

## Metodología de detección de cambios utilizando técnicas de rotación radiométrica.

Francisco Darío Maldonado<sup>1,2</sup>  
João Roberto dos Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de San Juan-UNSJ.  
Laprida 1130(O)-San Juan-Código postal:5400-Argentina.  
francis@unsj.edu.ar

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -MCT/INPE-Brasil.  
Caixa Postal 515 – 12227-010 - São José dos Campos-SP, Brasil  
{francis, jroberto}@dsr.inpe.br

**Abstract:** This work presents some simple solutions for the main difficulties that face users of change detection techniques, whose application was developed in the semi-arid region. The methodological improvements are related to the selection of a suitable spectral band for each aim, creating a new technique of change detection and improving the segmented and labeled map through one of the images of change detection for its transformation in thematic map. These differences are produced by the difficulties to make radiometrically compatible the data collected in different dates. The change detection map was obtained with good accuracy and correspondence in the detection of forms and patterns of use. The controlled rotation allows efficiency without complicated pre-processing (radiometric calibrations and atmospheric corrections), allowing the accessible use images obtained with different sensors, whenever their spatial resolutions are compatible.

**Palavras-chave:** remote sensing, change detection, controlled rotation, semi-arid, sensoriamento remoto, detecção de mudanças, semiárido.

### 1. Introducción

En este trabajo se presenta una metodología de detección de cambios que incluye una nueva técnica digital cuyo funcionamiento es controlado por la información de campo. Esta fue obtenida de la mejora en el control de la rotación radiométrica aplicada por la técnica de Análisis por Componentes Principales (ACP). En Maldonado (1999) e Maldonado et al. (2002), fue propuesta la modificación de la ACP para detección de cambios, puede entenderse como una rotación radiométrica controlada por matriz de covarianza, esta misma técnica fue llamada de Rotación Controlada por Eje de No cambio (RCEN).

Las técnicas de detección de cambios permiten la identificación de diferencias en el estado de objetos o fenómenos a través del tiempo. En percepción remota esta operación involucra la capacidad de cuantificar los cambios ambientales usando datos radiométricos de imágenes multitemporales. La disponibilidad de datos periódicos obtenida con los satélites de observación de la tierra ha hecho posible que la detección de cambios ambientales sea una de las mayores aplicaciones de la percepción remota. El formato digital de este tipo de datos ha facilitado el manejo de series temporales de imágenes con ayuda del computador. En los últimos años se ha desarrollado una amplia variedad de procedimientos digitales para detección de cambios, será revisado a continuación una nueva técnica perteneciente a la familia de algoritmos de procesamiento por rotación radiométrica de imágenes.

#### 1.1. Detección de cambios

Las premisas básicas para usar datos de percepción remota para la detección de cambios es que: las alteraciones en el fenómeno estudiado producen cambios proporcionales en los valores numéricos de las imágenes. A la vez que un aspecto fundamental es que estos cambios

son mayores que los producidos por otros factores sin importancia. Estos otros factores incluyen diferencias en las condiciones atmosféricas, ángulo de inclinación solar y humedad del suelo entre muchos otros. El efecto de algunos de estos factores puede ser minimizado seleccionando las imágenes adecuadas. Por ejemplo, el uso de imágenes de la misma época reduce las diferencias en el ángulo de iluminación y además elimina las diferencias estacionales en áreas vegetadas. Como señala Mas (1999), varios investigadores se han esforzado para resolver los problemas de la detección de cambios usando métodos como los de comparación pos-clasificación y clasificaciones de imágenes multitemporales, aunque en estos han encontrado otro tipo de problemas como la propagación de incertezas en el cruzamiento entre mapas y rotulado complejo como señalaron Congalton y Green (1999). Otras técnicas utilizan operaciones algebraicas simples y de estas las más importantes son la diferencia y la razón entre imágenes, diferencia entre índices de vegetación. Entre las operaciones algebraicamente más complejas, pueden mencionarse: Análisis por Componentes Principales como citado en Eastman y Fulk (1993), Chavez y MacKinnon (1994) y Maldonado et al. (2002); Análisis por Vector de Cambios descrito en Michalek et al. (1993); y el análisis por Rotación Radiométrica Controlada, como visto en Maldonado et al. (2001).

En aplicaciones como el mapeo del uso y cobertura de tierras todas las informaciones contenidas en las imágenes son potencialmente significativas. Algunas de estas se refieren con la alta correlación que existe entre dos imágenes de un canal del mismo rango espectral obtenidas en diferentes fechas. En partes de la escena habrá ausencia de correlación y estas son interpretadas como las áreas que cambian. Aquí hay un propósito adicional en identificar redundancia y separarla de los ruidos. Siempre que se use esta forma de análisis el problema de las diferencias atmosféricas entre datos puede minimizarse. Para esto debe aceptarse la presunción sobre la uniformidad de la atmósfera en toda la imagen. El principal propósito de usar una rotación radiométrica controlada es minimizar este problema simultáneamente con la detección de cambios. Se trata de colocar dos imágenes de un canal en el espacio cartesiano de dos ejes ortogonales. Como se indica más adelante, la componente segunda tienden a representar los cambios en la cobertura de las tierras. Las mismas consideraciones con respecto a la ortogonalidad de los ejes aplicados en este estudio, ya fueron hechas por otros autores anteriormente citados, sobre la aplicación del análisis por componentes principales. Un prerequisite para la aproximación de ACP es que el total de la variancia este asociado con una sustancial fuente de correlación. En otras palabras, los cambios de interés deben estar limitados a poca proporción de la superficie de la imagen. El control de la rotación por eje de no cambio no necesita de esta condición, como veremos a continuación.

## **1.2. Fundamentos del uso de rotaciones controladas para detección de cambios.**

La primera técnica en explotar las rotaciones radiométricas para la detección de cambios fue la de Análisis por Componentes Principales (ACP). Desde este punto de vista, esta podría ser llamada de Rotación radiométrica Controlada por Matriz de Covarianza (RCMC). La técnica utilizada en este trabajo, fue tratada anteriormente como Rotación Controlada por Eje de No cambio (RCEN). Y en ella cada imagen puede ser considerada como un grupo de puntos en un espacio cartesiano de dos ejes ortogonales (espacio de la dispersión). Los efectos de los cambios en la posición de esos puntos en este espacio bidimensional pueden ser anticipados como sigue:

- 1) Cambios en las condiciones atmosféricas de obtención de las imágenes afectan todos los puntos por igual y en consecuencia producen diferentes desplazamientos de la dispersión alrededor del origen y expansiones en diferentes grados;
- 2) Cambios en la humedad del suelo pueden tener efectos similares aunque limitados a algunos puntos de áreas poco vegetadas o de suelo desnudo en el extremo de la dispersión;

3) Diferencias entre sistemas de sensores y procedimientos de calibración que deforman linealmente la dispersión;

4) Diferencias en la cobertura de las tierras producen el aumento de la dispersión de estos puntos con relación al eje principal de la dispersión o "eje de no cambio".

Desafortunadamente las diferencias en la primera categoría (condiciones atmosféricas) no son fácilmente cuantificables ni predecibles. Aunque dos escenas de un canal espectral de la misma área fueran superpuestas como simple imagen de dos canales. El análisis por rotación controlada por eje de no cambio (RCEN), produce dos bandas, la variabilidad de la reflectividad de la imagen total aparecen en la primera componente y los cambios estadísticamente menores asociados con cambios locales en la cobertura de tierras aparecen en la segunda componente según Maldonado (1999).

## **2. Objetivo**

Obtener una metodología simple para detección de cambios en la cobertura vegetal de regiones semiárida utilizando información satelital, a través del desarrollo de la RCEN como técnica que para su aplicación no exige pre-procesamientos complejos.

## **3. Área de estudio**

El área bajo estudio comprende una superficie de 190,37 km<sup>2</sup>, 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 semiárida del Nordeste brasileño, Estado de Pernambuco. Esta región presenta significativa homogeneidad térmica, con temperaturas alrededor de los 27°. 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 prolongada e irregular, la evado-transpiración es muy intensa y los suelos son generalmente poco desarrollados y sin materia orgánica. Esta región esta ocupada por una vegetación natural arbustiva y arbórea baja tipo estepa, llamada localmente "caatinga".

## **4. Material y método**

Para el análisis de la dinámica de la vegetación, fueron usadas dos imágenes TM/Landsat en formato digital, órbita 217/66, del 23 de Octubre de 1984 y 10 de Septiembre de 2001. Para el procesamiento de imágenes se utilizo el software ERDAS Imagine 8.2. En la **Figura 1** se muestra el diagrama general de la metodología de detección.

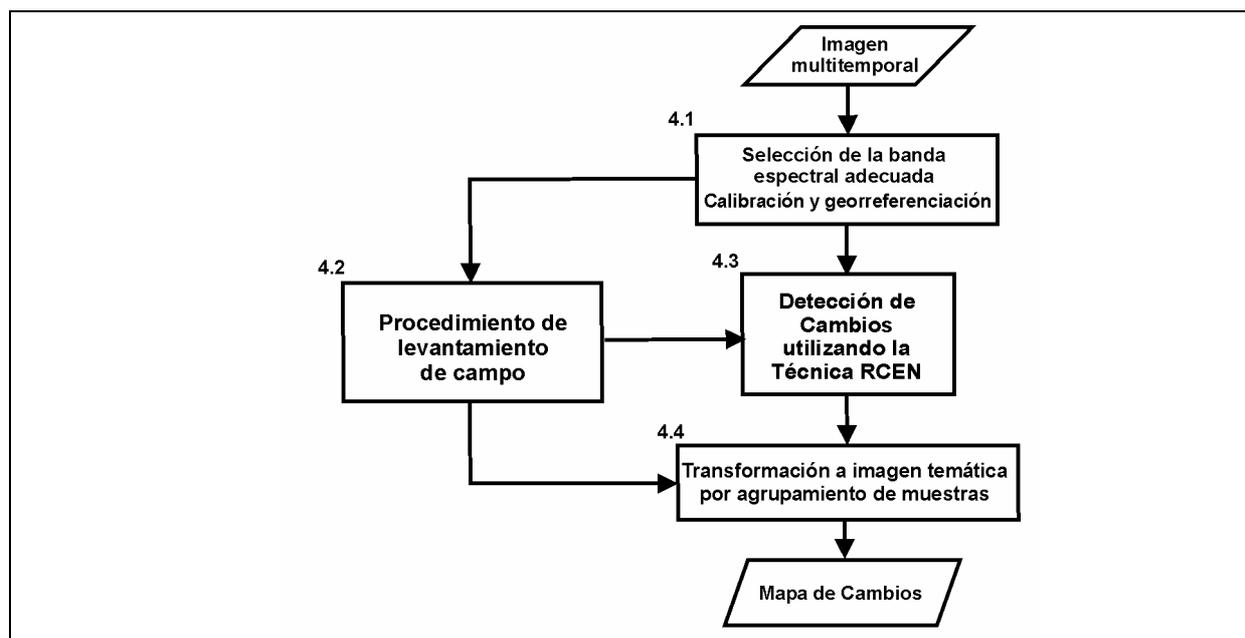


Figura 1 - Fluxograma de la metodología general de detección de cambios.

#### 4.1. Selección de la banda espectral adecuada, calibración y georreferenciación.

El primera etapa metodológica fué seleccionada la banda espectral utilizada. Esta debe ser sensible a las variaciones de la cobertura vegetal y tener algún tipo de correlación entre estas variaciones y su comportamiento radiométrico en las imágenes como afirman Bruzzone y Serpico (1997). Cuando se trata de estudiar la vegetación la banda mas utilizada es la del infrarrojo cercano (TM4). La respuesta del ambiente en esta faja del espectro es principalmente debida a la presencia de hojas sanas. Sin embargo, cuando estudiamos la vegetación del semiárido esta banda no es apropiada sobre todo en épocas intermedias y secas, cuando es frecuente la falta de follaje en las plantas. Según Asner et al. (2000) en el ambiente árido la variabilidad del comportamiento radiométrico del paisaje en la faja del visible puede atribuirse en 87% a la cobertura arbustiva y el 12% a la superficie del suelo. Por consiguiente, el intervalo espectral correspondiente al rojo (TM3) es mas apropiado para identificar las variaciones de cobertura de la vegetación en estas áreas.

En esta etapa del proceso lo importante es la calidad de la corrección geométrica que permita obtener la coincidencia espacial entre los elementos en las imágenes, el éxito de la detección de cambios depende casi totalmente de su exactitud Dai y Khorran (1998). Para obtener los valores de energía radiante es necesaria la calibración según los parámetros del sensor. La corrección atmosférica, para extraer los valores introducidos por la atmósfera fue eliminado. En esta etapa es necesaria la transformación de las imágenes en números enteros a números reales (continuo o doble precisión). Esto permite que todo el intervalo numérico de la imagen pueda ser aprovechado por los algoritmos de la técnica de detección.

#### 4.2. Procedimiento de relevamiento de campo

Este es la etapa mas importante y su calidad afecta directamente la calidad de los resultados. En esta son colectados indicadores de cambios en la cobertura vegetal. El éxito de la detección de cambios depende de la confiabilidad de la caracterización de los sitios de no cambio en el terreno. La radiometría de los puntos rotulados mas confiablemente controlan la regresión y consiguiente el valor del ángulo de funcionamiento. Un levantamiento adecuado

permite la recolección eficiente de indicadores de cambios con adecuada relación costo/beneficio, como visto en Maldonado (2004).

### 4.3. Técnica de detección de cambios por rotación radiométrica controlada por eje de no cambio – RCEN

La RCEN es una transformación lineal que produce una rotación de los ejes ortogonales del espacio de atributos radiométricos de las imágenes (de una misma banda espectral en fechas diferentes). Esta rotación se basa en la inclinación, del eje formado por la recta de regresión de los puntos rotulados en el campo como no cambio. Este eje describe la correlación entre los píxeles de no cambio de las imágenes de la primera y segunda fecha. En esta técnica el ángulo de rotación ( $\alpha$ ) es definido como el arco tangente de la pendiente de la recta en la regresión lineal de los píxeles de no cambio identificados previamente en el terreno. La imagen de detección es generada utilizando el algoritmo de una rotación simple. En la **Figura 2** se muestra un esquema del procedimiento de extracción de datos, conjuntamente con las ecuaciones de cálculo.

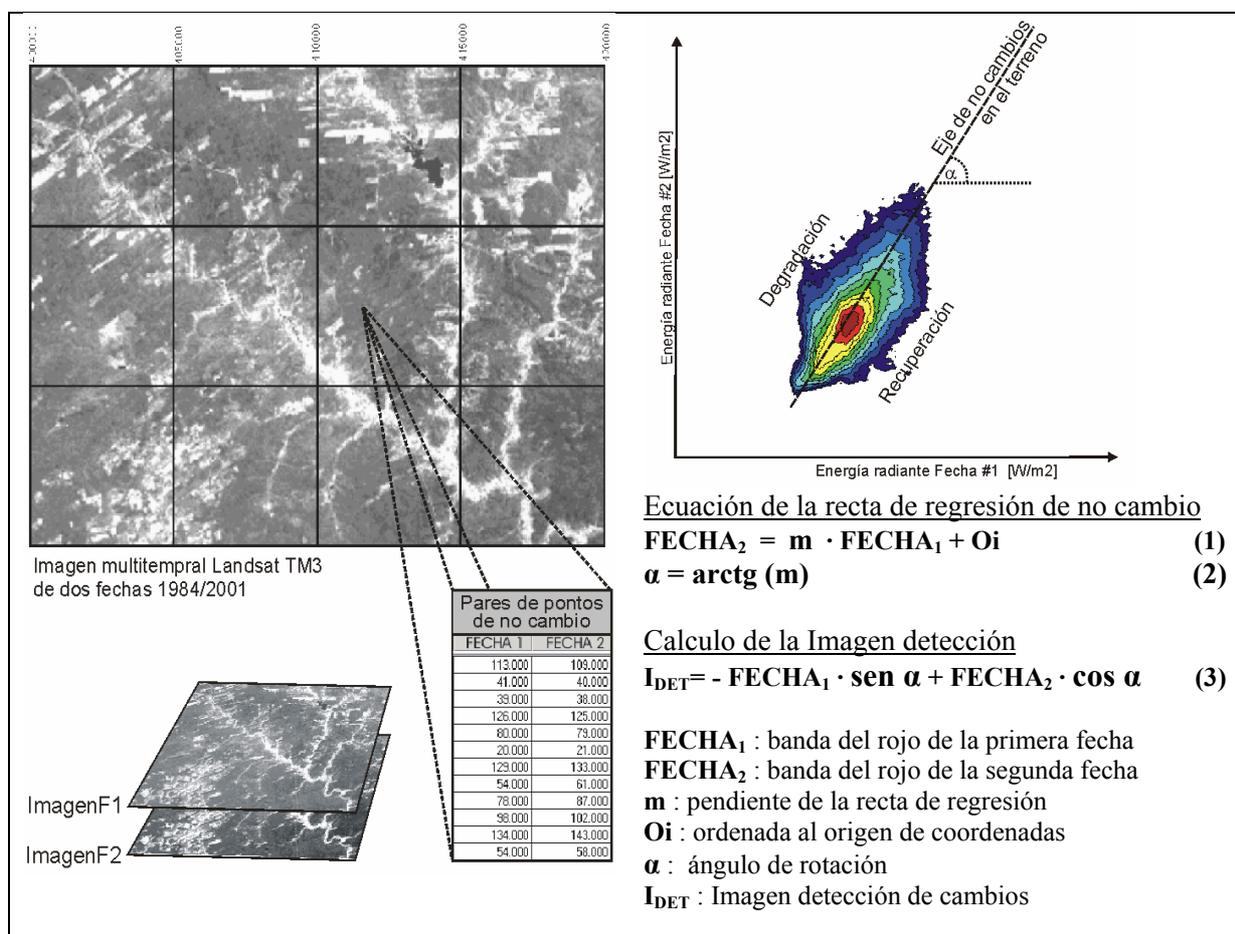


Figura 2 - Esquema de la extracción de atributos de la imagen multitemporal, dispersograma y formulas para el cálculo de la recta de regresión e Imagen detección.

Como se muestra en la **Figura 2**, primero se obtiene el ángulo  $\alpha$  (parámetro principal de la rotación) en la **Ecuación 2**, cuyo parámetro es extraído de la **Ecuación 1** de la recta de regresión. Así, aplicando los algoritmos rotacionales de las **Ecuación 3**, se genera la imagen de detección ( $I_{DET}$ ). La imagen obtenida expresa de forma radiométrica los cambios en la cobertura vegetal. Esta imagen de detección está formada por valores continuos, donde los tonos

claros son los píxeles que sufrieron mayor pérdida de cobertura vegetal y los tonos oscuros son los de mayor recuperación.

#### 4.4 – Técnica de transformación de la imagen continua en temática.

Con esta técnica se transforma la imagen de detección en modo continuo en una imagen temática. En este proceso la imagen de detección obtenida por la rotación es seccionada y rotulada. Estos son pasos independientes al de control de la rotación. El seccionado y rotulado son hechos en cinco clases: dos de degradación, una de no cambio, y dos de recuperación. Este es obtenido con el posicionamiento de cuatro límites. La posición de estos es calculada teniendo como centro de cada clase la radiancia media del grupo de muestras extraída de la imagen de detección y sus límites entre clases a una desviación estándar entre las clases adyacentes, conforme ilustrado en la **Figura 3**, el histograma de la imagen de detección es seccionado y rotulado en 5 clases; 2 de degradación; 2 de recuperación y una de no cambio.

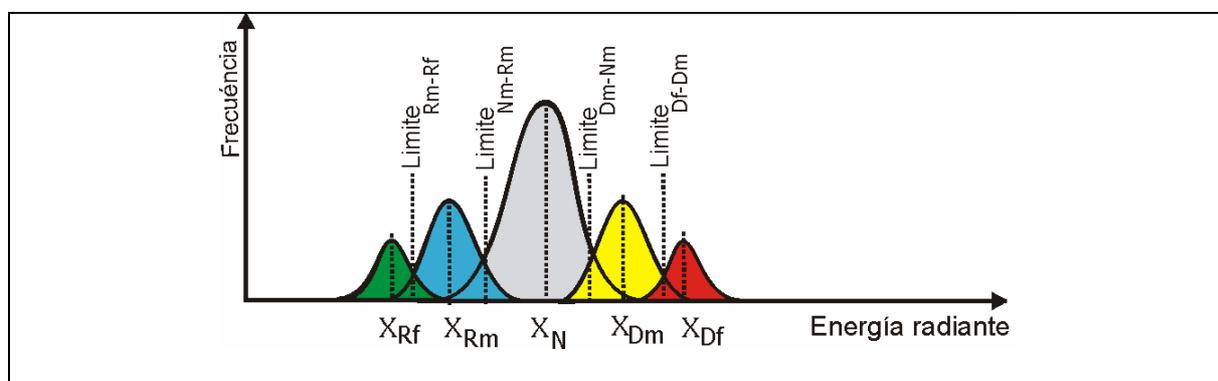


Figura 3 - Histogramas de los grupos de muestras en la imagen de detección.  $X_{RF}$ ,  $X_{RM}$ ,  $X_N$ ,  $X_{DM}$ ,  $X_{DF}$  : media de la energía radiante de los grupos de muestras de recuperación fuerte, recuperación media, no cambio, degradación media y degradación fuerte respectivamente.

Empíricamente la fidelidad del límite entre cambio y no cambio puede ser evaluada si se observan algunas líneas rectas entre clases, como los llamados contrastes entre campos cercados y abiertos, con diferente presión de pastoreo del ganado. Estas líneas dividen clases de no cambio y clases de cambio de intensidad media. Estos límites entre las clases de degradación posicionan automáticamente los límites entre las clases.

#### 5. Resultados y discusión

Después de obtener mapa de detección de cambios fué calculado el índice de exactitud K de 0.70. También se analizaron las clases con base a criterios de formas y patrones. Y fué observada buena correspondencia con los patrones habituales de uso. En una observación general de la imagen, aparece una zonación norte-sur, en el norte predomina la recuperación media, mientras que en el sur, clases de “no cambio” homogéneas. En la **Figura 4** se observan 2 áreas diferentes, al oeste-noroeste, un área con patrones de uso agrícola con alternancia de degradación y recuperación con formas geométricas. Y al sureste un patrón de uso agropecuario, donde no se observan clases con formas geométricas, en esta predomina la degradación media.

Las áreas de actividad agrícola asociadas a las clases de degradación fuerte se observan preferentemente a lo largo de la red de drenaje, en relación a la fertilidad natural de los bajos con mayor disponibilidad de agua. Esta distribución explica el mosaico de degradación y

recuperación observada a lo largo de la red de drenaje. Estos cambios son de magnitud fuerte, generalmente de formas regulares y homogéneas, y están asociadas a pequeñas plantaciones.

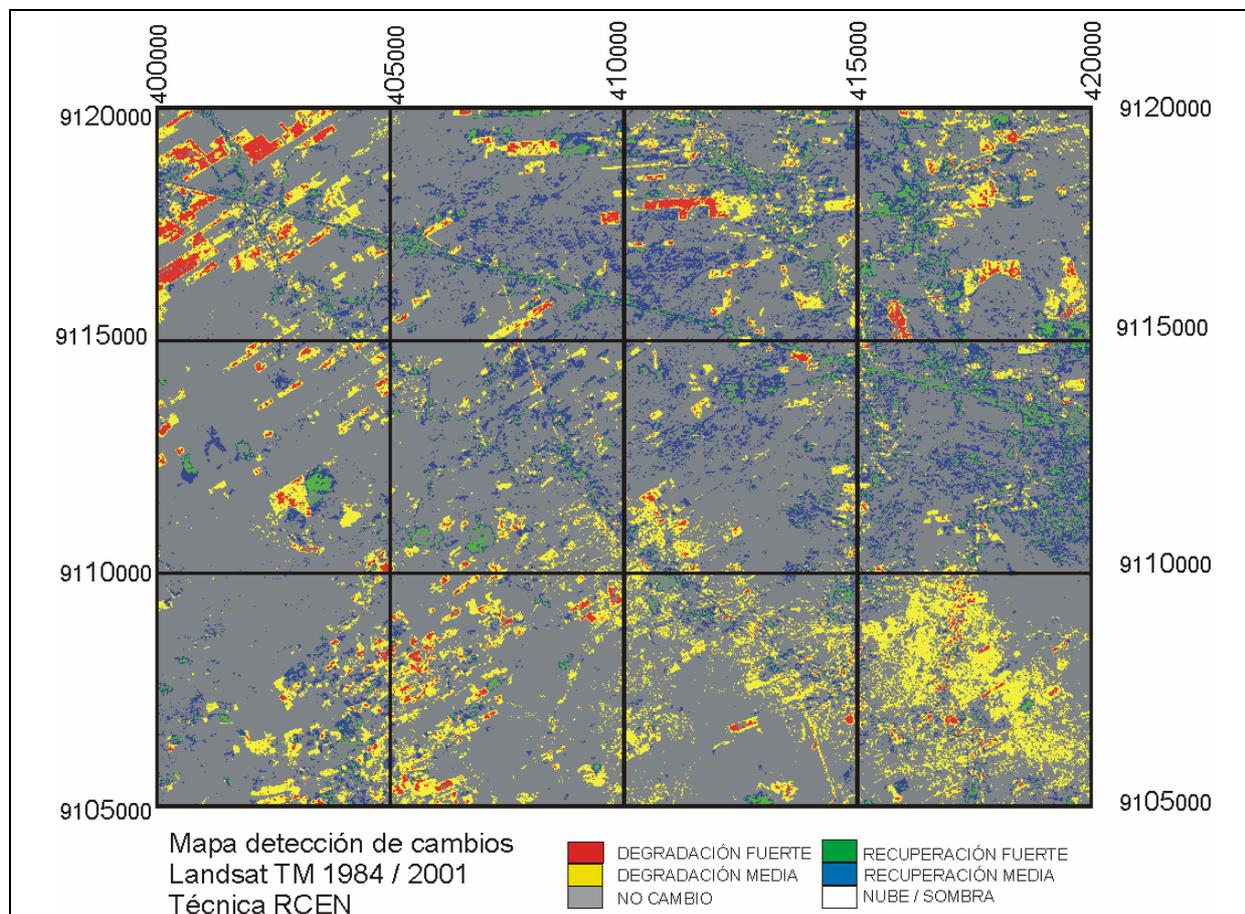


Figura 4 - Mapa de detección de cambios.

## 6. Conclusiones

Las rotaciones controladas proveen una forma eficiente y consistente de identificar áreas cuyos cambios han ocurrido en el periodo de tiempo de las imágenes. La técnica RCEN permite obtener resultados sin complicados procesamientos para corrección radiométrica. Solamente son necesarias las correcciones de las imágenes con parámetros de cada sensor (cuando son utilizados sensores diferentes). Y la corrección atmosférica no es necesaria, eliminando la necesidad de buscar y aplicar parámetros de inclinación solar y transparencia de la atmósfera propios para cada caso. Para obtener buenos resultados con las técnicas clásicas de detección, estos complicados pasos de pre-procesamiento son fundamentales y si son correctamente aplicados permiten obtener excelentes resultados.

Con la técnica RCEN pueden ser obtenidos resultados en forma rápida y simple con cualquier combinación de sensores espectralmente compatibles, como CBERS-Landsat. Estos resultados satisfacen ampliamente los costos/beneficios para de las técnicas digitales de detección de cambios.

## Agradecimientos

A la Capes PEC/PG-Brasil durante estudio de doctorado del primer autor en el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-MCT/INPE. A el CNPq-Brasil, por el apoyo a las investigaciones con los procesos DTI-380233/2004 y 300677/91-0.

## Referências

- Asner, G.P.; Wessman, C.A.; Bateson, C.A.; Privette, J.L. Impact of tissue, canopy, and landscape factors on the hyperspectral reflectance variability of arid ecosystems. **Remote Sensing of Environment**, v.74, n.1, p.69-84, 2000.
- Bruzzone, L.; Serpico, S.B. Detection of changes in remotely-sensed images by the selective use of multi-spectral information. **International Journal of Remote Sensing**, v.18, n.18, p.3883-3888, 1997.
- Chavez, P.S.; MacKinnon, D.J. Automatic detection of vegetation changes in southwest United States using remotely sensed images. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.60, n.5, p.571-583, 1994.
- Congalton, R.G.; Green, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practice**. Mapping sciences series. New York: CRC Press Inc., 1999. 98p.
- Dai X.L.; Khorram S. The effects of image misregistration on the accuracy of remotely sensed change detection. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.36, n.5, p.1566-1577, 1998.
- Eastman, J.R.; Fulk, M. Long sequence time series evaluation using standardized principal components. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.59, n.6, p.991-996, 1993.
- Maldonado, F.D. **Análise por componentes principais (ACP) na caracterização da dinâmica do uso da terra em área do semi-árido brasileiro: Quixaba – PE, Brasil.**, 116p. (INPE-7180-TD/680). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1999.
- Maldonado, F.D.; Carvalho, V.C.; Santos, J.R. Change detection in land use and land cover with remote sensing: degradation indicators at sub-regional level. 3th International Conference on Land Degradation. **Anais**. Symposium V- 1. Innovations (new methodologies). Rio de Janeiro, Brasil: 2001, [CDROM]
- Maldonado, F.D.; Santos, J.R.; Carvalho, V.C. Land use dynamics in the semiarid region of Brazil (Quixabá-PE): characterization by principal components analysis. **International Journal of Remote Sensing**, v.23, n.23, p.5005- 5013. Londres: Taylor & Francis, 2002.
- Maldonado, F.D. **Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal da região semi-árida**, 314p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.
- Más, J.F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v.20, n.1, p.139-152, 1999.
- Michalek, J. L.; Luczkovich, J. J.; Stoffle, R. W. Multispectral Change Vector Analysis for monitoring coastal marine environments. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 59, n. 3, p. 381-384, Mar. 1993.