

Detección de cambios con imágenes Landsat mediante análisis en componentes principales y factorial de correspondencias

S. LOPEZ SORIA, F. GONZALEZ ALONSO, J.M. CUEVAS GOZALO y R. LLOP POMARES

RESUMEN

La utilización del Análisis en Componentes Principales y del Análisis Factorial de Correspondencias dentro de una metodología de Detección de Cambios permite reducir considerablemente el volumen de datos a almacenar y procesar, generando variables que contienen la información relativa al cambio producido en determinados aspectos de la escena, como el verdor ("greenness", PVI) o el brillo ("brightness", albedo).

Introducción

Una de las principales aplicaciones de los datos obtenidos por Teledetección, en su vertiente temporal, es la detección de cambios producidos por una drástica degradación del medio natural. Incendios forestales, inundaciones, grandes sequías, pueden ser estimados y monitorizados en su evolución posterior mediante el análisis de las imágenes obtenidas periódicamente por los distintos satélites y "scanners" actualmente en servicio.

El aumento de la definición en los sensores de alta resolución (TM y HVR), junto con la multiplicidad de imágenes implicadas, provocan un elevado volumen de información que hace aconsejable el uso de técnicas de compactación y selección de variables en la creación de los archivos multitemporales. Es aquí donde intervienen el Análisis en Componentes Principales (A.C.P.) y el Análisis Factorial de Correspondencias (A.F.C.).

Dentro de un esquema general de Detección de Cambios (D.C.) (fig.1) el presente estudio se enmarca en la segunda fase: generación de variables de cambio.

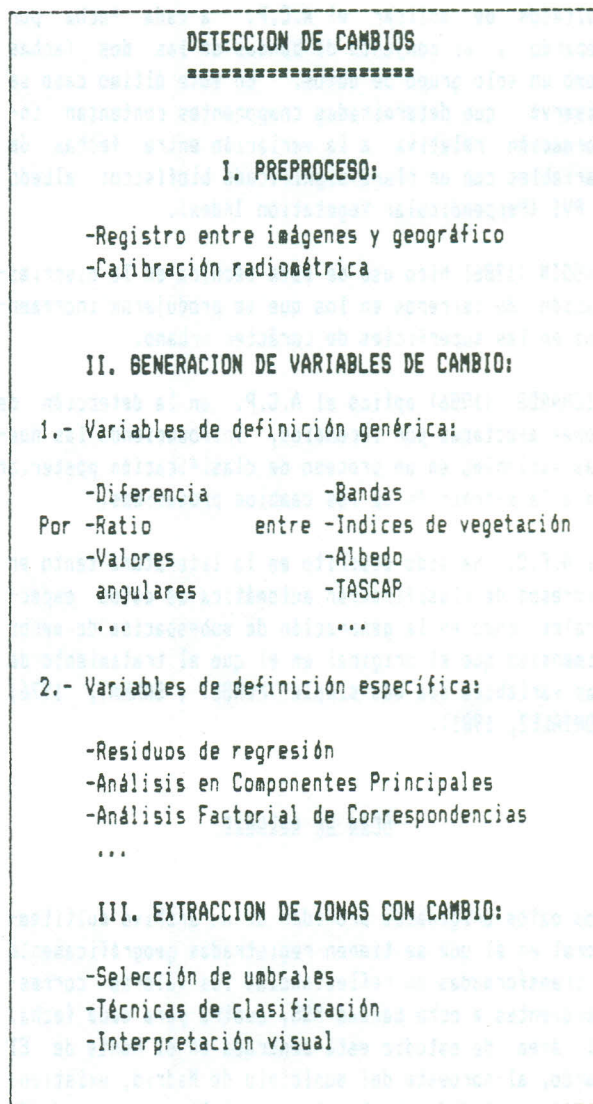


Fig. 1. Esquema básico de un proceso de D.C.

El A.C.P. y el A.F.C. son unas conocidas técnicas

del Análisis de Datos aplicables a los problemas que plantea la Teledetección. Fundamentalmente, permiten sintetizar la información multiespectral del archivo multitemporal en unos pocos ejes o componentes, dotándolas además de un significado físico. De esta forma, hay algunas que reflejan directamente el cambio producido en un aspecto determinado de la escena (variación del brillo total, variación del verdor,...) y otras las componentes estables en el tiempo.

INGEBRITSEN y LYON (1985) estudiaron la aplicación de las componentes principales como técnica de detección y seguimiento de cambios entre imágenes de distintas fechas. Compararon sobre distintas escenas los resultados de aplicar el A.C.P. a cada fecha por separado y al conjunto de bandas de las dos fechas como un solo grupo de datos. En este último caso se observó que determinadas componentes contenían información relativa a la variación entre fechas de variables con un claro significado biofísico: albedo y PVI (Perpendicular Vegetation Index).

DUGGIN (1986) hizo uso de esta técnica en la discriminación de terrenos en los que se produjeron incrementos en las superficies de carácter urbano.

RICHARDS (1986) aplicó el A.C.P. en la detección de zonas afectadas por incendios, introduciendo las nuevas variables en un proceso de clasificación posterior para la extracción de los cambios producidos.

El A.F.C. ha sido descrito en la literatura tanto en procesos de clasificación automática de datos espectrales como en la generación de subespacios de menor dimensión que el original en el que el tratamiento de las variables sea más simple (MONGET y SARRAT, 1976; GONZALEZ, 1981).

Area de estudio

Los datos originales proceden de un archivo multitemporal en el que se tienen registradas geográficamente y transformadas en reflectancias los valores correspondientes a ocho bandas MSS, cuatro para cada fecha. El área de estudio está centrada en el Monte de El Pardo, al noroeste del municipio de Madrid, existiendo una variedad de cubiertas vegetales que van desde encinares con distinta espesura a pastos y cultivos de cereales, pasando por diversos tipos de matorrales y zonas urbanizadas. Es de destacar la presencia del embalse de El Pardo, con una marcada diferencia en los niveles de agua embalsada entre las fechas de

referencia.

Soporte informático del estudio

Se utilizó un ordenador científico de propósito general CYBER 180/830 de CDC, trabajando de forma dual bajo NOS2 y NOS/VE (Network Operating System Virtual Environment), con una memoria central de 8.000 K palabras de 72 bits y 2,4 Gigabits en disco. En el NOS/VE el compilador FORTRAN disponible era el FORTRAN V con extensiones CDC y en el NOS2 los FORTRAN IV ANSI/66 y el FORTRAN V ANSI/77, también con extensiones CDC.

La gestión de la salida de las imágenes generadas en el CYBER estaba a cargo de un microordenador IBM-AT, bajo el sistema operativo PC-DOS y con compiladores FORTRAN ANSI/77, BASIC y PASCAL. La conexión con el "host" se realizaba con el paquete de comunicaciones CONNECT a través de una línea asíncrona a 32.000 baudios. De este microordenador dependen un controlador de "plotter" electrostático CALCOMP 951A/5100 y un digitalizador CALCOMP 9000.

Desarrollo metodológico

1.- Preproceso.

Consta de una transformación de los valores digitales de las cintas CCT a reflectancias, y un posterior registro de las imágenes, entre sí y con referencias geográficas. Para la calibración de las imágenes se utiliza un programa que pone en regresión porciones o subventanas de la ventana de trabajo encontrando las ecuaciones de transformación fila-columna que minimizan los residuos obtenidos. Para el registro geográfico se eligen simplemente unos puntos de control (PC) sobre los que se ejecuta una regresión, dando de baja a los PC con residuos menores que el deseado.

Se genera así un archivo en el que por cada registro tenemos los valores de la reflectancia de cada banda para el pixel correspondiente, facilitando su introducción en el proceso estadístico posterior.

2.- Generación de variables de cambio.

Durante el análisis en componentes principales el archivo multitemporal (A.M.) pasa a ser procesado por el programa 4M del paquete estadístico BMDP de la Universidad de California. Los resultados con información sobre las matrices de correlación y autovectores, junto con la abundante información auxiliar que proporcionan los BMDP pasan a imprimirse, mientras que los valores asignados para cada una de las componentes de cada pixel pasa a un archivo de trabajo.

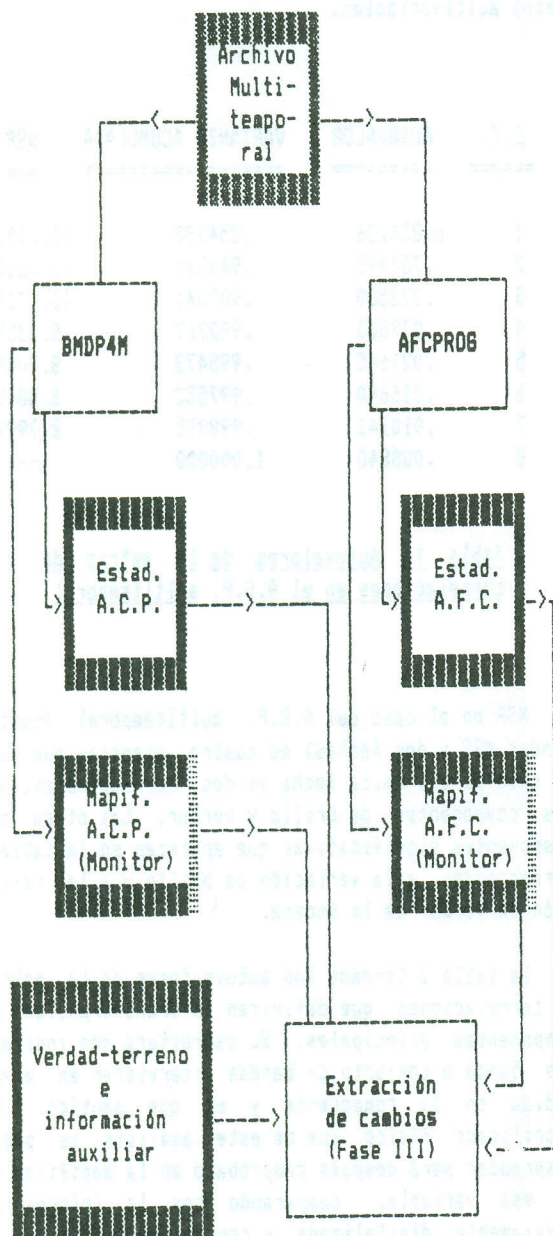


Fig. 2. Diagrama de flujo de la fase II.

En este archivo los datos son números reales. Se decidió una transformación de los mismos a un rango

de 0 a 255, actuando sobre los valores máximos y mínimos para aumentar el contraste de las imágenes.

A continuación el formato de los datos se pasa de un pixel por registro a un formato fila-columna fácilmente mapeable, en el se asigna un archivo-imagen a cada componente principal. Al mismo tiempo se generan histogramas e información estadística adicional sobre los mismos.

En cuanto al análisis factorial de correspondencias, el programa utilizado fue el AFCPRO6 desarrollado por el Proyecto de Teledetección de la Sección de Proceso de Datos del I.N.I.A. Al estar específicamente diseñado para trabajar con imágenes digitales no presenta los problemas típicos de los grandes paquetes estadísticos normalmente empleados. No tiene límites en cuanto al máximo número de individuos (píxeles) y variables a procesar y facilita histogramas bidimensionales para los ejes seleccionados. Es, además, significativamente más rápido que el BMDP al procesar las componentes principales.

La mapeación de los ejes factoriales también se realiza sobre un rango de 0 a 255. Estos archivos con las imágenes factoriales y de componentes principales son los que se transmiten al subsistema gestionado por el IBM-AT. Allí está digitalizada la verdad terreno del área de estudio, compuesta por mapas de vegetación y usos del suelo.

3.- Extracción de zonas con cambio.

Al no ser el objetivo de este trabajo un estudio integral de detección de cambios, en esta fase se optó por un método simple, como es la selección de umbrales, para la comparación de los resultados entre las diversas variables (ejes o componentes) que se proponen.

No obstante, una adecuada selección de umbrales puede proporcionar unos interesantes resultados en la extracción de zonas con cambio (NELSON, 1982). En nuestro caso se asignaron cuatro clases equiprobables basandonos exclusivamente en los valores digitales de cada pixel.

Cada clase se compara con el uso del suelo asignado en primera instancia por los mapas previamente digitalizados. Se analizan así las características físicas cada variable, junto con las esperables por la estructura del autovector que las define en cada caso.

Resultados

Los resultados de la aplicación del desarrollo metodológico al archivo multitemporal de datos MSS disponible se compararon también con la aplicación de las técnicas del A.C.P. y del A.F.C. a cada fecha por separado. Esto permitió estudiar las variables relativas al verdor y brillo sin la interferencia de la componente temporal.

Cuando, en adelante, hablemos de "verdor" al referirnos a componentes principales, estaremos haciendo referencia a un concepto similar al expresado por el PVI (Perpendicular Vegetation Index). Si sobre dos ejes que representen a la reflectancia en el rojo y a la reflectancia en el infrarrojo cercano marcamos puntos correspondientes a las reflectancias de distintos tipos de suelos, sin cubierta vegetal, veremos como se sitúan sobre una línea recta. Puntos correspondientes a suelos con vegetación se sitúan por encima de ella, de forma que cuanto mayor sea su actividad vegetativa, mayor será su distancia a la línea del suelo. El "verdor" detectado a través del A.C.P. es precisamente una medida de esta distancia.

De la misma forma, cuando se hable de "brillo" nos referiremos a un índice parecido al representado por el albedo, una medida de la radiación reflejada por la superficie en un espectro de longitudes de onda relativamente reducido (en el caso del MSS de 0,5 a 1,1 μm), pero que recoge un elevado porcentaje de la energía incidente radiada por el Sol.

El cálculo de los autovectores que definen la transformación en componentes principales se realizó tanto por la matriz de correlaciones como por la de varianzas-covarianzas, dándose un mejor resultado en el primer caso. En la tabla 1 aparecen los autovalores de cada componente junto con la varianza acumulada.

La columna NSR (Noise to Signal Ratio) representa la relación entre la señal (información coherente) y el ruido que se aporta con cada autovalor (con cada componente). La fórmula, elaborada por INGBRITSE y LYON (1985), fue:

$$NSR = 100 \frac{N}{j=P+1} \left(\frac{\sum_{j=1}^N \lambda_j / (N-P)}{\sum_{j=1}^N \lambda_j / P} \right)^2 \cdot 1/2$$

Donde λ_i es el autovalor para la C.P. i .
 N es el rango de la matriz.
 P es la componente i -ésima.

El NSR permite conocer la dimensionalidad intrínseca de un conjunto de datos. Se trata de encontrar para que j -ésimo autovalor presenta un mínimo el NSR. Entonces j sería la dimensionalidad de esa nube de datos multivariados.

C.P.	AUTOVALOR	VARIANZA ACUMULADA	NSR
=====	=====	=====	===
1	6.834256	.854282	15.6102
2	.757495	.948969	13.3885
3	.272580	.983041	10.1739
4	.077803	.992767	8.5359<-
5	.021645	.995472	8.7068
6	.016640	.997552	8.5800
7	.010743	.998895	8.7997
8	.008840	1.000000	----

Tabla 1. Autovalores de la matriz de correlaciones en el A.C.P. multitemporal.

El NSR en el caso del A.C.P. multitemporal (cuatro bandas MSS y dos fechas) es cuatro, mientras que para el caso de una única fecha es dos, correspondientes a las componentes de brillo y verdor. Las otras dos componentes significativas que aparecen en la tabla 1 corresponden a la variación de brillo y a la variación de verdor de la escena.

En la tabla 2 tenemos los autovectores de la matriz de correlaciones que definirán la transformación en componentes principales. Su estructura nos indicará que banda o conjunto de bandas intervienen en mayor medida en la componente y en que sentido. El significado físico que de este análisis se pueda desprender será después comprobado en la mapeación de esa variable, comparando con la información previamente digitalizada y con documentos (mapas y fotografías) auxiliares.

	C.P. 1	C.P. 2	C.P. 3	C.P. 4
MSS4/1	.930	-.332	.074	-.092
MSS4/2	.931	.141	.302	.137
MSS5/1	.936	-.311	.037	-.139
MSS5/2	.963	.142	.200	-.033
MSS6/1	.948	-.267	-.121	.080
MSS6/2	.910	.404	-.036	.005
MSS7/1	.932	-.203	-.264	.124
MSS7/2	.840	.484	-.221	-.090
AUTOVALDR	6.834	.757	.273	.078

	C.P. 5	C.P. 6	C.P. 7	C.P. 8
MSS4/1	-.074	.073	-.017	-.004
MSS4/2	-.026	-.002	.048	-.015
MSS5/1	.031	-.058	.045	.021
MSS5/2	.096	.019	-.049	-.009
MSS6/1	-.027	-.066	-.043	-.039
MSS6/2	-.047	-.025	-.028	.063
MSS7/1	.050	.048	.021	.025
MSS7/2	-.006	.012	.027	-.045
AUTOVALDR	.022	.017	.011	.009

Tabla 2. Matriz de autovectores de la matriz de correlación.

La estructura de los coeficientes del primer autovector coincide con lo que la bibliografía consultada señala como componente de brillo estable. Todos son positivos.

Las otras tres componentes suelen corresponder a variables que se conocen como verdor estable, incremento de brillo e incremento de verdor, aunque no tiene por que ser este el orden de mayor a menor varianza absorbida. El verdor estable corresponde al autovector con coeficientes negativos para las bandas visibles, especialmente la roja, y positivos para las infrarrojas, especialmente la MSS-7. En nuestro caso este eje está orientado en sentido inverso, al aparecer multiplicados por -1 los coeficientes de los canales visibles e infrarrojos. Es la tercera componente.

El incremento de brillo se asocia con el autovector que tenga coeficientes negativos para una fecha y

positivos para otra. Aquí vemos como la varianza absorbida por esta componente es mayor que la absorbida por la de verdor estable. Esto supone un incremento del albedo (energía total reflejada/energía total recibida). Es el segundo autovector.

La componente debida al incremento de verdor tiene un autovector en el que los coeficientes característicos de una fecha están invertidos en la otra. En las ventanas que nos ocupan la varianza absorbida por este autovector, el cuarto, es 0.078 frente a 0.273 del tercero, es decir, la información aportada en esa componente ha sufrido un decremento de más de un 70% respecto a la anterior. Por eso no es inusual que la estructura de sus coeficientes no se ajuste totalmente a lo indicado en la bibliografía.

Al comparar las imágenes de cada componente con los mapas de vegetación y las fotografías aéreas se observa la concordancia entre lo esperado por la estructura de los autovectores de cada componente y la distribución espacial de las mismas.

Los mayores decrementos de brillo (segunda componente) se producen en la zona inundada al subir el nivel de las aguas del embalse de El Pardo. Hay también decrementos en las áreas ocupadas por repoblaciones de pino piñonero y en las zonas de encinar más denso. Esto se debe al aumento de actividad vegetativa durante la segunda fecha.

La cuarta componente, que reflejaba la variación de verdor, muestra precisamente los mayores cambios en cuanto a la actividad vegetativa en las zonas de repoblación. También tienen cambios positivos elevados ciertas zonas de encinares limítrofes con la tápia del Monte. La pequeña significación de esta componente indica que el cambio producido no ha sido demasiado considerable, como por otra parte corresponde a un área natural protegida.

El análisis factorial de correspondencias realizado sobre el mismo conjunto de datos proporcionó la matriz de autovectores que se dispone en la tabla 3, en la que aparecen también los autovalores correspondientes.

El porcentaje de inercia acumulado en las primeras tres componentes es del 93%, estabilizándose en más del 99% a partir de la quinta componente.

El primer eje factorial contiene lo que podríamos denominar, manteniendo el criterio visto en el A.C.P., incremento de brillo en la escena. Los canales de un año tienen pesos positivos, mientras que

los del siguiente los tienen negativos. Si nos fijásemos exclusivamente en los coeficientes de los autovectores, la componente de brillo estable, que tendría todos los coeficientes positivos, sería para el número ocho, que se deja en el último puesto por corresponder al autovalor igual a uno.

AUTOVALORES

.0030976	.0010928	.0003856	.0001868
.0000643	.0000404	.0000275	-.0000000

PORCENTAJE DE INERCIA ACUMULADO

.63	.86	.93	.97
.99	.99	1.00	1.00

MATRIZ DE AUTOVECTORES EN EL ESPACIO DE LAS VARIABLES

VARIABLE	1	2	3	4
MSS4/1	.320	.012	.306	-.589
MSS4/2	-.109	.225	.738	.056
MSS5/1	.509	.294	-.435	-.271
MSS5/2	-.019	.688	-.161	.483
MSS6/1	.281	-.297	.069	.231
MSS6/2	-.420	.069	.056	-.054
MSS7/1	.148	-.529	-.075	.429
MSS7/2	-.591	-.126	-.365	-.323

VARIABLE	5	6	7	8
MSS4/1	-.405	.422	-.118	.318
MSS4/2	.067	-.453	.305	.296
MSS5/1	.209	-.500	-.025	.314
MSS5/2	-.259	.335	.060	.290
MSS6/1	.623	.426	.217	.399
MSS6/2	.284	-.019	-.773	.366
MSS7/1	-.497	-.271	-.144	.409
MSS7/2	-.073	.019	.472	.410

Tabla 3. Autovalores y autovectores de la matriz de correlación del A.F.C. sobre el archivo multitemporal.

El segundo eje factorial puede asimilarse a un índice

de vegetación rojo/infrarrojo (verdor estable), aunque con el signo cambiado. El tercero tiene el mayor peso, en valor absoluto, en las bandas del espectro visible, MSS-4 y MSS-5 de los dos años. Las correspondientes al verde con signo positivo y, las correspondientes al rojo, con negativo. Es parecido al índice de senescencia MSS5/MSS4.

La cuarta componente, eje factorial, sí que se puede interpretar, definitivamente, como un incremento del verdor. Nos va a indicar la variación que se ha producido en la actividad fotosintética entre las dos tomas de las imágenes MSS. Los coeficientes de este autovector definen un "pattern", del índice de vegetación, inverso entre fechas, ajustándose a lo definido por varios autores en la bibliografía (INGEBRITSEN *et al.*, 1985; DUGGIN *et al.*, 1986; SINGH *et al.*, 1985; FORSTER *et al.*, 1985). Sin embargo, es necesario recordar que el A.F.C. no obliga a la ortogonalidad entre los distintos ejes factoriales: no es aplicable exactamente la definición del "verdor" visto en el A.C.P. en cuanto a su semejanza con el PVI.

El quinto, sexto, y séptimo ejes factoriales, que en total no representan más del 3% de la inercia de los datos, no tienen una significación física directa, siendo aconsejable, como en el resto de los ejes, su representación superficial. En su mayor parte muestran más ruido que información coherente.

La imagen del cuarto eje factorial muestra con más claridad la variación del verdor que la imagen de la cuarta componente principal, coincidiendo con una mayor absorción de la varianza: un 4% frente a un 0.9% en el caso del A.C.P.

Conclusiones

- 1.- El A.C.P. y el A.F.C. son unas técnicas muy eficaces en la generación de variables de cambio.
- 2.- Se adaptan a la estructura concreta de cada ventana de trabajo. Son variables de definición específica.
- 3.- Cada componente o eje factorial tiene un significado físico determinado (brillo, verdor, senescencia), que puede ser integrador o segregador de zonas con cambios.
- 4.- El A.F.C. es más útil en la detección de la

variación del verdor que el A.C.P.

5.- Se produce en ambos casos una compactación de la información, reduciendo las necesidades de memoria permanente y favoreciendo la disminución del tiempo de cálculo en procesos posteriores como puede ser la clasificación. A partir de la quinta componente o eje factorial la mapificación sólo revela ruido.

Bibliografía

DIXON, J.W.; ENGELMAN, L.; FRANE, J.W.; HILL, M.A.; JENNRICH, R.I.; TOPOREK, J.D. BMDP Statistical Software. University of California Press. Berkeley, 1983.

DUGGIN, M.J.; 1986. Urban Feature Analysis. Remote Sensing of Environment. 1986. pp. 96-105.

FORSTER, B.C.; 1985. Principle and Rotated Component Analysis of Urban Surface Reflectances. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 51, No. 4, APR 1985, pp. 475-477.

GONZALEZ, F.; 1981. Técnicas de tratamiento de datos en Teledetección. Monografías I.N.I.A. No. 28. Madrid.

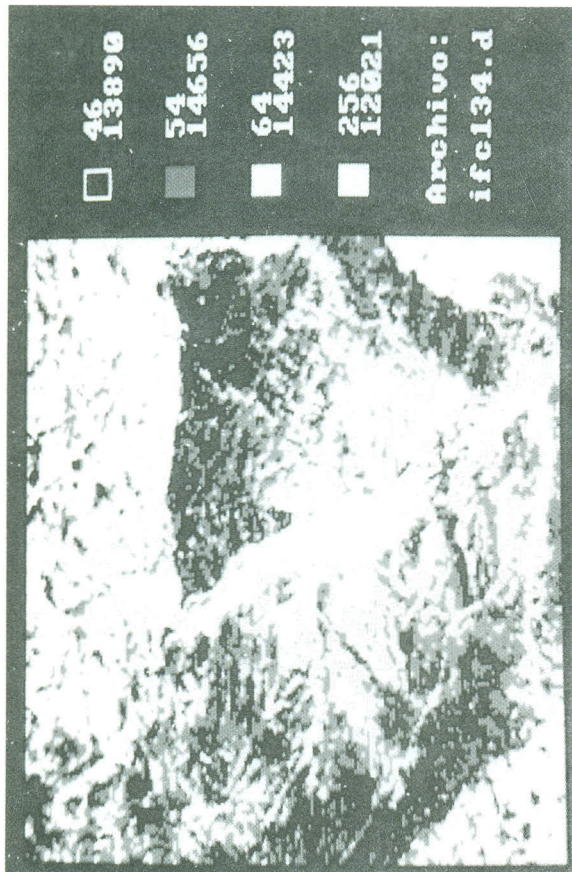
INGEBRITSEN, S.E.; LYON, R.J.P.; 1985. Principal components analysis of multitemporal image pairs. International Journal of Remote Sensing. Vol. 6, No. 5, pp. 687-696.

MONGET, J.M.; SARRAT, D.; 1976. Une méthode de classification automatique des données de la Télédétection. Automatisme. Tome XXI. No. 3/4, Mars-Avril 1976. école des Mines de Paris.

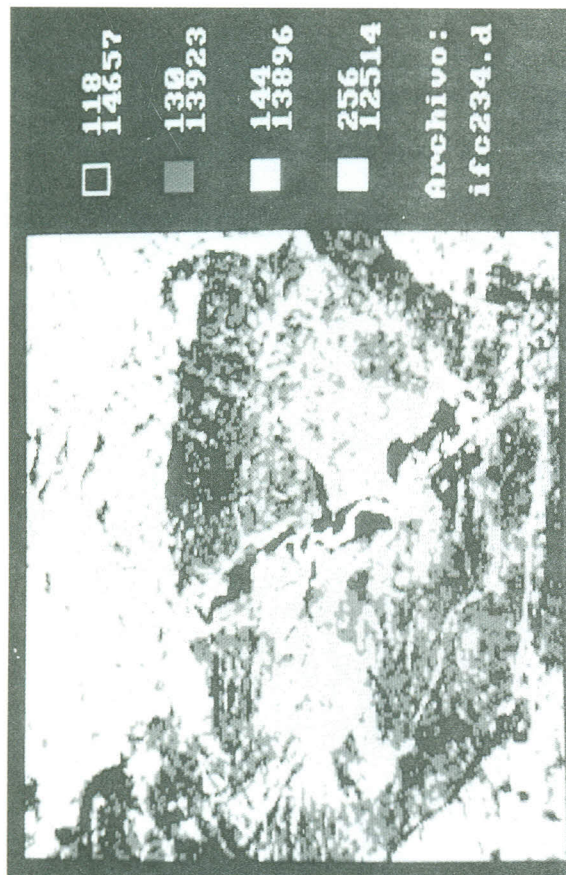
NELSON, R.F.; 1982. Detecting Forest Canopy Change Using Landsat. Final Report. AgRISTARS. N.A.S.A./Goddard Space Flight Center. Greenbelt MD. April 1982.

RICHARDS, J.A.; 1986. Remote Sensing Digital Image Analysis. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN 3-540-16007-8.

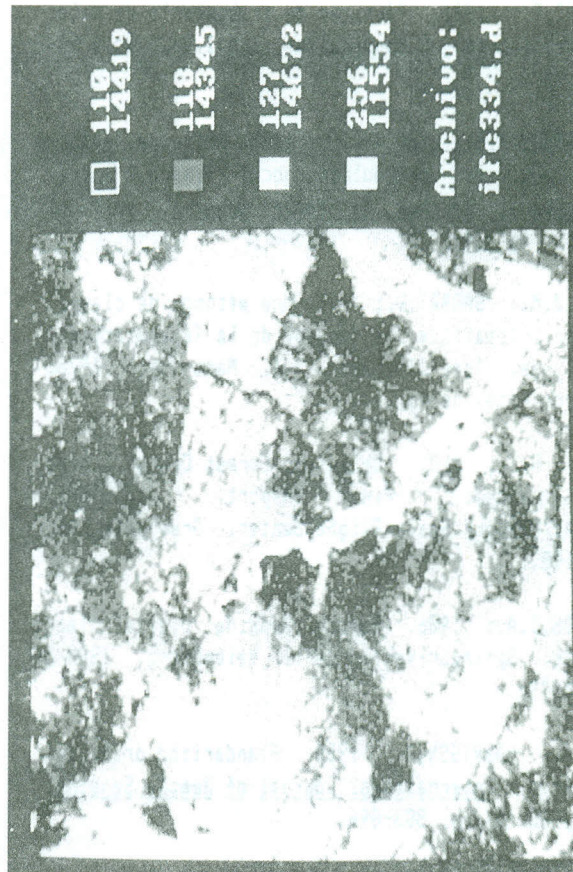
SINGH, A.; HARRISON, A.; 1985. Standardized principal components. International Journal of Remote Sensing. Vol. 6, No. 6, pp. 883-896.



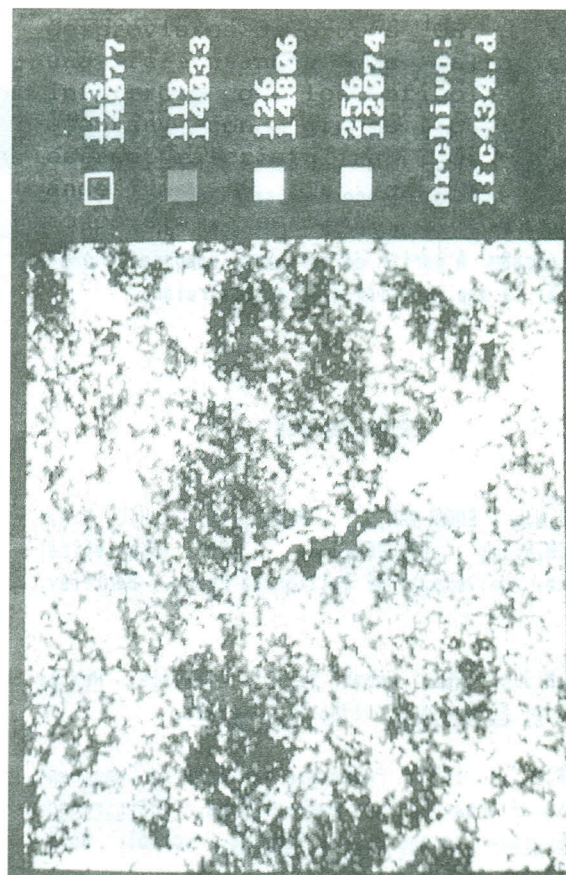
Ver Foto color n.º 7 en página 366



Ver Foto color n.º 5 en página 366



Ver Foto color n.º 8 en página 366



Ver Foto color n.º 6 en página 366