

Caracterización de cambios e influencia climática sobre la cobertura vegetal en el semiárido brasileño mediante Análisis de Componentes Principales (ACP)

F. D. Maldonado* **, J. R. Dos Santos** y V. C. De Carvalho**

* Universidad Nacional de San Juan - UNSJ, Laprida 1130(0), CP.2400, San Juan, Argentina. Fax: +54264-4204807

email: francis@unsj.edu.ar

** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, CP.515, 12.201-970 Slio José dos Campos, SP. Brasil. Fax: +55123-456449

email: jroberto@ltid.inpe.br, vitor@ltid.inpe.br

RESUMEN

Actualmente la detección y el monitoreo de los cambios en la cobertura vegetal es una de las más importantes actividades de la teledetección orbital en la región semiárida. El conocimiento de las condiciones en que están siendo adquiridos los datos satelitales es por lo tanto de la mayor importancia y estas condiciones pueden ser conocidas utilizando datos climáticos o inferidos del análisis de las imágenes conjuntamente con cartas de vegetación apropiadas. El área estudiada comprende una superficie de 190,37 km², localizada entre los paralelos 8° 00' y 8° 07' de latitud sur y 39° 45' y 39° 53' de longitud oeste, en el centro de la región semi árida del Nordeste brasileño, estado de Pernambuco. Se utilizó el Análisis de Componentes Principales (ACP) para la detección de cambios en la cobertura vegetal por minimizar las diferencias atmosféricas entre fechas de la adquisición de la imagen por el satélite. Se obtuvo como primer resultado la imagen de detección y se actualizó la Carta de los tipos estructurales de la vegetación de 1983 para 1996, en forma satisfactoria y con poco gasto computacional. Este método se mostró sensible al efecto de lluvias en porciones de la imagen, las que afectan los parámetros de la rotación aplicada por la ACP. Esto sumado a las características simétricas del seccionado de la segunda componente principal, afectaron la totalidad de la imagen de detección. En este trabajo se propuso como método alternativo al ACP una rotación controlada que disminuiría la influencia de las condiciones climáticas o de la pluviometría sobre las imágenes TM/Landsat usadas para la detección de cambios en la cobertura vegetal.

PALABRAS CLAVE: Detección de cambios, semiárido, ACP

ABSTRACT

The Brazilian semi-arid region has demonstrated the pressure of human occupation changes, which are developed in non-sustainable forms. The analysis of the multi-temporal effects changes for the "Caatinga" land cover, may provide sufficient information about dynamics for the typical exploitation of "Caatinga" semi-arid areas. Considering these objectives, the Principal Component Analysis (PCA), combining with the field survey data, was applied, which permitted the estimation of the point sample state in terms of re-occupation / degradation. The selected area for this study is situated in the Central-Southern Semi-Arid part of the "Pernambuco" State of Northeastern Brazil. It covers about 190 km² and lies between 8° 00' and 8° 07' S latitude; 39° 45' and 39° 53' W longitude respectively. There were only five changed and unchanged classes of multi-temporal effects, with the combined use of the Geographical Information System (GIS) and appropriated field survey, the results of this study were evaluated. This study was less time consuming and economically significant for the period of 83-96. Also, the influence of irregular rain effects was observed with the use of Landsat TM; which was resulted in the generalized alteration for the PCA changes detection. Because of an affected part of the image the total detection was suffered. Based on the analysis of the results and the errors in Confusion Matrix, an alternative method of PCA was suggested. This method is based on the rotative analogy of the PCA transformation, where a smaller angle of rotation was applied.

KEY WORDS: Change detection, semiarid, PCA.

INTRODUCCIÓN

En el nordeste brasileño como en otras áreas de condiciones semiáridas, la situación climática comanda la evolución del paisaje y es responsable

de la distribución de la población humana. El proceso de degradación al cual está siendo sometida la región nordestina de Brasil, produce una significativa emigración resultante de una reducción de la capacidad de subsistencia y productividad de la

tierra. Esto tiene preocupado a la población, a la comunidad técnico científica y a los tomadores de decisiones en cuestiones de planeamiento socioeconómico.

Este proceso es desencadenado por la excesiva actividad agropecuaria en ambientes susceptibles a la erosión y está directamente relacionado a la aridez, tipo de suelo y cobertura vegetal. En este contexto, actualmente se propone que la investigación de los procesos de desertificación de una región, emplee una metodología que incluya la teledetección para apoyar la caracterización y localización geográfica de la degradación, además de la magnitud y expansión de la acción antrópica.

La utilización de la técnica de Análisis de Componentes Principales (ACP), en el tratamiento de datos orbitales, puede auxiliar en la colecta de información sobre cambios relacionadas a la ocupación del suelo, sirviendo así como herramienta de caracterización y monitoreo ambiental de bajo costo. Las potencialidades de esta técnica, según Richards y Jia (1998), provienen del análisis de la correlación entre las bandas de imágenes multitemporales en regiones que presentan una dinámica espacio-temporal observable a través de su comportamiento radiométrico.

El objetivo general del presente trabajo es la detección y caracterización de cambios en la cobertura vegetal en un área del semiárido brasileño (Quixaba-PE), utilizando la técnica de Análisis de Componentes Principales (ACP) de imágenes multitemporales TM/Landsat.

ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS

Los estudios de la cobertura de la tierra en regiones del semiárido se vienen valiendo de técnicas de procesamiento de imágenes con combinaciones de bandas espectrales específicas, obteniendo resultados significativos en la discriminación de los ambientes y en el estudio de los cambios en la cobertura vegetal.

La complejidad de la dinámica de la cobertura vegetal del semiárido brasileño, fue estudiada por Carvalho (1986) y Kazmierczak (1993) a través de índices de vegetación NDVI-NOAA/AVHRR, encontrando la dificultad para la teledetección en discriminar los paisajes de la caatinga, en razón de la homogeneización de la vegetación que ocurre en la época húmeda. Sá (1991), estudiando regiones similares con datos TM/Landsat, consideró la época seca mas apropiada para discriminar los tipos de caatinga y la época húmeda apropiada para discriminar suelo expuesto. Esto ocurre probablemente porque las características estructurales de la vegetación del semi árido son mejor observadas en la época seca, cuando esta se encuentra poco cubierta por el follaje. En general en el semiárido, algunos tipos de cambios sutiles en la vegetación son mejor observados en la época seca,

pudiendo detectar estados tempranos de degradación o recuperación.

En relación con el uso de los términos "degradación" y "recuperación" en el presente trabajo, el primero fue utilizado por Drumond (1979), para referirse a las caatingas que han perdido elementos de valor para la economía maderera y el uso agropecuario y el término "recuperación" fue usado por Sobrino (1986), entre otros, al introducir consideraciones en la metodología de estudio de la desertificación acerca de las posibilidades de "recuperación" espontánea o conducida de las áreas por él estudiadas.

En los estudios de la relación degradación/recuperación de la cobertura vegetal de áreas que incluyen tierras agrícolas, se precisan métodos de evaluación que consideren el sistema de producción agrícola local. Particularmente en regiones del semiárido donde el sistema productivo es de tipo itinerante, incluyendo tierras en uso y en descanso, según Maldonado (1999). La evaluación del uso con precisión, necesita cuantificar los cambios directos provocadas por el uso intensivo de la tierra o desmonte de las tierras en diferentes estados dentro del ciclo agrícola local.

La generación de la imagen de detección es necesariamente precedida por la elección de la banda espectral mas apropiada para identificar los cambios en la cobertura vegetal de la caatinga. En este sentido, las observaciones generales de Huete (1985) indican que las bandas del rojo e infrarrojo cercano se comportan inversamente correlacionadas en áreas vegetadas. Contrariamente, en el semiárido se encuentran correlaciones positivas significativas entre las bandas TM/Landsat 3 y 4, como fue observado por Maldonado (1999), en la época seca. Esto, también fue anteriormente observado en el comportamiento del NDVI en el semiárido por Carvalho (1986) y Kazmierczak (1993). Este índice se comporta desde el comienzo de la época seca a la húmeda, saturando de forma rápida los máximos valores, hasta alcanzar valores tan altos como los del bosque denso. Este rápido aumento del índice de vegetación fue explicado por la transición desde un comportamiento similar de la banda TM4 (0,70 a 0,8 μ m) y banda TM3 (0,60 a 0,7 μ m) en la época seca, a inverso en la época húmeda. Por lo tanto el uso de la banda TM/4 no es adecuado para la detección de cambios en el semi-árido, ya que en una época intermedia entre la época seca y la época húmeda, se esperaría un comportamiento en el que, el porcentaje de cobertura vegetal no estaría correlacionado con el valor de la Banda 4 y la detección de cambios no sería posible. Por la experiencia adquirida en el estudio del comportamiento de la Banda TM4 en el semiárido se optó por el uso de métodos selectivos de detección, en los que no se incluyen el uso de esta banda espectral.

AREA DE ESTUDIO

El área bajo estudio comprende una superficie de 190,37 km², localizada entre los paralelos 8° 00' y 8° 07' de latitud sur y 39° 45' y 39° 53' de longitud oeste, en el centro de la región semi-árida del Nordeste brasileño, estado de Pernambuco (Figura 1). Esta región presenta fuerte irradiación solar y significativa homogeneidad térmica, en termino medio las temperaturas son de 27° con 5° de variación anual. Las lluvias están caracterizadas principalmente por una gran variabilidad interanual, en años lluviosos es de alrededor 600mm, siendo 7 a 8 meses de estación seca en la que frecuentemente la precipitación es cero. La época seca es muy larga e irregular, la evaporación es muy intensa y los suelos son generalmente poco desarrollados y sin materia orgánica. En general, las hojas de la vegetación caen cuando la sequía aumenta.

Las condiciones climáticas, geológicas y geomorfológicas producen suelos pedregosos, ricos en silicio y arcillas, por lo general pobres en nitrógeno. Esta región está ocupada por una vegetación natural arbustiva y arbórea baja tipo estepa, llamada localmente caatinga. Esta, según Walter (1986), forma un mosaico de vegetación definido por su excelente plasticidad y buena adaptación a las alternancias de carencia y abundancia hídrica. Las especies leñosas, arbóreas y arbustivas, por efecto del clima, ocurren en mayor proporción que las plantas herbáceas y anuales, siendo por tanto, definida como una asociación de árboles y arbustos unidos, dotados de espinos, hojas caducas, tallos retorcidos, porte bajo y con sub-vegetación de bromeliáceas. Las características florísticas de

la caatinga varían, según Duque (1980) y Carvalho (1986), conforme a la localización de las mismas, considerando áreas altas o bajas, suelo arenoso sedimentario o rocoso. El agua de lluvia y la humedad del suelo según Faria (1992) son los factores limitantes de la producción agrícola.

MATERIAL Y METODOLOGIA

Para el análisis de la dinámica de la vegetación, fueron usadas dos imágenes TM/Landsat en formato digital, órbita 217 fila 660, del 10 de Noviembre de 1984 y 23 de Octubre de 1996. Como base fueron usadas las cartas topográfica de Parnamirim (IBGE-MIR 1362) y el mapa de los tipos estructurales de caatinga (Figura 2), ambas a escala 1:100.000. Se utilizaron los datos pluviométricos de las estaciones de SUDENE del área y alrededores para el año 1984 (Figura 3).

La metodología fué subdividida en dos fases, en la primera (usando ERDAS Imagine 8.3), "Fase de detección" predominan los procesamientos digitales de imágenes como el Análisis de Componentes Principales y en la segunda (usando SPRING 2.3), "Fase de caracterización y análisis de los cambios", predominan los geoprocесamientos e incluye el montaje del banco de datos geocodificado y el análisis de la información de campo (Figura 4).

Aplicación del método de Análisis de Componentes Principales: Este método es cada vez más usado para la detección de cambios en la cobertura vegetal, principalmente por su simplicidad, por minimizar los efectos de la atmósfera entre fechas

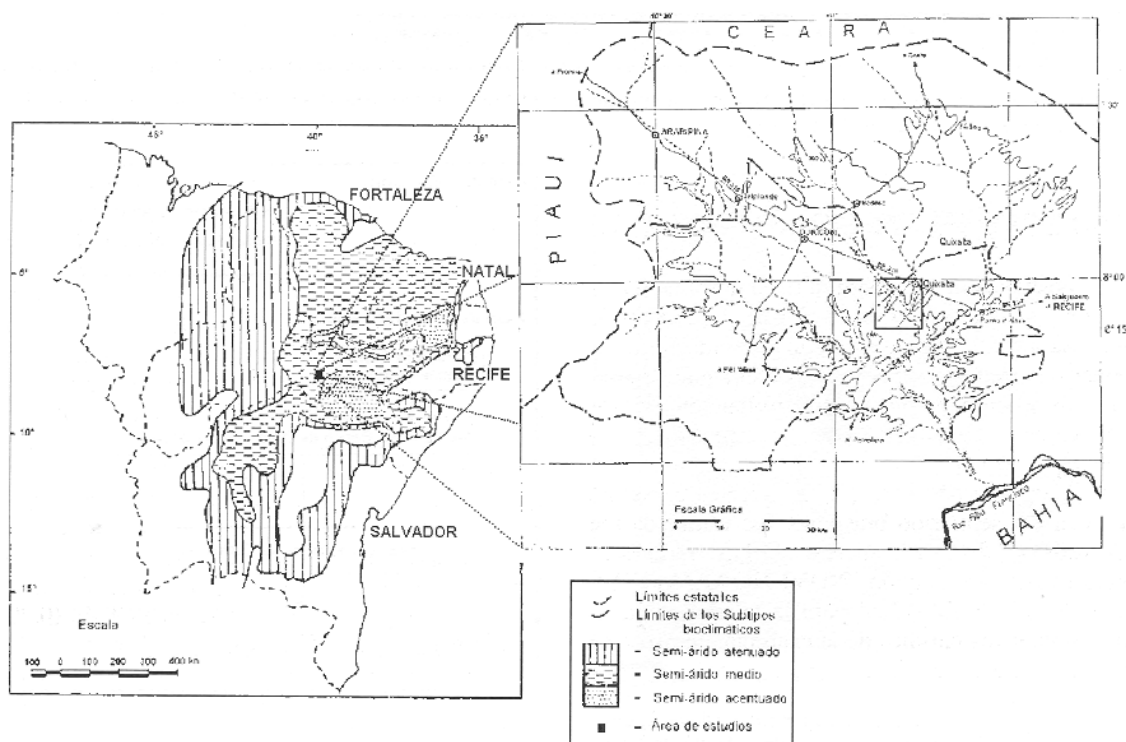


Figura 1. Área de estudio en el centro-oeste del estado de Pernambuco-Brasil.

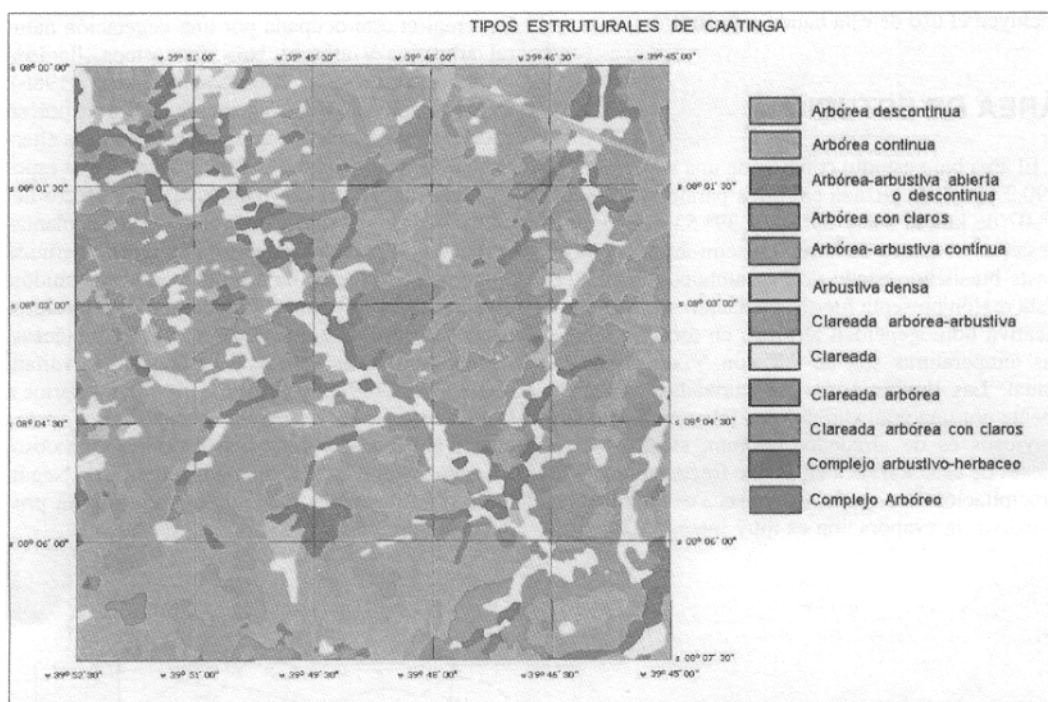


Figura 2. Carta de los tipos estructurales de caatinga de la región de Quixaba para el año 1983, generada en SPRING. Fuente: digitalizado de Carvalho (1986).

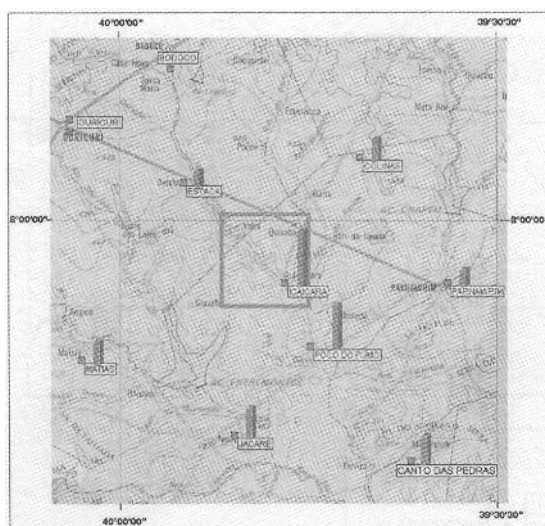


Figura 3. Disposición de los pluviómetros y lluvia acumulada para los seis meses anteriores de la fecha de adquisición de la imagen en Noviembre de 1984. Fuente: SECTMA-PE (1998).

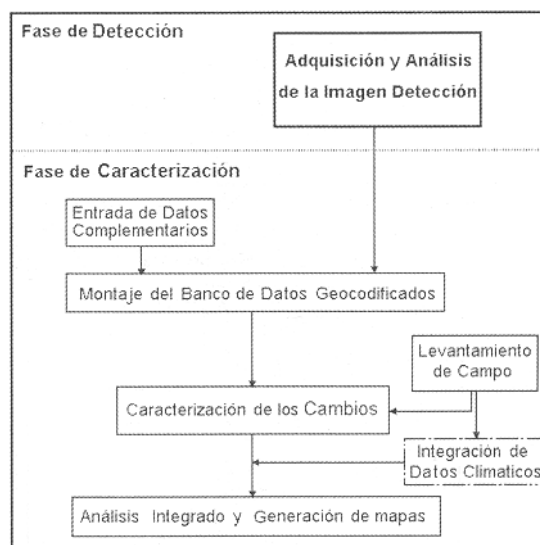


Figura 4. Diagrama del flujo general de la investigación.

y por requerir poco gasto computacional.

Este método es aplicado sobre dos Bandas (TM3) de ambas fechas 1984 y 1996. Esto evita las dificultades de interpretación que produce el uso de un mayor número de bandas según Richards y lia (1998) y Eastman y Fulk (1993). También, según Chavez y McKinnon (1994), el análisis selectivo es mas apropiado para el estudio de áreas que contienen gran heterogeneidad. Fueron calculados los Componentes Principales (CP) y utilizado en el análisis posterior el segundo componente principal. El primero esta asociado al eje de mayor correlación de la nube de pixels y el segundo es una expresión de los cambios que ocurren en la cobertura vegetal entre las dos fechas.

Para generar la Imagen detección, el histograma de la 2° CP es seccionado en cinco partes, con los límites localizados a 1 y 2 desviaciones estandar (σ) de la media (Figura 5).

El primer límite (1σ y -1σ) es aplicado para discriminar un grado de cambios de menor magnitud, este fue considerado apropiado por Eastman y Fulk (1993) y por Geoffrey (1997). y el segundo límite es definido a 2σ y -2σ para detectar cambios de mayor magnitud (Figura 5).

Las leyendas usadas en este estudio están basadas en Sobrinho (1986), que define la desertificación como el proceso de "degradación" progresiva de la cobertura vegetal, el suelo y el recurso agua, como resultado de condiciones climáticas y edáfi-

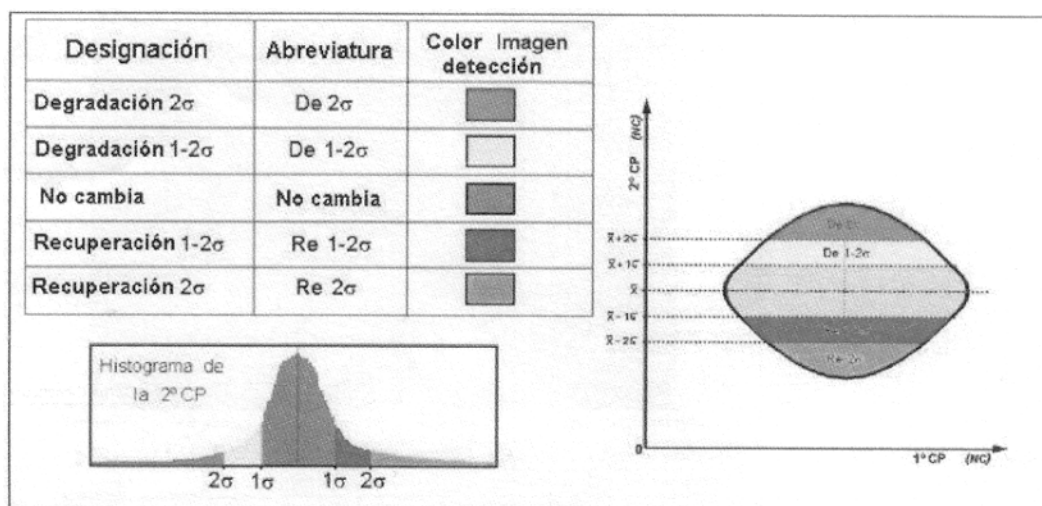


Figura 5. Esquemas del seccionado del histograma de la 2ª CP y de la nube de pixels, producto de la ACP.

cas por efecto de la acción humana o por ambas combinadas, llevando a la destrucción del ecosistema primitivo traducido en una pérdida de la productividad y de la capacidad de "recuperarse".

Durante el trabajo de campo, la definición del muestro fue basado en la delimitación e identificación de formas y padrones en la imagen detección. y con el objeto de optimizar la relación costo/beneficio, fueron usadas tres formas de muestro; transectas en el ambiente natural, puntos muestrales en áreas de poca complejidad y observaciones simples en áreas agrícolas, realizandolas de la forma mas adecuada para mantener la comparabilidad y agrupabilidad de las muestras.

RESULTADOS Y DISCUSION

Detección de cambios

La imagen detección fue obtenida seccionando el histograma de la segunda componente principal de las bandas TM3 para las dos fechas, según los valores de la Tabla 1, obteniendo la imagen detección de la Figura 6, donde se observan dos clases de degradación, dos de recuperación y una de no cambio.

Variable	Valor	Descripción
X	124,937	Media
Mínimo	9	Mínimo
Máximo	238	Máximo
σ	18,456	Desviación estándar
X+ σ	143	1º límite de degradación
X+2s	162	2º límite de degradación
X- σ	106	1º límite de reparación
X-2 σ	88	2º límite de reparación

Tabla 1. Parámetros estadísticos y límites usados para seccionar la 2ª CP

Después de obtener la Imagen detección (Figura 6), fueron analizadas las clases de acuerdo a un criterio de formas y padrones. En una observación general de la imagen, aparece una zonación norte-

sur, en el norte predomina la recuperación 1-2 σ , mientras que en el sur es la clase "no cambia".

Las áreas de actividad agrícola, asociadas a las clases 2 σ , ocurren preferentemente a lo largo de la red de drenaje, en relación a la fertilidad natural de los bájos. Esta distribución explica el mosaico de degradación y recuperación observada a lo largo de la red de drenaje. Estos cambios son de magnitud 20", generalmente de formas regulares y homogéneas, y están asociadas a pequeñas plantaciones. Los cambios definidos entre los límites 1 σ y 2 σ de degradación y de recuperación (Figura 5), no tienen formas regulares ni forman áreas homogéneas. En algunos sectores de la imagen detección puede observarse patrones mezclados de las clases degradación y sin cambio, esto ocurre en aquellas áreas con gran variabilidad de tipos de uso, principalmente cercanas a la red de drenaje, mostrando una alta heterogeneidad de patrones y formas. Podemos concluir que en la imagen detección, las áreas de agricultura están dominadas por las formas regulares y en áreas de pastoreo extensivo predominan los patrones irregulares.

Caracterización y análisis de cambios

Esta fase consiste casi completamente en el cruzamiento de la información georreferenciada (mapas, imágenes, información de campo y fotografías) dentro de un SIG. El mapa de los Tipos estructurales de caatinga, que muestra la distribución espacial de las fâcies de caatinga, fue la base para los geoprocementos. La caracterización de los cambios en el campo fueron basados en 73 puntos en campo, 20 de los cuales fueron caracterizados usando transectos. Su uso conjunto con observaciones simples y descripciones fitosociológicas, mejoraron la caracterización de los puntos optimizando el tiempo y recursos disponibles, según Maldonado (1999). Las muestras con transectos fueron representadas esquemáticamente para mejorar su comparabilidad y agrupabilidad con todas

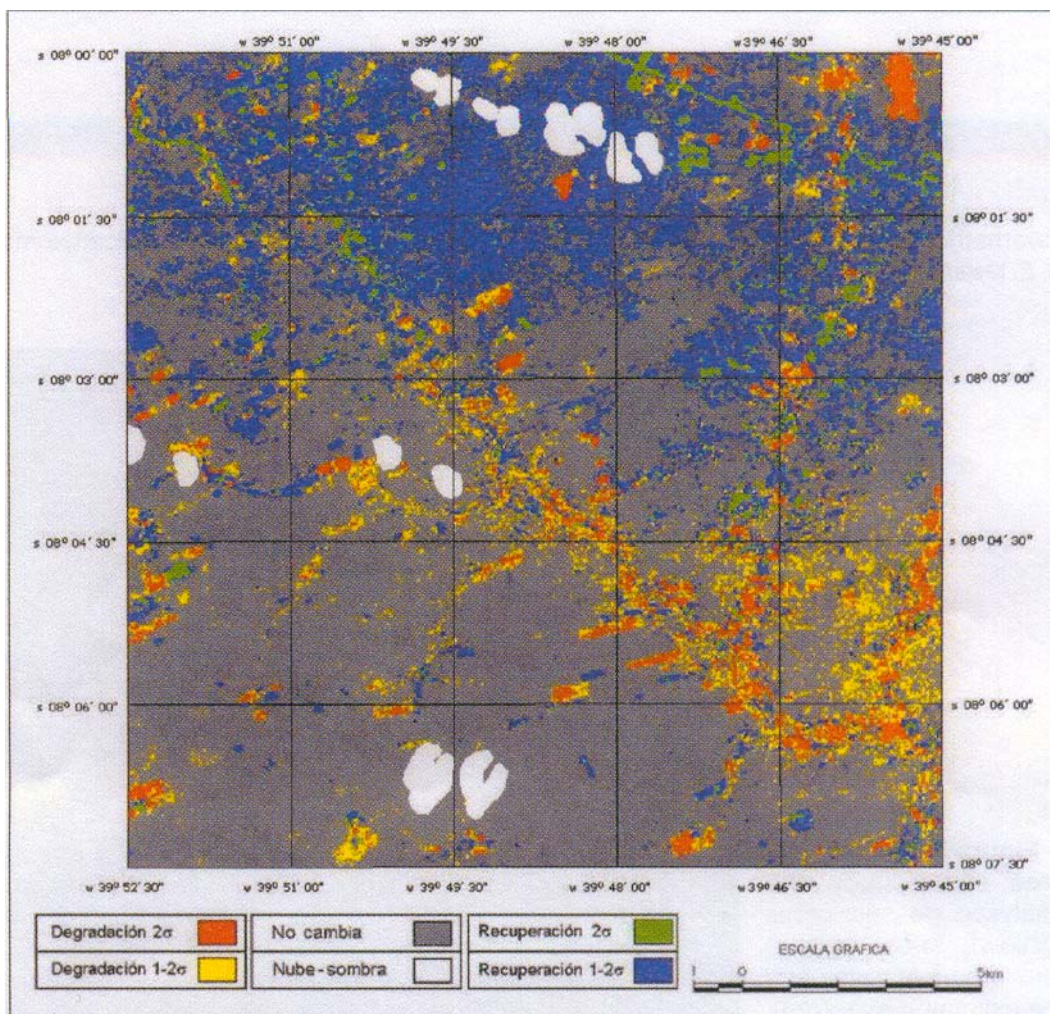


Figura 6. Imagen detección, resultado del ACP de imágenes 84-96.

las muestras. Se construyó la matriz de confusión (Tabla 2) mediante el cruzamiento de la información georreferenciada, puntos muestreados con transectos y puntos observacionales, dentro del SIG.

En esta matriz, se observa 68% de coincidencia entre las clases de la imagen detección y de las observaciones de campo. Los casos de confusión en la discriminación, serán vistos a continuación en el análisis integrado, para evaluar una propuesta de modificación de la posición de los límites del ACP.

La degradación no presentó dificultades para ser caracterizada, cuando fué asociada a la antropización como en desmontes, alrededores de aguadas, etc.. Pero la recuperación necesitó de una mejor definición de campo y se esperó encontrar la clase recuperación y no la clase "no cambia", cuando

hay abundancia de especies que caracterizan ambientes alterados, especies arbóreas con porte arbóreo o herbáceo, u otras características de un proceso de sucesión, la presencia de tocones o indicios de desmontes, tierras en descanso o abandonadas. La ACP tuvo en total 32% de confusión, cuyo porcentual se puede estratificar aproximadamente, en clase "recuperación 1-2σ" un 33%, clase "degradación 1-2σ" un 23% y el resto 46% en relación con la clase "no cambia".

Las clases recuperación y degradación 2σ, fueron satisfactoriamente discriminadas con un porcentaje de 85% (Tabla 2), lo que permitió que tales clases pudiesen ser usadas para actualizar las cartas temáticas para el año 1996.

		Imagen detección				
		De 2s	De 1-2s	No cambio	Re 1-2s	Re 2s
Levantamiento de campo + SIG	De 2s	9	-	-	-	-
	De 1-2s	1	10	7	-	-
	No cambio	-	3	15	5	-
	Re 1-2s	-	-	6	10	1
	Re 2s	-	-	-	-	6

Tabla 2. Matriz de confusión

Resultando que el efecto de la degradación 2σ , cualquiera que sea el tipo estructural de caatinga, es el cambio a un tipo estructural final clareado. Las fâcies agrícolas y de no caatinga, presentan casos de recuperación 2σ , pasando a formar parte de un complejo arbustivo o arbustivo herbáceo. Así fue actualizada la Carta de las fâcies de caatinga del año 1984 y generada una carta de las fâcies de caatinga para el año 1996 (Figura 7).

Considerando que los cambios "1- 2σ ", en general, no llevan a cambios de fâcies, fue actualizada solamente la carta de las fâcies de caatinga

Análisis de la ocurrencia de lluvias de distribución espacial irregular

En la imagen TM/Landsat vista regional, composición coloreada RGB 4,5,3, de 1984, se observa una discontinuidad espacial en relación con un aumento en la respuesta espectral de la vegetación en el infrarrojo cercano (banda TM4), con forma oval de Este a Oeste. Esta discontinuidad observada en la imagen del área de estudio, no pudo ser explicada por la Carta de los tipos estructurales de vegetación de caatinga, ni por la Carta de suelos. No se observó este tipo de discontinuidad en la

imagen de 1996. Este comportamiento parece corresponder a los valores de precipitación obtenidos con las lecturas de los pluviómetros de Icaçara y Poço do Fumo (Figura 3), los cuales poseen lecturas 30mm mayores, en promedio, que el resto de los pluviómetros del área para los seis meses anteriores a la fecha de la adquisición de la imagen. En razón de su importante componente herbáceo, la caatinga arbórea con claros es uno de los tipos estructurales de mas rápida respuesta a las lluvias de finales de la época seca. Se superpuso la Carta de tipos estructurales de vegetación a la imagen y se pudo confirmar la distribución de la anomalía en la cobertura vegetal por efecto de las lluvias y explicar los cambios que no fueran observados en el campo.

En la Figura 8, se observa como la imagen de detección en su totalidad es afectada por las lluvias, que como ya hemos visto, ocurrieron solamente en el sur del área. Esta dificultad puede tener origen en la simetría del método, en primer lugar durante la rotación aplicada por el ACP y en segundo lugar durante el seccionado del histograma a distancias estadísticas de la media.

Se observa en la Figura 8 que las lluvias aumentaron la proporción de la clase "no cambia" en la

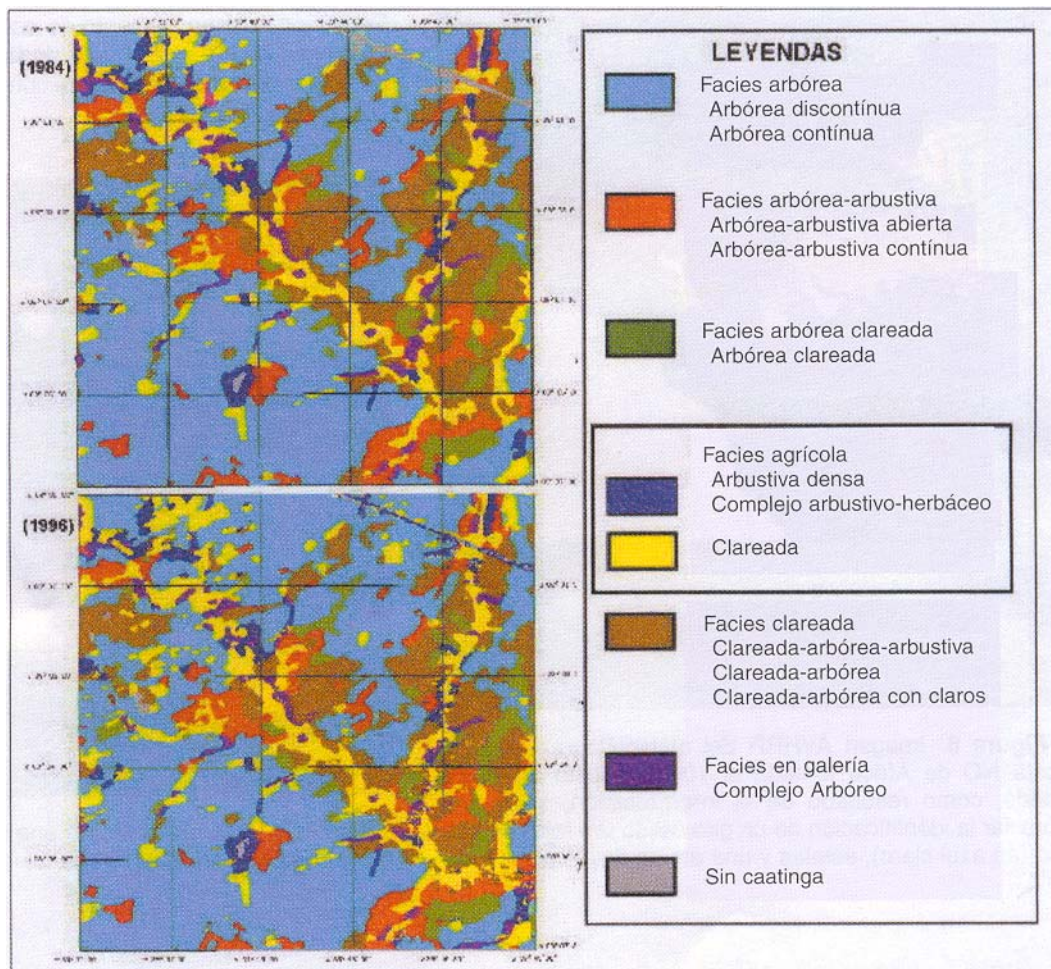


Figura 7. Carta de las fâcies de caatinga de 1984 y actualizada para 1996.

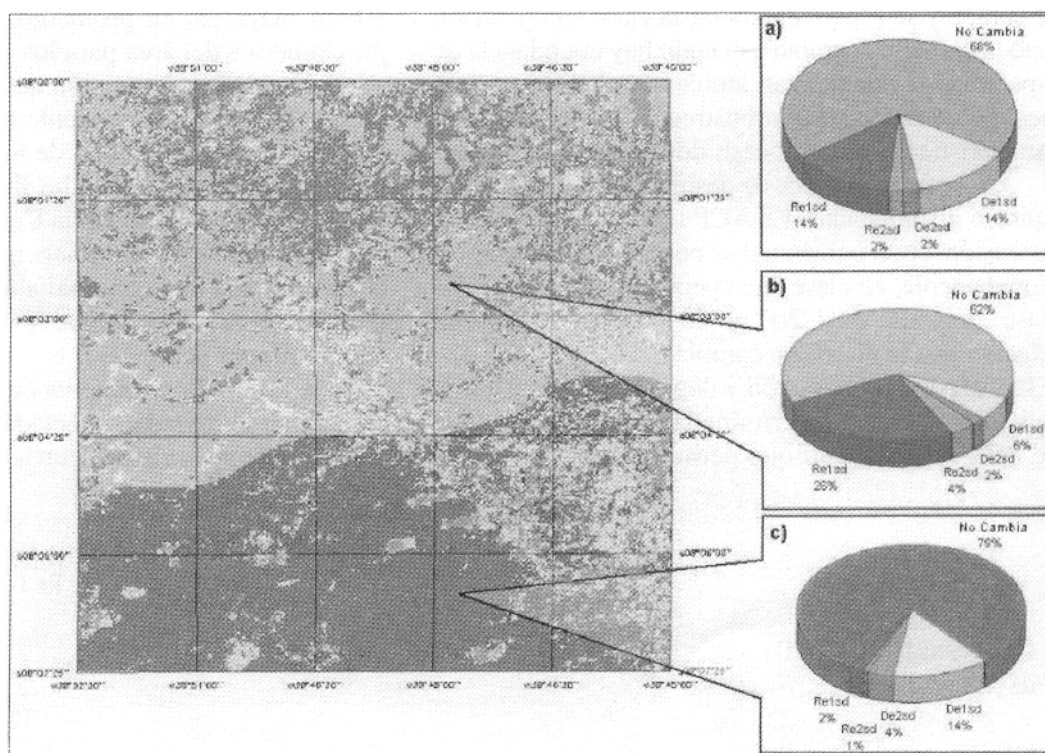


Figura 8. Imagen detección con trazado de un límite estimado de área afectada por las lluvias (gris oscuro) y no afectadas (gris claro). A la derecha de la figura, diagramas de distribución de los cambios a) en el área total, b) en el área no afectada, c) en el área afectada por las lluvias.

zona sur (afectada por las lluvias) y ella zona norte no afectada por las lluvias se observa un aumento de "recuperación $1-2\sigma$ ".

Análisis de la matriz de confusión para evaluar alternativas al ACP

Como ya fue visto en el punto anterior, las lluvias alteran la detección de cambios para la totalidad de la imagen. Por lo tanto, la matriz de confusión (Tabla 2), fue analizada con el objetivo de medir la precisión del método en conjunto con el tipo de errores mas frecuentes. En este análisis, fue encontrada una exactitud de 68%. En el análisis de la matriz de confusión fueron examinados los errores a través del esquema de la Figura 9.

Del análisis de la Tabla 2, se puede encontrar confusión en los casos de: degradación en caatingas abiertas discriminadas como no cambio (error tipo II); no cambio en coberturas densas discriminada como degradación (error tipo V); recuperación en coberturas densas discriminadas como no cambio (error tipo III); no cambio en coberturas abiertas discriminadas como recuperación (error tipo VIII) y en menor medida, se encuentra no cambio en cobertura densa discriminada como recuperación (error tipo V) recuperación en coberturas abiertas discriminadas como no cambio (error tipo IV). En la Tabla 3, se puede observar que los casos de confusión mas frecuentes son los de tipo II, III e VIII.

En este trabajo, se propone una modificación en el método del ACP. Esta es resultante de una trans-

formación lineal análoga a la transformación por componentes principales, teniendo el ángulo de la rotación de menor grado que el aplicado por el ACP. Esto es propuesto con base en los resultados de este estudio; mayor ocuencia de los euores del tipo: II, III y VIII. La rotación espectral propuesta con ángulo menor, puede ser mas satisfactoria que la aplicada por la ACP. Esta rotación controlada también puede mejorar los resultados cuando se tiene un efecto significativo de las lluvias.

Casos	Imagen detección	Campo + SIG	Cobertura	Ocurrencia (%)
II	No cambio	De 1-2s	Abierta	9,5
III	No cambio	Re 1-2s	Densa	8,2
IV	No cambio	Re 1-2s	Abierta	1,4

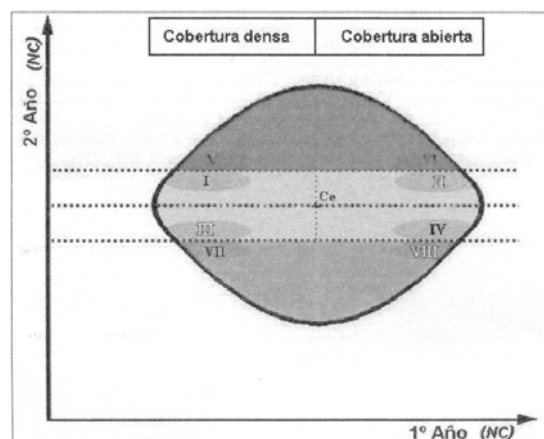


Figura 9. Esquema de los posibles errores de la detección, ubicados sobre la nube de pixels del ACP (en números claros los más frecuentes).

V	De 1-2s	No cambio	Densa	4,1
VIII	Re 1-2s	No cambio	Abierta	6,8

Tabla 3. Casos encontrados de confusión del ACP

Según el estudio de la distribución espacial de los casos de confusión, las lluvias parecen afectar la detección, en la forma de acrecentar los casos de errores del tipo II y III.

CONCLUSIONES

El uso del Análisis de Componentes Principales, demostró ser adecuado para la detección de los cambios en la cobertura vegetal y el uso de la tierra en la caatinga, con una precisión del 68% para la totalidad de la detección, a pesar de la complejidad del paisaje y del uso de la tierra, se alcanzaron valores altos para actualizar las cartas de vegetación, sin necesidad de costosos procesamientos digitales.

La simetría del método del ACP afecta la totalidad de la imagen aunque solo parte de la imagen sea afectada directamente por las lluvias. Para evitar esto, se propone controlar la rotación que produce el ACP sobre la nube de pixels, para disminuir el efecto de las lluvias.

El uso del SIG conformó un ambiente de trabajo ideal durante todas las etapas de la detección.

AGRADECIMIENTOS

A las instituciones que apoyaron el trabajo; INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-Brasil), CNPq (Conselho Nacional para Desenvolvimento Científico e Tecnológico-Brasil), UNSJ (Universidad Nacional de San Juan-Argentina) y CEPATSA/EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria-Brasil).

BIBLIOGRAFIA

CARVALHO, v. C. 1986. Structure et dynamique de la végétation en milieu tropical semi-aride. La Caatinga de Quixabá (Pernambouc, Brésil) du terrain à l'analyse des données MSS/Landsat. Tesis (Doctorat) Université de Toulouse-Le Mirail. 332p.

- CHAVEZ, P. S., MCKINNON, D. J. 1994. Automatic detection of vegetation changes in Southwestern United States using remotely sensed images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 60 (5): 571-583.
- DRUMOND, M. A.; LIMA, P. C. F.; SOUZA, S. M.; LIMA, J. L. S. 1979. Sociabilidade das espécies que ocorrem na caatinga. Petrolina: CPATSA/EMBRAPA. 14p.
- DUQUE, J. G. 1980. O Nordeste e as lavouras xerófilas. Mossoró: Centro Gráfico Senado Federal. 332p.
- EASTMAN, J. R., FULK, M. 1993. Long sequence time series evaluation using standardized principal components. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 59 (6): 991-996.
- FARIA, C. M. 1992. Práticas que favorecem a capacidade produtiva do solo na agricultura de sequeiro do semi-árido brasileiro. (Circular técnica N°8). Petrolina: EMBRAPA/CPATSA 30p.
- GEOFFREY, M. H. 1997. Detecting change in grasslands using measures of spatial dependence with Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment*. 46 (4): 223-234.
- HUETE, A. R.; JACKSON, R. D.; POST, D. F. 1985. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. *Remote Sensing of Environment*. 17: 375-383.
- KAZMIERCZAK, M. L. 1993. Índice de vegetação derivado do NOAA/A VHRR, Análise da sazonalidade da cobertura vegetal em região de clima semi-árido (caatinga). Fortaleza: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. 106p.
- MALDONADO, F. 1999. Análise por componentes principais (ACP) na caracterização da dinâmica do uso da terra em área do semi-árido brasileiro: Quixaba-FE. Tesis de maestría. Sao José dos Campos: INPE. 132p.
- RICHARDS, J. A.; JIA, X. 1998. Remote sensing digital image analysis. 3ª ed. Germany: Springer-Verlag. 363p.
- SA, I. B. 1991. Aplicações da abordagem multiespectral em sensoriamento remoto para mapeamento da vegetação de caatinga: estudo de caso, Petrolina, FE. Tesis Maestría em Sensoriamento Remoto. INPE : Sao José dos Campos. 78p.
- SOBRINHO, J. V. 1986. O Grave problema ecológico da desertificação. Estudos Nordestinos de Meio Ambiente. Recife: Massangana ed. p.128-146.
- WALTER, H. 1986. Vegetação e Zonas climáticas: tratado de ecologia global. Sao Paulo: EPU. 435p.