidos y la Unidad III (EMALLCA) tenía trece familias. A partir del año 96 se da inicio a una escalada de invasiones en ambas unidades. Un operativo censal, llevado a cabo en 1997, que no condujo a ningún desalojo, como había sido previsto, apuntó una ocupación de más del 90% de la Concesionaria CONTACA y de un 80% de EMALLCA. El fin último de estas invasiones es la venta de las bienhechurías. Para las empresas, estas invasiones suponen mayor dificultad para el aprovechamiento de la madera, que se traduce en la imposibilidad de poder sacar la madera ya tumbada, además de problemas de inseguridad para los empleados.

Evolución de las superficies forestales (1962-1997)

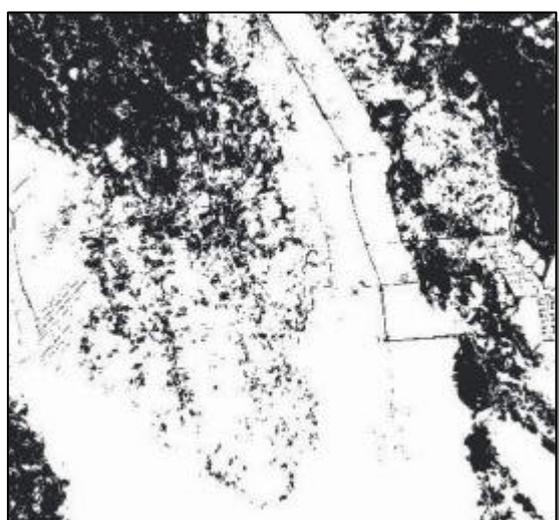
A partir de las imágenes anteriores, donde se observa claramente el proceso de deforestación acaecido en este periodo, se



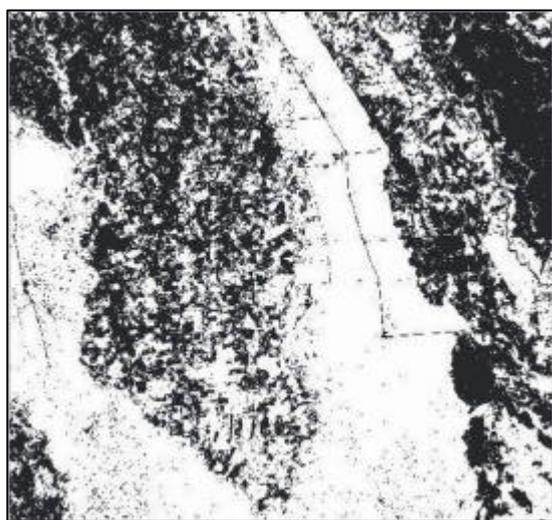
a



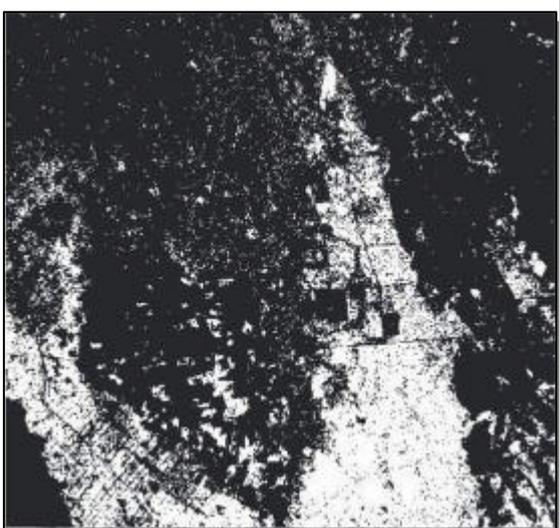
b



c



d



e





Figura 7. Mapas de áreas Forestales y Agrícolas: a) 1962, b) 1972, c) 1989, d) 1993 y e) 1997.

obtuvieron mapas binarios, mediante el establecimiento de umbrales, de áreas forestales y agrícolas, reflejando así, de una manera sencilla, el proceso de evolución de la vegetación en el área de estudio.

El mapa correspondiente a 1962 (fig. 7-a) marca el inicio del análisis del proceso de deforestación del periodo de estudio. En este año la mayor parte del área de estudio se encuentra cubierta por una vegetación de tipo boscoso, siendo marginales las superficies agrícolas. En esta fecha las escasas intervenciones que se presentan en la zona forestal son debidas tanto a la exploración petrolera como a las vías fluviales que sirven de medio para la instalación de los campesinos y la extracción de maderas finas.

En el año 1972 la zona se presenta, en rasgos generales, poco transformada (fig. 7-b), aunque ya comienza a observarse una progresión en el eje colonizador NW-SE. El fenómeno que más llama la atención en este mapa es la aparición de una gran cantidad de intervenciones muy pequeñas dispersas en la superficie forestal predominante. Este hecho no se observa en el mapa de 1962, si bien puede ser debido a que el tratamiento digital de la imagen resulta más adecuado que la fotointerpretación para señalar pequeñas zonas de intervención, posiblemente obviadas en la generalización cartográfica. En términos generales, en este mapa se empieza a notar la presencia humana de manera más clara, evidenciada porque la superficie uniforme del año 1962 se encuentra salpicada por otros usos agrícolas en 1972.

El mapa de 1989 denota una intensa transformación del área de estudio (fig. 7-c). En este periodo se produce un notable incremento del núcleo poblado más importante de la zona (Socopó), así como un aumento de la red de comunicaciones, que da origen a las colonizaciones agrarias de reservas forestales, propiciadas por el gobierno estatal. En este año, el deterioro de la reserva es ya considerable, con numerosas áreas intervenidas. El proceso de colonización se produce por varios flancos.

Además del ya mencionado, perpendicular a la carretera general, se observa un notable avance desde el vértice SW de la imagen, y desde las zonas de sabana y vegetación herbácea previamente roturadas. La

penetración no sigue un proceso continuo, sino que se observa una notable fragmentación del espacio, posiblemente como consecuencia de la campaña de contención que realizan las autoridades de las empresas forestales, EMALLCA y CONTACA. No obstante, también se observa un deterioro de la superficie forestal en estos sectores, pues se abren algunas pistas de extracción selectiva. En algunas áreas se puede observar algunos intentos de regeneración forestal por parte de estas empresas, aunque esto será más evidente en el siguiente mapa.

El mapa de 1993 (fig. 7-d) muestra un fortalecimiento de las tendencias que se observaban en 1989. La superficie agrícola ha aumentado a expensas del bosque, si bien, la finalidad última de ésta se enfoca principalmente a la ganadería. En el espacio ocupado por las empresas forestales se observa una mayor continuidad del sustrato forestal, lo que se explica por la puesta en práctica de una política de reforestaciones. En algunos sectores del centro y la parte superior izquierda del área de estudio se observa un pequeño aumento de los barbechos agrícolas (que en pocos años se convierten en forestales), que presentan mayor presencia que en el mapa de 1989. No obstante, la tendencia predominante sigue siendo la fragmentación y conquista de nuevos espacios. Los frentes de colonización han continuado restando masa forestal al bosque, favorecidos por una buena red vial y el acceso a gran parte de los servicios básicos.

Para la última fecha considerada, 1997, se muestra un dramático incremento del proceso de deforestación, que da lugar a una masa forestal en notable retroceso y muy fragmentada (fig. 7-e). La actividad agrícola y ganadera domina en la mitad norte de la imagen, y sólo quedan ya algunos sectores correspondientes a las antiguas concesiones a empresas madereras. Dentro de la masa boscosa, no quedan sino relictos de lo que antes fue bosque y luego reserva. Todo esto es el resultado de las intervenciones que han provenido, desde fuera, con los invasores y, desde dentro, por el trabajo incrementado, tanto en superficie como en intensidad, por las empresas concesionarias, con el objeto de extraer el mayor provecho. El final de la reserva se comienza a perfilar y la desaparición de Ticoporo como Reserva Forestal comienza a ser un hecho evidente.

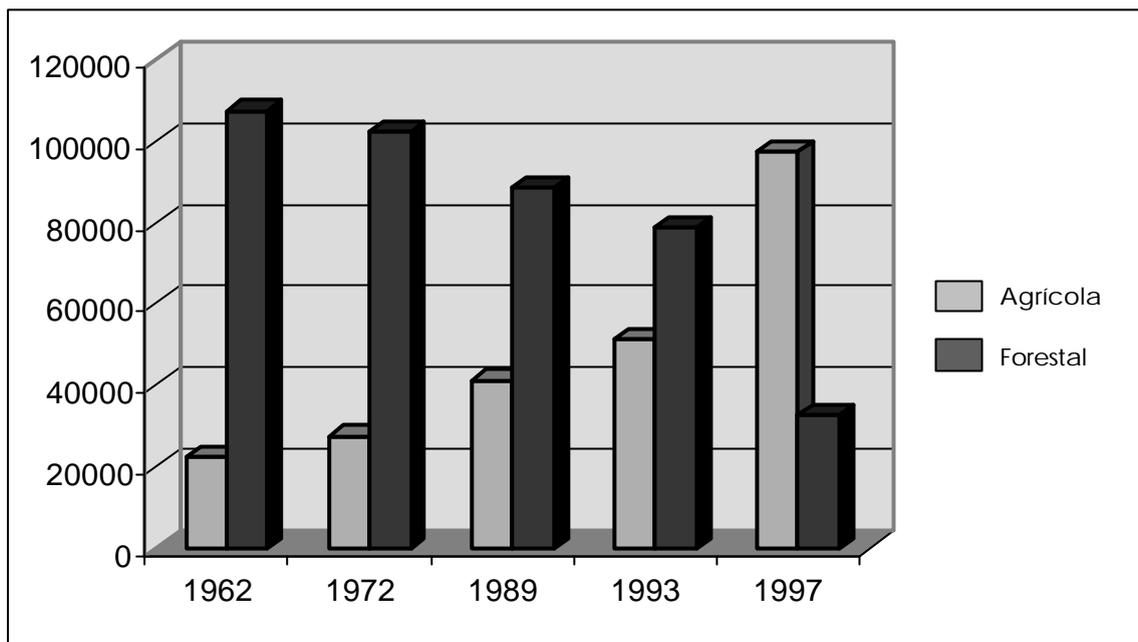


Figura 8. Evolución de la superficie forestal y agrícola en el área de estudio (ha)

La figura 8, evolución superficial del área clasificada como boscosa en los últimos 25 años (a partir de los documentos anteriormente comentados), puede servir como resumen de los comentarios realizados sobre la dinámica del área forestal de Ticoporo. En ésta se observa una clara tendencia a la pérdida de cubiertas forestales, especialmente sensible a partir de 1972. La aparente estabilidad en el periodo 1962-72 puede ser debida, como se indicó anteriormente, a la generalización cartográfica que incluye el mapa de la primera fecha, pues se obvian pequeños sectores ya deforestados, que sí aparecen con nitidez en la imagen de 1972. Por lo demás, se observa un ritmo especialmente intenso en los últimos años de la serie, en donde la superficie forestal desciende un 45% respecto a la proporción del período precedente, reduciéndose una cantidad próxima a las 46.000 hectáreas (más de 11.000 hectáreas anuales). Si las tendencias se mantienen, resulta obvio que el destino inmediato de la reserva sea su total desaparición.

Para analizar las transformaciones de ocupación del suelo experimentadas en el área de estudio durante este periodo, se realizaron tabulaciones cruzadas de las imágenes clasificadas (forestal y agrícola) para cada dos fechas consecutivas, obteniendo una serie de mapas de cambio

entre cada par de mapas consecutivos en el tiempo. Las imágenes resultantes podían incluir cuatro categorías: bosque estable, indicando áreas que mantienen la cubierta forestal entre fechas; de bosque a cultivos, señalando las zonas deforestadas (ya sea a cultivos propiamente dicho o a ocupaciones ganaderas); cultivos estables, que incluye áreas que no tenían cubierta forestal en ninguna de las dos fechas, albergando además de cultivos otras cubiertas no forestales, como sabanas o fincas ganaderas; y de cultivos a bosque, que identifica las zonas reforestadas o donde los espacios cultivados se han abandonado (barbecho forestal).

Para no extender demasiado los resultados, en este apartado sólo se considerará el cruce entre las imágenes de satélite de fecha más antigua y más reciente (1972-1997; fig. 9). En este mapa de síntesis se puede resumir el proceso de cambios que han afectado a la zona de estudio en los 25 años que cubren las dos imágenes. Resulta evidente la marcada tendencia al retroceso de la cubierta forestal, en beneficio de la utilización agrícola o ganadera del espacio. Aunque no se puede analizar con este documento, también nos consta una transformación agrícola en el área de estudio, desde las plantaciones familiares, de subsistencia en muchos casos, hasta la ocupación ganadera, más orientada a la

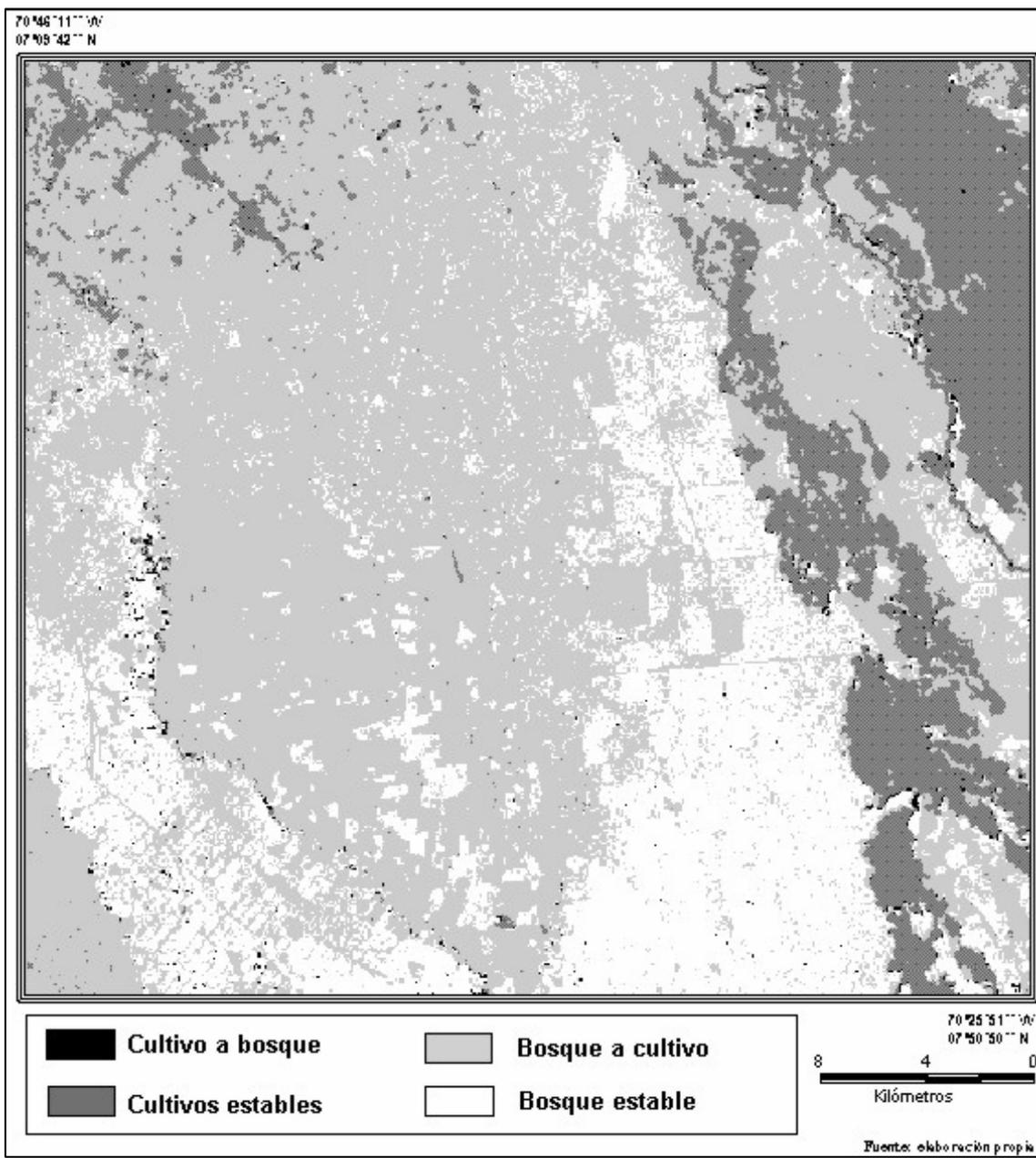


Figura 9. Mapa de cambios en áreas forestales (1972 -1997)

1972				
	HECTAREAS	NO FORESTAL	FORESTAL	TOTAL
1997	NO FORESTAL	19914.88	77330.40	97245.28
	FORESTAL	570.24	32086.88	32657.12
	TOTAL	20485.12	109417.28	129902.40
	PORCENTAJES			
	NO FORESTAL	0.153	0.595	0.749
	FORESTAL	0.004	0.247	0.251
	TOTAL	0.158	0.842	1.000

Tabla 2. Variación de las superficies forestales entre 1972 y 1997

comercialización exterior, que está experimentando el área.

Como se aprecia en este mapa, el proceso de deforestación sobre esta zona ha sido muy intenso, con un ritmo bastante acelerado. En conjunto, puede cifrarse en casi 80.000 ha la superficie forestal perdida, lo que supone casi el 60% del área de estudio (tabla 2). La superficie forestal ha pasado de casi 110.000 a 32.000 ha, incrementándose de modo paralelo los espacios cultivados o dedicados a la explotación ganadera.

Junto a la evolución de las superficies, se ha llevado a cabo un sencillo análisis de la evolución del patrón espacial del área de estudio. Este análisis puede aportar algunos elementos adicionales de juicio, que sirven para valorar con mayor profundidad el tipo de transformaciones que afectan a una determinada zona. En este caso, se ha llevado a cabo un estudio sobre los cambios experimentados en las manchas o agregados espaciales (*patches*) del área de estudio, contabilizando el número de polígonos, su densidad, tamaño promedio y diversidad. Los principales resultados de este análisis aparecen en la tabla 3, en donde se puede observar la creciente tendencia a la fragmentación del espacio, típica de cualquier zona de colonización agraria. Destaca, en primer lugar, el notable contraste entre el mapa obtenido por fotointerpretación y el resto de los mapas, derivados del tratamiento digital de imágenes. El efecto de generalización cartográfica que tiene lugar en la interpretación visual explica esta diferencia. Si bien cabe pensar que en la primera fecha la situación era mucho más uniforme, con seguridad la medida resulta muy baja

debido al tipo de documento que se empleó para la comparación. Dejando este primer mapa al margen, el resto de los valores permiten observar un notable aumento de la fragmentación del espacio. Las manchas registradas en los mapas de 1972 y 1989 resultan bastante parejas, para aumentar notablemente en los dos siguientes periodos: de unos 6.000 polígonos a casi 10.000. El tamaño medio de los polígonos se reduce drásticamente en el último periodo, lo que indica un aumento del proceso de fragmentación del espacio, a consecuencia de la roturación de espacios previamente forestales, más homogéneos, pues de los resultados del censo agrario no parece deducirse un incremento de la parcelación agraria. No obstante, los polígonos más grandes siguen pesando considerablemente, de ahí que el promedio de los más grandes y el máximo absoluto no experimenten una notable variación entre periodos.

En cuanto a las imágenes de diversidad, aportan una visión complementaria a lo comentado previamente sobre el ritmo de los procesos de cambio, remarcando una tendencia al aumento de la diversidad espacial (mayor fragmentación, pues el espacio original se parcela), pese a la pérdida de diversidad vegetal (reducción de las cubiertas forestales). La tendencia es clara en todos los periodos analizados, afectando principalmente al sector forestal. No obstante, en sectores previamente invadidos, se consolida la ocupación agraria (no existe vuelta atrás, al menos en el periodo analizado), por lo que los valores de fragmentación se reducen en estos sectores, especialmente en la imagen de 1997, mientras aumenta notablemente en las áreas previamente forestales, invadidas en esta última fase (fig. 10).

AÑO	NÚMERO MANCHAS	TAMAÑO PROMEDIO	TAMAÑO MAX	TAMAÑO 5 MAX	TAMAÑO MIN
1962	41	3168.361	95545.92	21192.0267	0.48
1972	6174	21.040	97792.80	19918.1067	0.16
1989	5910	21.980	83041.10	19644.9333	0.16
1993	9775	24.733	91787.20	18567.2800	0.16
1997	9467	13.722	91787.20	19542.0267	0.16

Tabla 3. Medidas de diversidad espacial

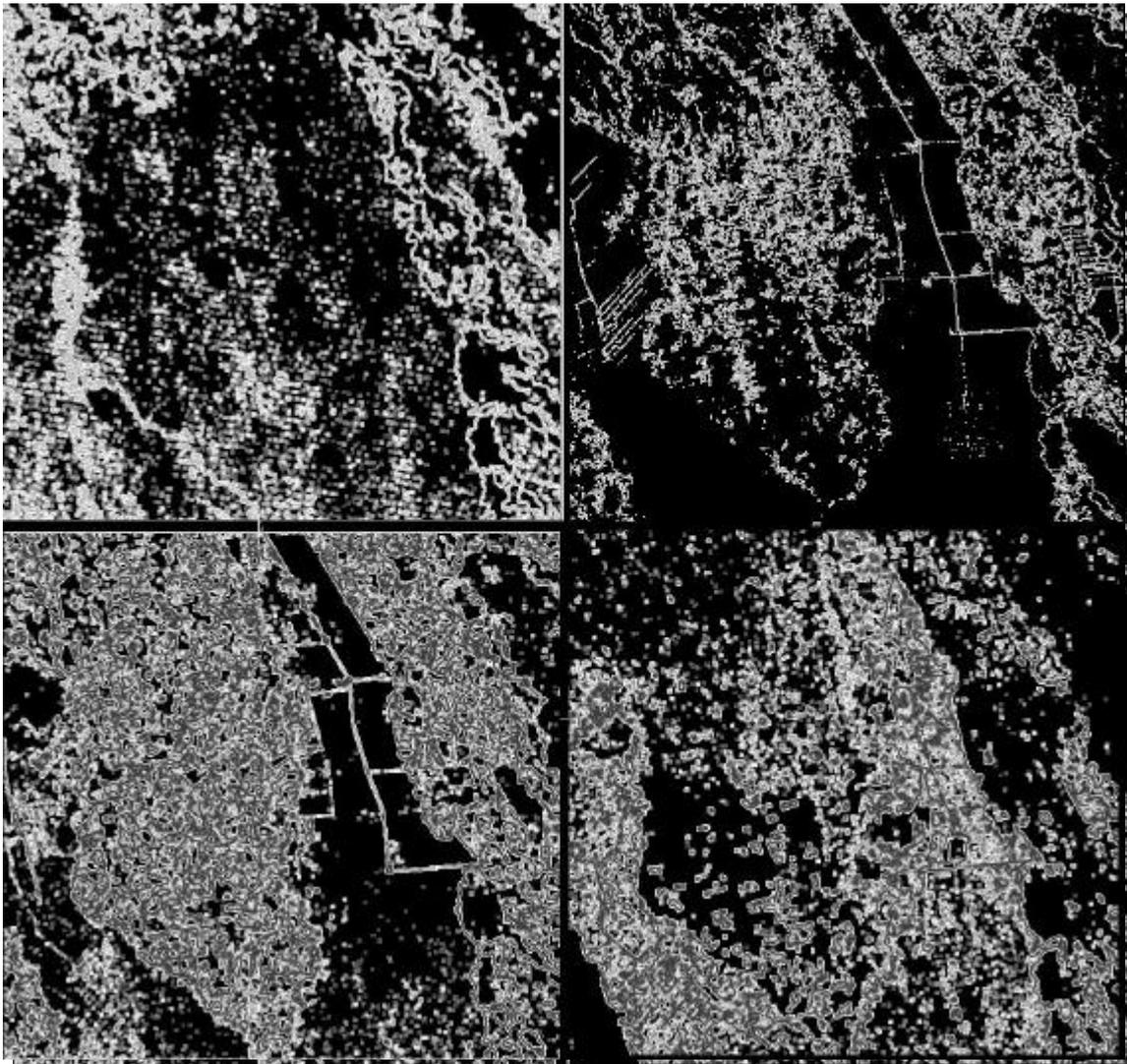


Figura 10. Cambios en la diversidad espacial en el área de estudio
De arriba abajo, izquierda a derecha: 1972, 1989, 1993 y 1997.
Los tonos oscuros indican menor diversidad.

Con todo lo anteriormente dicho, se podría afirmar que la masa boscosa en el área de estudio se puede considerar ya, de algún modo, como remanente. Es de suponer que el valor comercial sea muy reducido, ya que se deben haber extraído las especies más rentables. Por otra parte, es inminente la sustitución de uso, la zona en general se encuentra bien dotada de vías de comunicación y el servicio de electricidad es accesible a la mayor parte de la superficie analizada, por lo que su transformación en pastos no parece lejana en el tiempo.

CONCLUSIONES

La metodología seguida en este trabajo podría ser de gran utilidad para el aprovechamiento, manejo, control y gestión de los recursos naturales de países que presenten un déficit importante de recursos cartográficos, ya que permite lograr actualizaciones cartográficas relativamente económicas que podrían ejecutarse con cierta regularidad, lo que abre un campo accesible, seguro y rápido al seguimiento de fenómenos como el aquí señalado. Esta metodología permitió medir en un lapso de 38 años el proceso de cambio desde el momento en que la superficie de esta reserva se encontraba casi totalmente

cubierta por los bosques y algunas sabanas, hasta llegar a la casi total desaparición de la masa boscosa.

El área de estudio es un territorio en el que convergen diversos intereses económicos, que van desde sectores organizados relacionados con personas que vienen de la parte alta de las montañas andinas limitrofes, o bien proceden del país vecino (Colombia), hasta personas contratadas para llevar a cabo invasiones. Por esta razón, la solución a esta problemática va más allá de introducir legislaciones al respecto, puesto que ya hay abundante material de este tipo. El liderazgo de las posibles soluciones debe recaer en el Gobierno Nacional, que debe asumir el rol que le corresponde a través de las instituciones idóneas, canalizando las medidas que permitan desde ahora la recuperación de la masa forestal remanente por la vía que estimen más conveniente. Pero es indispensable tomar medidas a partir de este momento, ya que en la actualidad más del 90% de la superficie de la Reserva Forestal ya ha sido invadida, por lo que hay que definir, planificar y trabajar en las soluciones que den una salida satisfactoria en un futuro inmediato.

Por todo ello, se propone llevar a cabo, con la intervención directa de los diferentes gobiernos (nacional, estatal y municipal), el desarrollo de proyectos relacionados con las actividades de los sistemas agroforestales o agrosilvopastoriles, para de esta manera usar y manejar estos recursos, de tal forma que las especies leñosas se utilicen en asociación deliberada con cultivos agrícolas o con animales. No se trata de un concepto nuevo, ya que en la región andina contigua a la zona de estudio se desarrolla desde tiempos atrás la práctica del café con sombra, donde la sombra la constituyen frutales o especies forestales de gran valor.

En el proceso de planificación, se debe considerar que el manejo de bosques es una actividad económica necesaria en las naciones que cuenten con recursos forestales, tanto naturales como plantaciones, con el objeto de justificar la existencia y desarrollo de la industria de la madera. El manejo de bosques debe garantizar la producción de materia prima en forma permanente y a niveles constantes. Si no existe esta garantía, no puede subsistir la industria como actividad económica y social. El manejo forestal garantiza la conservación del mismo, regenerando y

aumentando las existencias de madera. En síntesis, el manejo forestal es una actividad económica productiva y conservacionista que genera la producción de bienes y servicios necesarios para un desarrollo integral y verdaderamente sostenible. Así también lo establece la Ley que crea la Reserva Forestal de Ticoporo, que cataloga la zona como patrimonio forestal nacional, que debido a sus características y potencialidades es obvio que se destine a la producción permanente de productos forestales, pero sin menoscabar sus funciones protectoras, recreacionales y científicas; lo que es coherente con lo establecido en la Carta Ecológica de 1992, que prevé buscar rendimientos continuos o sostenidos a través de planes de manejo.

BIBLIOGRAFÍA

Adams, J. B., Sabol, D. E., Kapos, V., Almeida, R., Roberts, D. A., Smith, M. O. y Gillespie, A. R. (1995). Classification of Multispectral Images Based on Fractions of Endmembers: Application to Land-Cover Change in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing of Environment*, 52: 137-154.

Arellano P., G. (1996). *Las Reservas Forestales de Ticoporo y Caparo y sus Ocupantes Ilícitos. Análisis Crítico y consideraciones de las Actas Convenios Generales MARNR-ASODERTI-ASOPROUCA*. Caracas.

Batista, G. T. y Tucker, C. J. (1991). Accuracy of digital classification versus visual interpretation of deforestation in Amazon, *V Simposium Latinoamericano de Percepción Remota*, Cuzco: 407-423.

Centeno, J.C. (1989). *Gritos en el Bosque*. Instituto Forestal Latinoamericano. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables y Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.

Chavez, P.S. y Kwarteng, A.Y. (1989). Extracting Spectral Contrast in Landsat Thematic Mapper Image Data Using Selective Principal Component Analysis. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 55 (3): 339-348.

Chuvienco, E. (2002). *Teledetección Ambiental*. Ariel Ciencia, Barcelona.

- Chuvieco, E. (1999). Measuring changes in landscape pattern from satellite images: short-term effects of fire on spatial diversity. *International Journal of Remote Sensing*, 20: 2331-2346.
- Dale, V.H., O'Neill, R.V., Pedlowski, M. y Southworth, F. (1993). Causes and Effects of Land-Use Change in Central Rondônia, Brazil. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 59 (6): 997-1005.
- Deblonde, G. y Cihlar, J. (1993). A multilayer analysis of the relationship between surface environmental variables and NDVI over the Canadian landmass. *Remote Sensing Reviews*, 7: 151-177.
- Delgado, M.T., Rojas, L.J. y Valbuena, G.J. (1986). *Estudio Socioeconómico de los Ocupantes de la Unidad Experimental de Ticoporo*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. Cuadernos del Comodato ULA-MARNR, Mérida, Venezuela.
- F.A.O. (1993). *Resumen del Informe Final de la Evaluación de los Recursos Forestales 1990. Para las Regiones Tropicales*. Roma. Italia.
- Franco, W. (1987). La Conservación de Bosques Protectores y Productores en Venezuela. *Avance Forestal*, 30: 18-23.
- Gilbert, M. A., González-Piqueras, J. y García-Haro, J. (1997). Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección*, 8: 35-45.
- Green, G. y Sussman, R. W. (1990). Deforestation History of the Eastern Rain Forests of Madagascar from Satellite Images. *Science*, 248: 212-215.
- Grover, K. D., Quegan, S., Yanasse, C. C. F. y Dutra, L. V. (1995). Potencial Use of ERS-1 in Tropical Forest Monitoring. A study of the Tapajos National Forest, Brazil. *Earth Observation Quarterly*, 48: 12-15.
- Guyot, G. y Gu, X. F. (1994). Effect of radiometric corrections on NDVI determined from SPOT-HRV and Landsat-TM data. *Remote Sensing of Environment*, 49: 169-180.
- Hlavka, C. A. y Spanner, M. A. (1995). Unmixing AVHRR imagery to assess clearcuts and forest regrowth in Oregon. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33: 788-795.
- Laques, A.E. (1993). *Dynamique D'Un Front Pionnier en Domaine Forestier Tropical: Le Cas de Ticoporo (Piémont des Andes Vénézuéliennes)*. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse-Le Mirail, UFR Géographie et Aménagement, Toulouse.
- Malingreau, J. P., Verstraete, M. M. y Achard, F. (1992). Monitoring global tropical deforestation: a challenge for remote sensing, en *TERRA-1: Understanding the Terrestrial Environment* (Mather, P. M., Ed.). London, Taylor & Francis: 121-131.
- M.A.R.N.R. (1984). *Inventario de Suelos: Sector Ticoporo (Llanos Occidentales)* Programa Inventario Nacional de Tierras (PINT), Zona 2, Maracay. Venezuela.
- M.A.R.N.R. (1991). *Censo de Ocupantes de las Reservas Forestales de Ticoporo y de Caparo en el Estado Barinas. Informe Síntesis*. Caracas.
- Nelson, B. W. (1994). Natural forest disturbance and change in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing Reviews*, 10: 105-125.
- Rojas, L.J. (1993). *La Colonización Agraria de las Reservas Forestales: ¿Un Proceso sin Solución?*. Cuadernos Geográficos, 10. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Shimabukuro, Y. E., Holben, B. N. y Tucker, C. J. (1994). Fraction images derived from NOAA-AVHRR data for studying the deforestation in the Brazilian Amazon. *International Journal of Remote Sensing*, 15: 517-520.
- Vargas V., F. (1995). *Análisis de las Técnicas de Detección de Cambios para Estudiar procesos de Deforestación: el Caso de la Reserva Forestal de Ticoporo (Venezuela)*. Trabajo de Ascenso. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Geografía. Mérida. Venezuela.
- Vargas, F. (2000). *Empleo de la teledetección para seguir procesos de deforestación el caso de la reserva de Ticoporo (Venezuela)*. Tesis Doctoral, Universidad de Alcalá, Departamento de Geografía, Madrid.