

DINÁMICA DE LA DEFORESTACIÓN EN REGIONES TROPICALES A PARTIR DEL ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES SPOT

F. VARGAS¹ Y E. CHUVIECO².

¹ Escuela de Geografía, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela

² Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá de Henares. Alcalá de Henares.

RESUMEN

La dinámica de la deforestación en regiones tropicales está ocupando un creciente interés en la comunidad científica internacional a consecuencia de la importancia y fragilidad ecológica de estos espacios. La contribución del análisis de imágenes espaciales a este problema resulta bastante destacado, por cuanto se trata de sectores sobre los que la información cartográfica es bastante limitada, amén del propio dinamismo del fenómeno, difícil de cubrir por métodos convencionales.

El presente trabajo pretende mostrar un ejemplo práctico de este tipo de estudios, mediante el análisis multitemporal de dos imágenes SPOT adquiridas sobre la región de los Llanos occidentales venezolanos. Las imágenes fueron obtenidas en marzo de 1987 y febrero de 1989. Ambas corresponden al período seco, único en el que es posible recibir imágenes de buena calidad. Tras un registro geométrico, que permitió superponer las dos imágenes, el seguimiento de los cambios entre las dos fechas se estudió a partir de distintas técnicas digitales: índices de vegetación, componentes principales y análisis no supervisado. Cada una de estas técnicas ofreció un aspecto particular del cambio entre escenas, mostrándose el interés de su uso combinado para conseguir una imagen más completa de un proceso de cambio.

ABSTRACT

Tropical deforestation is one of the most important environmental problems faced by the international community. Thousands of hectares are deforested every year. Ecological impacts are not yet fully evaluated, but this process is focusing the attention of a wide range of environmental scientists. Interpretation of satellite imagery can be very valuable to monitor tropical deforestation, because of the dynamism of this process and the lack of cartographic information on tropical regions.

This paper presents an application of multitemporal analysis of SPOT-HRV data to monitor vegetation changes. Two images were used, from 1987 and 1989, covering a forested area of Los Llanos Occidentales in Venezuela. After performing a geometrical correction, both images were overlaid and analyzed together. Several change detection techniques were used: multitemporal vegetation indices, principal components and unsupervised classification. All of them reported a different perspective of vegetation change, so a multitechnique approach is recommended for these studies.

1. INTRODUCCIÓN

La deforestación en los trópicos es uno de los principales problemas ecológicos actuales. La acelerada transformación de vastas extensiones de bosque tropical preocupa notablemente a científicos y conservacionistas, que observan los impactos de esta conversión sobre la degradación de suelos, los regímenes hidrológicos, la diversidad biológica y los procesos climáticos globales (Gradsohl y Greenberg, 1988; Houghton, 1990). En contraste con este planteamiento, el bosque tropical se considera en algunos países como la única frontera del espacio agrícola, fuente básica de ingresos para la población con carencias alimentarias (Malingreau et al., 1989).

Por encima de ambos enfoques, resulta obligado subrayar la importancia cuantitativa del fenómeno de deforestación, que está alterando sustancialmente los biomas del cinturón tropical. Sus efectos aún no se han evaluado completamente, pero es indudable su notable influencia, no sólo sobre el medioambiente, sino también sobre los pobladores de estas regiones (Repetto, 1990; Myers, 1991).

El conjunto del bosque tropical, que puede definirse como bosque estacional siempre verde, ocupa aproximadamente 10 millones de Km², esto es, el 7% de la superficie mundial. De ellos, una parte muy sustancial se encuentra en el continente americano, desde Centroamérica hasta las latitudes templadas del Hemisferio Sur. Según cálculos recientes (MOPU, 1990), en los últimos 30 años se han deforestado

en América Latina y el Caribe unos 2 millones de Km², lo que representa una superficie equivalente a la totalidad del territorio mejicano. Actualmente, la tasa de deforestación en el área asciende a cerca de 75.000 Km² anuales, algo más de la mitad del total mundial deforestado en regiones tropicales (Houghton, 1990). En consecuencia, Latinoamérica se coloca en primer lugar, tanto en lo que atañe a la extensión del bosque tropical, como a su transformación, sufriendo la destrucción más intensa de sus ecosistemas naturales, especialmente en lo que atañe a la cuenca amazónica (Siole, 1991). El gran potencial económico de estos recursos renovables se sacrifica a expensas de actividades que sólo generan beneficios a corto plazo, como la expansión insostenible de una ganadería extensiva y muy poco tecnificada.

2. OBJETIVOS

Como ejemplo de estos procesos de deforestación se ha seleccionado para este trabajo el área próxima a la reserva forestal de Ticoporo, localizada en el estado Barinas, en los Llanos occidentales venezolanos.

El principal objetivo de este trabajo ha sido evaluar el interés de las imágenes de alta resolución espacial para estudiar procesos locales de deforestación. Se pretendía aplicar distintas técnicas de detección de cambios, con objeto de calcular la dimensión y naturaleza de las transformaciones.

3. ANTECEDENTES

3.1. Teledetección y deforestación tropical.

Las imágenes procedentes de los satélites de observación de la Tierra, han sido profusamente utilizadas para la detección de cambios. En lo que se refiere específicamente a la cartografía y seguimiento de la deforestación, se ha coordinado un esfuerzo internacional para establecer programas permanentes, especialmente en la cuenca del Amazonas (Nelso et al., 1987; Malingreau y Tucker, 1987; Miller, 1991) y el Golfo de Guinea (Programa TREES).

La metodología abordada hasta el momento parte del empleo de sensores de baja resolución, principalmente NOAA-AVHRR, tanto en formato HRPT y GAC, si bien se han empleado asimismo otros sensores de mayor resolución, como Landsat-MSS, que cuenta ya con una serie temporal relativamente alta (ininterrumpida desde 1972: Green y Sussman, 1990).

El principal problema del sensor AVHRR se relaciona con el tamaño del píxel, idóneo para el estudio de procesos globales, pero que ofrece dificultades para matizar procesos locales. Por un lado, el efecto homogeneizador del tamaño del píxel puede sobre-valorar la deforestación, al detectar una señal radiométrica más similar a la vegetación herbácea que a la forestal, incluso aunque ésta represente el 60% de la superficie del píxel, como se ha podido comprobar en Brasil y Ghana (Cross et al., 1991).

Por otro lado, se puede producir también el efecto contrario, infra-valorar la deforestación cuando se producen entre-

sacas selectivas de madera sin producir grandes claros en la mancha forestal. Estas actuaciones, más ligadas a la producción forestal que a la transformación ganadera o agrícola, tienen una menor repercusión ecológica que éstas, aunque implican asimismo una notable degradación del bosque tropical.

En consecuencia, parece recomendable abordar un análisis combinado entre sensores de baja y alta resolución (Stone et al., 1991). Los primeros para ofrecer la imagen global del fenómeno, y los segundos para análisis de mayor detalle. Este último aspecto es el considerado en este trabajo, en donde se ensaya el empleo de imágenes SPOT para estudiar procesos locales de deforestación.

3.2. Métodos de detección de cambios.

La estabilidad orbital de los satélites de observación terrestre facilita notablemente los estudios multitemporales, al adquirir imágenes de la misma zona, con una cadencia fija, similares condiciones de observación y por el mismo sensor. No obstante, los estudios de detección de cambios presentan algunas dificultades. Las más importantes son: (i) la calibración geométrica y radiométrica entre imágenes, (ii) la dificultad para aislar el componente de cambio, (iii) el aumento de datos a tratar y, (iv) el incremento de los costes.

De estos problemas, vamos a restringirnos a los dos primeros, que suponen las principales limitaciones de nuestro objetivo. La calibración geométrica y radiométrica resulta necesaria para cualquier comparación mutua entre imágenes. Se requiere que éstas se encuentren registradas con elevada precisión, pues, de lo contrario, las comparaciones se aplicarán incorrectamente, no al mismo píxel entre fechas, sino algunos de los vecinos. Esto comprometería notablemente la exactitud final de los resultados (Gordon, 1980; Nelson y Grebowsky, 1982; Singh, 1989).

En cuanto a la calibración radiométrica, resulta más necesaria cuando se trabaja con imágenes adquiridas en distinta estación. Esto supone que presenten condiciones de iluminación muy variada: la altura del sol sobre el horizonte es menor en invierno, con el consiguiente aumento del efecto de sombras. También pueden producirse variaciones en la calibración de los sensores o en el efecto de dispersión atmosférica. Estos problemas tienden a corregirse mediante muestras tomadas sobre áreas poco afectadas por cambios estacionales (aeropuertos, parcelas sobre suelos desnudos, o aguas profundas). A partir de una fecha de referencia, el resto de imágenes pueden equiparse a ésta mediante regresión lineal sobre los ND de esas zonas de muestra (Lo et al., 1986; López y Caselles, 1989). Otros autores recomiendan previamente la transformación de los valores digitales de la imagen a niveles de reflectividad, eliminando el efecto de calibración de los sensores y altura solar (Robinove, 1982; Fung y Le Drew, 1987; Hill y Sturm, 1991).

Una vez resuelta la superposición entre imágenes, el paso siguiente es seleccionar algún criterio que permita aislar las áreas de cambio en la imagen. Los algoritmos más utilizados, en este sentido son:

(i) sustraer píxel a píxel, los ND de las dos imágenes originales, para luego indicar umbrales de cambio entre ellas (Schowengerdt, 1983, pp 68-71);

(ii) realizar un cociente entre los mismos valores (Howarth y Wickware, 1981; Mussakowki, 1985);

(iii) aplicar la técnica de componentes principales, seleccionando los componentes menos importantes al indicar áreas poco comunes a ambas fechas (Byrne et al., 1980; Richards, 1984);

(iv) calcular la recta de regresión entre los ND de las dos imágenes, aislando los píxeles de cambio, de acuerdo al tamaño de los residuales (Singh, 1986);

(v) clasificación no supervisada de las bandas correspondientes a las dos fechas (Singh, 1986);

(vi) clasificación no supervisada de bandas sintéticamente generadas, tales como componentes principales o transformación tasseled cap (Wasterson et al., 1981; Schreier et al., 1982; Fung, 1990);

(vii) sustraer, píxel a píxel, dos imágenes previamente clasificadas (Hall et al., 1984).

De estas técnicas, hemos ensayado la aplicación del análisis de componentes principales y del no supervisado, sobre las bandas originales. Además, y por cuanto nos centrábamos en procesos de deforestación, añadimos la comparación entre los índices de vegetación de cada una de las imágenes.

4. METODOLOGÍA

4.1. Descripción general de la zona de estudio.

La zona de estudio se encuentra ubicada en el Distrito Pedraza, Estado Barinas, en los Llanos occidentales venezolanos. Corresponde al área inmediata a la reserva forestal de Ticoporo, encargada a la Universidad de los Andes. El sector limita al Norte por el piedemonte andino, y por lo ríos Acequia-Anaro, Suripá y Quiu-Zapa, al Este, Sur y Oeste, respectivamente (Figura 1).

El área dispone solamente de registros pluviométricos y de estaciones ubicadas a lo largo del piedemonte. La precipitación anual media es de 2.383 mm, de los cuales el 92,7% se distribuye entre los meses de abril a diciembre. Los meses de junio a agosto tienen los totales más altos (superiores a los 300 mm). Enero y febrero son los meses más secos, siendo marzo transición entre las dos estaciones.

En cuanto a la hidrología, el área está surcada por ríos de régimen permanente, provenientes de la cuenca andina y en dirección NO-SE y son colectados por el río Suripá que fluye en dirección E-O. Los cursos tienen un comportamiento caracterizado por una sucesión de aguas altas y bajas. Por ejemplo, el río Acequia presenta cuatro épocas en su régimen anual: final de la época húmeda y comienzo de la seca durante el mes de noviembre; época seca, desde diciembre hasta fines de marzo; final de la época seca y comienzo de la húmeda (o de transición), en el mes de abril, y época húmeda (o de aguas altas) entre mayo y octubre. Los excesos de humedad, junto a factores como relieve plano, características de los suelos, o densidad de drenaje, contribuyen a la

permanencia de la humedad e inundaciones estacionales.

Dos formaciones vegetales dominan el área: la forestal y sabana. La primera puede dividirse en tres sectores: (i) bosque alto denso, con predominio de especies de los géneros Brosimum, Bombacopsis, Pouteria, Mouriri, Anacardium y otras; (ii) asociación de bosque alto denso y bosque ralo, con predominio de especies como Bombacopsis, Pouteria, Palmae, Swietenia, y Brosimum, y (iii) bosque bajo, con predominio de especies arbustivas, como Mimosoideae, Bacris, Spondias, Bombacopsis, Triplaris, Inga, Ceiba, Pterocarpus y Ficus. En cuanto a la sabana, en este sector se localizan las denominadas sabanas húmedas, en las que pueden presentarse láminas de agua o zonas que permanecen encharcadas durante toda la estación lluviosa. Predominan allí las especies de Paspalum, Scleria y menor dominancia, Talia, Eleocharis, Ipomea y especies arbóreas aisladas.

Respecto a los suelos, en la zona aparecen cinco categorías que se localizan desde el piedemonte hasta la planicie (MARNR, 1984): Ultisoles, Alfisoles, Vertisoles, Inceptisoles, Mollisoles y Entisoles.

4.2. Materiales.

Para el logro de nuestros objetivos, obtuvimos dos imágenes adquiridas por el satélite SPOT sobre la zona de estudio, el 13 de marzo de 1987 y el 16 de febrero de 1989. La calidad de ambas es buena, en términos generales, si bien la primera fecha ofrece una banda de nubes y humo en el centro, provocado por la quema de pastizales. Ambas corresponden al período seco, por lo que presentan similares condiciones de radiancia media y altura solar. Como se trata de una zona con escasa pendiente, sin relieves destacados, no pareció necesario abordar una homogeneización radiométrica entre imágenes. Además, las técnicas empleadas no consideran comparaciones absolutas, sino relativas a cada fecha, por lo que preferimos trabajar con los niveles digitales originales.

Como apoyo cartográfico, se disponía de un inventario de suelos y un mapa del uso actual de la Tierra en el Estado Barinas, a 1:100.000, así como fotografías aéreas y trabajos de campo, que permitieron contrastar los resultados del tratamiento.

4.3. Superposición digital.

Puesto que se trata de un trabajo multitemporal, el primer paso necesario en el estudio era la superposición digital entre las dos imágenes. Para ello, abordamos una corrección geométrica entre imágenes, apoyándonos en 20 puntos de control. De ellos, fueron desechados 6, de imprecisa localización entre las dos fechas, para lograr un ajuste final de 0,899 píxeles, con desviación de 0,53 píxeles en X y 0,72 en Y.

Esta superposición digital de las dos imágenes, permitió una primera valoración de los cambios, a partir de una composición en color de ambas fechas (Imágenes 1 y 2). Se observa, en primer lugar, la presencia de un nuevo sector de explotación, situado en el cuadrante NE de la escena, para

el que se ha desarrollado una nueva red de pistas forestales. Las áreas ya deforestadas en 1987 se mantienen con vegetación herbácea, mientras las explotaciones selectivas ofrecen un desplazamiento espacial hacia el Sur (dentro del cuadrante SW).

4.4. Índices de vegetación multitemporales.

El empleo de índices de vegetación resulta muy común en la cartografía e inventario forestal. En este trabajo, se empleó el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDCI, Cfr. Chuvieco, 1990) para las dos imágenes. Este índice se justifica por facilitar las comparaciones multitemporales, pues adquiere valores en un margen conocido (de -1 a +1), además de minimizar el efecto de calibrado del sensor y de las condiciones atmosféricas (homogeneización entre bandas). En nuestro caso, y para escalar el resultado, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{NDVI} = [((X3-X2)/(X3+X2))+1]*100$$

con lo que los valores negativos originales se expandieron entre 0 y 100, y los positivos entre 100 y 200. Para restringir el análisis de cambios a los sectores propiamente ocupados por vegetación forestal, se eliminaron de estas imágenes los píxeles con NDVI inferior a 120 (para el año 1987) y 130 (para el 1989). De esta forma se prescindía de comparar áreas con vegetación herbácea, o suelos quemados, en ambas fechas.

La composición coloreada de ambas imágenes permite refinar el análisis multitemporal antes iniciado. Se asignó el color rojo al NDVI de 1987, y el verde y azul al correspondiente a 1989. De esta forma, se observan en tonos grises las áreas que no han cambiado significativamente, en rojos los sectores que han perdido vegetación, y en tonos cian los que han ganado. Lamentablemente, no todas estas zonas pueden calificarse como propiamente "reforestadas", sino que, en su mayoría, coinciden con los sectores parcialmente cubiertos de nubes o humo en la imagen del 87, por lo que ofrecían valores más bajos del NDVI.

Tras el análisis de esta composición, resultan de nuevo evidentes las transformaciones, bastante intensas en el sector oriental de la imagen, junto al río Anaro y el área ya colonizada. Asimismo, se observa otro sector en el borde occidental, junto al cauce del río Socopó (Madre Vieja), claro indicador de nuevas expansiones. En el centro de la escena, se observa una mejor preservación del substrato forestal. Se trata del sector explotado por empresas privadas, que previenen la colonización espontánea.

Puede obtenerse una visión sintética de los cambios a partir de un índice multitemporal, aplicado al NDVI de cada fecha, de forma similar al obtenido previamente. Esto es:

$$\text{NDVI (87/89)} = [((\text{NDVI}_{89}-\text{NDVI}_{87})/(\text{NDVI}_{89}+\text{NDVI}_{87}))+1]*100$$

Esta técnica nos permite detectar, para cada píxel de la imagen, si ha ganado o perdido vegetación, entre ambas fe-

chas. Simplificando mucho las cosas, hemos calculado una imagen resumen, que incluye las siguientes categorías: sin vegetación, pérdida de vegetación y ganancia de vegetación, según aumentara o disminuyera el NDVI. Para generalizar los resultados se aplicó finalmente un filtro modal.

4.5. Análisis de componentes principales.

Esta técnica puede aplicarse a la detección de cambios entre dos fechas de referencia, obteniendo los componentes para el conjunto de las dos imágenes, y extrayendo aquellos que ofrezcan una clara disimetría entre ellas (por ejemplo, cargas positivas en una fecha y negativas en otra). Los ejes que albergan la mayor parte de la varianza total, los primeros componentes, son los menos interesantes para deducir cambios, puesto que expresan características comunes a las diversas fechas. Por el contrario, los componentes intermedios, muestran aspectos particulares de cada una de ellas, por lo que resultan idóneos para detectar cambios.

En el presente caso se utilizó el ACP con las seis bandas que corresponden a las dos fechas del registro de la zona bajo estudio. El sentido espectral de estos componentes, se obtuvo a partir de la matriz de eigenvectores, de donde se muestra la asociación entre cada componente y las bandas originales (Tabla 1). Para nuestros objetivos el tercer y cuarto CP resultan los más adecuados, ya que ofrecen valores negativos para la imagen de 1987 y positivos para la de 1989. En el primer caso se refiere a cualquier cambio entre fechas, y en el segundo a los cambios de vegetación, puesto que las cargas en el infrarrojo cercano son positivas para el 87 y negativas para el 89.

Tabla 1
Eigenvectores de los Componentes Principales.

Banda	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
87IR	0,79	0,42	-0,39	0,20	0,04	-0,05
87R	-0,09	0,33	-0,20	-0,50	-0,22	0,74
87V	-0,20	0,40	-0,19	-0,61	0,15	-0,61
89IR	0,35	0,26	0,87	-0,22	0,06	0,02
89R	-0,23	0,41	0,10	0,32	-0,79	-0,20
89V	-0,40	0,56	0,06	0,44	0,55	0,17

Obtuvimos las imágenes correspondientes a estos componentes, estableciendo sobre ellas cuatro rangos, como indicador de la intensidad de cambio, a partir de su media y desviación típica (Imagen 3). Estas imágenes nos ofrecen una perspectiva característica frente a los índices de vegetación, ya que muestran la intensidad de los cambios entre ambas fechas, independientemente de su dirección. En otras palabras, la técnica de CP permite detectar aquellos píxeles que han experimentado un cambio más brusco de radiancia espectral, independientemente de su origen y destino. Así, por ejemplo, en el CP3 los valores más altos corresponden tanto a zonas que han perdido cubierta forestal, como a otros sectores que no la tenían previamente. Por ejemplo, se observa

un sector de alta intensidad en los pastizales del centro de la imagen, recién quemados en 1987 y cubiertos por herbáceas en el 89,

4.6. Clasificación no supervisada,

El empleo de la clasificación no supervisada sobre las seis bandas multitemporales se justifica para determinar el sentido del cambio. Previamente vimos la pérdida o ganancia de vegetación y la intensidad del cambio. Con la clasificación no supervisada pretendimos establecer matrices de cambio, identificando el estado inicial y final de los principales grupos espectrales de la imagen.

Se utilizó para este análisis el algoritmo ISODATA, deduciendo 30 clases a partir de las seis bandas correspondiente a las dos fechas. A partir de las estadísticas generadas para cada clase, con la revisión en la fotografía aérea y el conocimiento del terreno, se estableció una matriz de cambios para las principales categorías de la imagen (Tabla 2, Imagen 4). Este cuadro resume los principales cambios acaecidos entre fechas, su origen y destino, reforzando la información obtenida en las técnicas previamente comentadas. Se confirma la importante pérdida o deterioro del substrato forestal, con notables transiciones de bosques llanero o gramíneas y a bosque llanero degradado (casi un 44%). Por el contrario, sólo un 2,26% del total, ha evolucionado de gramíneas a bosque, en aquellos sectores de la imagen donde se aborda una producción forestal sostenida. Esta misma impresión ofrece la evolución del bosque galería, más restringido espacialmente y asentado sobre suelos menos fértiles, por lo que no ofrece transiciones hacia gramíneas, pero sí hacia una mayor degradación. En ambos casos, se muestra el interés de contar con imágenes de alta resolución para estudiar

aclareos parciales, difícilmente cuantificables sobre sensores menos precisos.

Tabla 2
Cambios entre cubiertas vegetales en el sector de Ticoporo (porcentaje sobre el total de la imagen).

DESTINO 1989/ ORIGEN 1987	GRAMIN.	B.LLAN.	B.LLAN. DEGRAD.	B.GALER.	B.GALER. DEGRAD.
GRAMINEAS	29,30	2,26	-	-	-
BOSQUE LLANERO	13,39	12,72	30,53	-	-
BOSQUE GALERIA	-	-	-	1,77	9,30

6. CONCLUSIONES

La principal conclusión que puede deducirse del estudio es la notable importancia de abordar este tipo de estudios para medir el dinamismo de la deforestación. Pese al corto margen temporal entre las imágenes analizadas, la magnitud de los cambios resulta bastante evidente. El empleo de los sensores de alta resolución complementa la información ofrecida por el AVHRR, permitiendo un análisis mucho más detallado de los cambios, tanto en lo que se refiere a la cubierta forestal, como a otros tipos de ocupación. Las técnicas de detección de cambios resultan idóneas para obtener una visión integrada del proceso, puesto que no sólo ofrecen la extensión del cambio, sino también su sentido y dirección, predominando en nuestro caso la degradación de la cubierta forestal, con ritmos especialmente intensos en los sectores bajo control de corporaciones estatales.

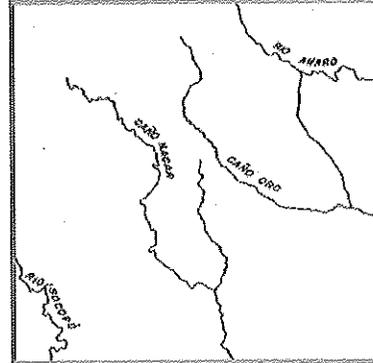


Figura 1.-
Área de estudio.

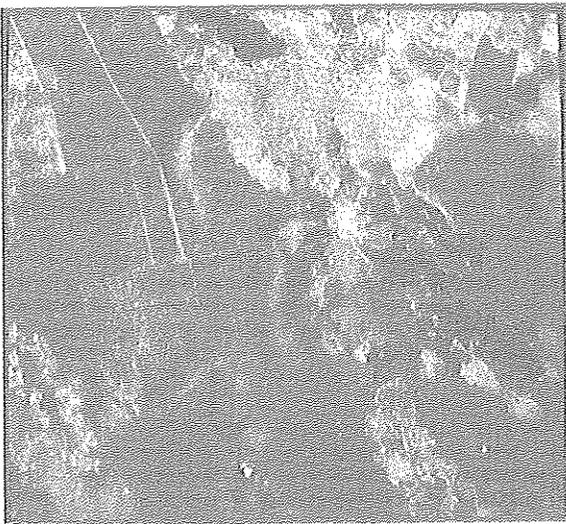


Imagen 1.- Imagen SPOT del sector de Inoporo: 1987. Véase Anexo de color.



Imagen 2.- Imagen SPOT del sector de Inoporo: 1989. Véase Anexo de color.

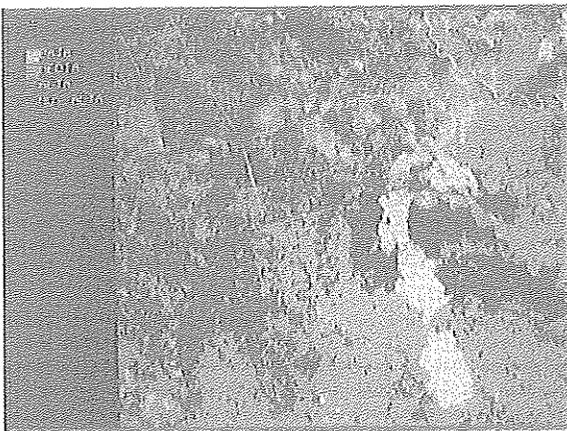


Imagen 3.- Intensidad del cambio a partir del análisis de componentes principales. Véase Anexo de color.

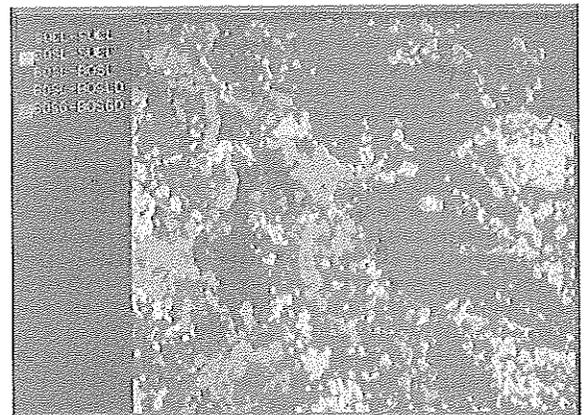


Imagen 4.- Dirección del cambio forestal entre 1987 y 1989: suelo a suelos, bosque llanero a suelo, bosque llanero a mantenido, bosque llanero a bosque llanero degradado, bosque galería a bosque galería degradado. Véase Anexo de color.

7. BIBLIOGRAFIA

- ✓ BYRNE, G.F.; CRAPPER, P.F. y MAYO K.K. (1980): Monitoring land-cover change by Principal Component analysis of multitemporal Landsat Data, *Remote Sensing of Environment*, vol. 10, pp.175-184.
- ✓ CHUVIECO, E. (1990): *Fundamentos de Teledetección Espacial*, Rialp. Madrid.
- ✓ CROS, A.M.; SETTLE, J.J.; DRAKE, N.A. y PAIVINEN, R.T.M. (1991): Subpixel measurement of tropical forest cover using AVHRR data, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 12, pp.1119-1129.
- ✓ FUNG, T. y LEDREW, E. (1987): Application of principal components analysis to change detection, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 53, pp.1649-1658.
- ✓ FUNG, T. (1990): An Assessment of TM imagery for land-cover change detection, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 28, pp. 681-684.
- ✓ GORDON, S.I. (1980): Utilizing Landsat imagery to monitor land use change: a case study in Ohio, *Remote Sensing of Environment*, vol. 9, pp.189-196.
- ✓ GRADWOHL, J. y GREENBERG, R. (1988): *Saving the Tropical Forests*, Earthscan Publications Ltd, London.
- ✓ GREEN, G. y SUSSMAN, R.W. (1990): Deforestation history of the Eastern rain forests of Madagascar from satellite images, *Science*, vol. 248, pp. 212-215.
- ✓ HALL, R.J.; CROWN, P.H. y TITUS, S.J. (1984): Change detection methodology for aspen defoliation with landsat MSS digital data, *Canadian Journal of Remote Sensing*, vol. 10, pp.135-142.
- ✓ HILL, J. y STURM, B. (1991): Radiometric correction of multitemporal Thematic Mapper data for use in agricultural land-cover classification and vegetation monitoring, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 12, pp. 1471-1491.
- ✓ HOUGHTON, R.A. (1990): The global effects of tropical deforestation, *Environmental Science and Technology*, vol. 24, pp.414-422.
- ✓ JENSEN, J.R. (1986): *Introductory Digital Image Processing. A remote Sensing Perspective*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- ✓ LO, T.H.C.; SCARPACE, F.L. y LILLESAND, T.M. (1986): Use of multitemporal spectral profiles in agricultural land-cover classification, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. vol. 52, pp.535-544.
- ✓ LÓPEZ, M.J. y CASELLES, V. (1989): A multi-temporal study of chlorophyll A concentration in the Albufera lagoon of Valencia, Spain, using Thematic Mapper data, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 11, pp. 301-311.
- ✓ MALINGREAU, J.P. y TUCKER, C.J. (1987): The contribution of AVHRR data for measuring and understanding global processes: Large-scale deforestation in the Amazon basin, en proc. IGARS'87, Ann Arbor, pp. 443-448.
- ✓ MALINGREAU, J.P.; TUCKER, C.J. y LAPORTE, N. (1989): AVHRR for monitoring global tropical deforestation. *International Journal of Remote Sensing*, vol 10, pp. 855-867.
- ✓ M.A.R.N.R. (1984): *Programa Inventario Nacional de Tierras*. Inventario de Suelos del Sector Ticoporo. Llanos Occidentales. Maracay.
- ✓ MILLER, S. (1991): Earth summit priority: slow deforestation, *Environmental Science and Technology*, vol. 25, pp.1345-1346.
- ✓ MOPU, (1990): *Desarrollo y Medio Ambiente en América Latina y el Caribe. Una visión evolutiva*. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. Madrid.
- ✓ MUSSAKOWKI, R.S. (1985): Revising agricultural land use maps by digital change detection on Landsat data, en *ASPRS 51 st Annual Meeting, Tech. Papers.* (C. Congreso, Ed), Nadie, Washington, pp.312-319.
- ✓ MYERS, N. (1991): Tropical deforestation: the latest situation, *Bioscience*, vol. 41, pp.282-283.
- ✓ NELSON, R.; CASE, O.; HORNING, N.; ANDERSON, V. y PILLAI, S. (1987): Continental land cover assessment using Landsat MSS data, *Remote Sensing of Environment*, vol. 21, pp.61-81.
- ✓ NELSON, R. y GREBOWSKY, G. (1982): Evaluation of temporal registration of Landsat scenes, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 3, pp.45-50.
- ✓ REPETTO, R. (1990): Deforestation in the Tropics, *Scientific American*, vol. 262, pp 36-42.
- ✓ RICHARDS, J.A. (1984): Thematic mapping from multitemporal image data using the principal component transformation. *Remote Sensing of Environment*, vol. 16, pp. 35-46.
- ✓ ROBINOVE, C. (1982): Computation with physical values from Landsat digital data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. vol 48, pp 781-784.
- ✓ SCHOWENGERDT, R.A. (1983): *Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing*, Academic Press, New York.
- ✓ SCHREIER, H.; GOODFELLOW, J.C. y LAVKULICH, L.M. (1982): The use of digital multi-date Landsat imagery in terrain classification, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 48, pp. 111-119.
- ✓ SINGH, A. (1986): Change detection in the Tropical forest environment of Northeastern India using Landsat, en *Remote Sensing and Tropical Land Management*, (M.J. Eden, J.T. Parry, Eds), John Wiley, Chichester, pp. 237-254.
- ✓ SINGH, A. (1989): Digital change detection techniques using remotely sensed data, *International Journal of Remote Sensing*, vol 10, pp.989-1003.
- ✓ SIOLE, H. (1991): Amazonia, Deforestation and possible effects, *Forest Ecology and Management*, vol. 38, pp. 123-132.
- ✓ STONE, T.A., BROWN, I.F. Y WOODWELL, G.M. (1991): Estimation, by remote sensing, of deforestation in central Rondonia, Brazil, *Forest Ecology and Management*, vol. 38, pp.291-304.
- ✓ WASTENSON, L., ARNBERG, W., BORESJÖ, L. Y IMSE, M. (1981): Computer anal. of multit. Landsat data for mapping of land use forest clearcuts and mines., en *Matching Rem. Sens. Tech. and their applications*, West Lafayette, pp.375-396.