

UTILIZACIÓN DE LAS IMÁGENES CBERS-2 EN EL ESTUDIO DE LOS SISTEMAS FORESTALES BRASILEÑOS Y SU APLICABILIDAD EN ESPAÑA

A. Fernández Manso⁽¹⁾, C. Quintano Pastor⁽²⁾, J. Roberto dos Santos⁽³⁾, F. Darío Maldonado⁽³⁾

(1)IPR-Universidad de León. Av. Astorga s/n 24400. Ponferrada – León, España
alfonso@unileon.es

(2)DTE-Universidad de Valladolid. Francisco Mendizabal 1 47014 - Valladolid, España;
menchu@tele.uva.es

(3) INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Av. dos Astronautas 12.227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil; jroberto, francis@ltid.inpe.br

Resumen

La utilización del sensor CCD (20m de resolución espacial) del satélite chino-brasileño de observación de la tierra CBERS-2, está permitiendo estudiar la dinámica del uso y ocupación del paisaje brasileño, siendo una buena alternativa al Landsat-7. En este trabajo se presenta una nueva técnica para la detección de cambios que se ha ensayado conjuntamente en Brasil y España utilizando imágenes ETM+/Landsat e CCD/CBERS-2

PALABRAS-CLAVE: Detección de cambios, seguimiento de la vegetación, CBERS-2, recursos forestales, semiárido.

INTRODUCCIÓN

Las técnicas de teledetección están siendo cada vez más utilizadas en el estudio de cambios del paisaje y en un contexto más amplio en la detección de cambios ambientales. La premisa básica para utilizar la teledetección en la detección de cambios en el territorio es considerar que las alteraciones en el objeto o fenómeno estudiado producen transformaciones proporcionales en los valores numéricos de las imágenes captadas por el sensor a bordo del satélite. Además, es necesario determinar los factores que pueden producir errores en estas relaciones directas como son las diferentes condiciones atmosféricas, el ángulo de inclinación solar, la humedad del suelo,.. Es, pues, muy importante saber seleccionar y tener en cuenta estos factores de error. El uso de imágenes de la misma época del año, por ejemplo, reduce las diferencias en el ángulo de iluminación de la escena utilizada minimizando de esta manera las diferencias fenológicas y estacionales de las áreas forestales y mostrando una mayor nitidez la dinámicas de los usos del suelo.

Varios investigadores se han esforzado para resolver los problemas de la detección de cambios como Mas (1999), que ha utilizado diversos métodos como la diferencia entre imágenes multitemporales, la diferencia entre imágenes índices de vegetación y la comparación pos-clasificación. Entre las operaciones algebraicamente más complejas, pueden mencionarse: análisis por componentes principales (Chavez y MacKinnon, 1994; Maldonado et al, 2002), análisis por vector de cambios (Lorena et al., 2002) y análisis por rotación radiométrica controlada (Maldonado et al., 2002). Dentro de este contexto de nuevas metodologías para la detección de cambios se presenta este estudio con el objeto de mostrar la aplicabilidad de la técnica denominada rotación controlada por eje de no cambio (RCEN) para el seguimiento de la degradación y regeneración de la cobertura vegetal. En este trabajo se presentan dos singularidades importantes, por un lado, en el análisis multitemporal se combinan imágenes de los sensores, LANDSAT/ETM+ y CCD/CBERS-2/. Por otro lado, se realiza una aplicación en dos áreas tan diferentes como son el semiárido brasileño y el mediterráneo continental español.

ÁREAS DE ESTUDIO

El área de estudio brasileña comprende una superficie de 842 km², localizada entre 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, ocupada por una vegetación natural arbustiva y arbórea baja tipo estepa, llamada localmente "caatinga". Esta región presenta fuerte irradiación solar y 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 600 mm, siendo 7 a 8 meses de estación seca en la que frecuentemente la precipitación es cero. La época seca es prolongada e irregular, la evapotranspiración es muy intensa y los suelos son generalmente poco desarrollados y sin materia orgánica.

El área de estudio español que comprende una superficie de 120 km² se localiza entre 42° 8' y 42° 55' de latitud norte y 6° 4' y 7° 6' de longitud oeste en la provincia de León. Esta situación geográfica determina una diferencia entre los dos territorios considerados, frente a unas precipitaciones similares, 600 mm, la temperatura media anual es de 13° lo que determina que el periodo de la estación seca sea solamente de 3 meses.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para el análisis de la dinámica de la vegetación en la región del semiárido brasileño, se utilizaron imágenes ETM+/LANDSAT (órbita 217/660) del 10 septiembre de 2001, con resolución espacial de 30 metros y CCD/CBERS-2 (órbita 151/109) de 31 de Agosto de 2004, con resolución de 20 metros, ambas correspondientes a la región espectral del rojo (0.63-0.69 μm). En el ejemplo español se utilizó una imagen ETM+/LANDSAT del 10 septiembre de 2000 y una CCD/CBERS-2 del 14 noviembre de 2004. Una descripción más detallada de la configuración del satélite CBERS puede ser consultada en <http://www.cbears.inpe.br/pt/programas/cbers1-2_cameras.htm>. Para el procesamiento de imágenes se utilizó el software ERDAS Imagine 8.2.

Desde el punto de vista metodológico para el tratamiento digital de estas imágenes se siguieron cuatro etapas: corrección geométrica, compatibilización espacial, aplicación de la técnica RCEN y elaboración de una cartografía de cambios.

La calidad de la corrección geométrica de las imágenes tiene una gran influencia en la detección de cambios (Dai & Khorran, 1998). En este trabajo se realizó una correferenciación de las imágenes ETM+/LANDSAT y CCD/CBERS-2 a través del remuestreo utilizando la técnica del vecino más próximo, obteniendo un error de desplazamiento siempre inferior a 0.3 píxeles.

En la segunda etapa se transformó las imágenes de números enteros (precisión simple) en números reales (punto flotante o doble precisión), permitiendo que todo el espacio numérico de detección pueda ser aprovechado por los algoritmos de la técnica de detección.

Para poder compatibilizar las distintas resoluciones espaciales, 30 m en las ETM+ y 20 m en las CCD, se definió una resolución de referencia de 60 m, utilizando factores enteros de conversión. En el ejemplo español con la intención de aprovechar al máximo la resolución espacial para detectar los procesos de cambio antes de correferenciar las dos imágenes se realizó una fusión de las bandas espectrales de ETM+ con la banda pancromática en la imagen con el objeto de obtener un píxel de 15 m que posteriormente sería redefinido a 20m. Esta mayor definición de la componente espacial permite detectar cambios que afectan en un área de menor tamaño.

Después de estas operaciones preparatorias se implementó la técnica rotación controlada por eje de no cambio (RCEN) a las dos imágenes obteniendo como resultado la imagen de detección de cambios. Según Maldonado et al. (2004), la RCEN se basa en 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 (α) 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 detección de cambios es generada utilizando el algoritmo de rotación simple según indica la ecuación:

$$I_{\text{Det}} = - \text{Fecha}_1 \text{ sen } \alpha + \text{Fecha}_2 \text{ cos } \alpha \quad (\text{Ec.1})$$

I_{Det} : Imagen detección de cambios

Fecha_1 : banda del rojo de la primera fecha

Fecha_2 : banda del rojo de la segunda fecha

$\text{sen } \alpha$: seno del ángulo de rotación

$\cos \alpha$: coseno del ángulo de rotación
 α : ángulo de rotación

La imagen de detección obtenida expresa de forma radiométrica los cambios en la cobertura vegetal. Esta imagen de detección de cambios está formada por valores continuos, donde los tonos claros son los píxeles que sufrieron mayor pérdida de cobertura vegetal y la tonalidad oscura son aquellas de mayor recuperación.

Una vez obtenida esta imagen de detección de cambios, se realizó una transformación de los valores de la imagen a una cartografía temática a través de un procesamiento gráfico que comprende el cálculo de umbrales (límites) entre clases de un determinado espacio de atributos, el seccionamiento del rango radiométrico de la imagen y posteriormente, la etapa de rotulación de las clases. En el seccionamiento y rotulado se diferencian cinco clases: dos de degradación, una de no cambio, y dos de recuperación. Los límites de clase y sus respectivas leyendas se fijan a partir del conocimiento del intérprete sobre la dinámica de cambios en el área de estudio. En el seccionamiento se utilizan los estadísticos moda y media, la moda se mantiene como centro de la clase de no cambio, aunque en la detección de cambios entre imágenes de intervalos cortos la media de la distribución se desplaza hacia la degradación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la **Figura 1** se muestra el diagrama de dispersión de los valores radiométricos obtenido para el conjunto de los datos en la primera fecha (10/09/2001) de la imagen ETM+ frente a la segunda fecha (31/08/2004) de CCD. Se puede destacar la curva de regresión de los píxeles de no cambio en la cobertura vegetal y el ángulo de rotación ($\alpha = 27^\circ$) utilizado en la rotación radiométrica para la detección de cambios.

Según Santos et al. (2004), la técnica RCEN puede ser utilizada para comparar imágenes multitemporales y/o multisensor, minimizando la necesidad del uso previo de las correcciones radiométricas tradicionales, simplificando de esta manera el tiempo operacional y permitiendo obtener resultados satisfactorios en la detección de cambios.

En la **Figura 2** se presenta la imagen de detección de cambios en el periodo 2002-2004 para la zona de estudio brasileña resultante de la aplicación de la técnica RCEN. En la cartografía elaborada se pueden observar las áreas de regeneración y degradación en sus diferentes niveles de intensidad, además de las áreas donde no se detectó ningún cambio. Considerando que el área estudiada es de 842 km², se muestra también en la **Figura 2** la distribución porcentual de las clases de cambio.

Según Maldonado (1999), cerca del 87% del área estaba ocupada por las fisonomías arbórea, arbórea-arbustiva e arbustiva da caatinga. Pero, la dinámica histórica de ocupación de tierras para actividades agroganaderas se ha visto frenada en la actualidad. El 93% del área se ha clasificado como estable (sin cambio). En el periodo considerado en el estudio, sólo un 1% del área estuvo sometida a una degradación fuerte relacionada con la corta y sustitución de la caatinga para su utilización en actividades relacionadas con el desarrollo agroganadero. En los últimos años, esta zona no ha sufrido cambios bruscos en la política de expansión productiva, el aprovechamiento del territorio se ha realizado siguiendo patrones tradicionales, a través de agricultura de bañados e itinerante y pastoreo de caprinos en campos comunitarios. La precisión del mapa de detección de cambios generado a partir de la técnica RCEN en la zona de estudio brasileña ha sido buena, con un valor Kappa de 0.7 similar a estudios realizados para datos TM/Landsat en el periodo 1984 a 2001 (Maldonado y Santos, 2005).

En el área de estudio española se reflejan la ausencia de procesos de degradación importantes a la escala del trabajo. En la **Figura 3** se puede observar como todos los procesos de cambio han sido positivos debido fundamentalmente al abandono de las actividades agroganaderas en la zona de estudio. La gran cantidad de nubes de la imagen CBERS-2 sobre las áreas de intervención minera no permitió estudiar los cambios en las zonas sometidas a la explotación pizarrera a cielo abierto, principal fuente de cambios regresivos. Otro de los problemas que se puede observar en la cartografía de cambios es la fuerte componente de cambios estacionales (septiembre-noviembre) que representa una fuente de error frente a los procesos de cambio interanual. Este hecho se comprueba en todo el borde del embalse de Barcena en el que los cambios corresponden a diferencias de nivel

de agua embalsada. Se considera necesaria en próximas estudios la utilización de imágenes de fechas similares para evitar esta fuente de error.

CONCLUSIONES

Como principal conclusión se puede destacar la aplicabilidad de la técnica RCEN en el tratamiento digital de datos multisensor para la detección de cambios del paisaje. Esta técnica es operacionalmente simple y evita los problemas de comparación radiométrica cuando se trabaja con imágenes de distintos sensores, como ocurre en las técnicas clásicas de estudio de cambios. Otra importante conclusión es la facilidad de integración de datos CBERS-2 con los proporcionados por otros satélites de similar resolución espacial. En el trabajo también se ha probado el gran potencial que tienen las imágenes CCD para el estudio de cambios debido a la probada sensibilidad radiométrica, espacial, espectral y temporal.

A nivel español se demuestra también la utilidad de las imágenes del satélite chino-brasileño para el estudio de nuestros bosques siendo esta primera aplicación, limitada a una única imagen, la primera de otras que se están empezando a desarrollar.

Agradecimientos

No Brasil, ao CNPq pela concessão de bolsa de pesquisa (Processos 300677/91-0 e DTI-380233/2004-5).

Nuestro más sincero agradecimiento al Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por el interés mostrado en la cooperación científica con las universidades León y Valladolid.

BIBLIOGRAFÍA

CHAVEZ, P.S.; MACKINNON, D.J. 1994. Automatic detection of vegetation changes in Southwest United States using remotely sensed images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v.60, n.5, p.571-583.

DAI, X.L.; KHORRAN, S. 1998. 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.

LORENA, R.B.; SANTOS, J.R.; SHIMABUKURO, Y.E.; BROWN, I. F.; KUX, H.J.H. 2002. A change vector analysis technique to monitor of landuse/land cover in SW Brazilian Amazon, Acre State. In: PECORA 15 - Integrating Remote Sensing at the Global, Regional and Local Scale. Denver, Colorado/USA, Nov., 8-15, [CDROM].

MALDONADO, F.D. 1999. Análise por componentes principais (ACP) na caracterização da dinâmica do uso da terra em área do semi-árido brasileiro: Quixaba – PE, Brasil. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 116p. (INPE-7180-TD/680).

MALDONADO, F.D.; MARTINELLI, M.; CARVALHO, V.C. 2004. Innovaciones y mejoramientos de las técnicas de detección de cambios em la cobertura vegetal em regiones semi-áridas. In: Ed., Atílio Antonio Disperati & João Roberto dos Santos. *Aplicações de geotecnologias na Engenharia Florestal*. Curitiba, PR.; Copiadora Gabardo LTDA, p.61-69. (ISBN 85-904724-1-8).

MALDONADO, F.D.; SANTOS, J.R.; CARVALHO, V.C. 2002. 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.

MALDONADO, F.D.; SANTOS, J.R. 2005. Metodología de detección de cambios utilizando técnicas de rotación radiométrica. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 12. Goiânia (GO), 16-21 abr. Anais. [CDROM].

MÁS, J.F. 1999. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, v.20, n.1, p.139-152.

SANTOS, J.R.; MALDONADO, F.D.; GRAÇA, P.M.L.A. 2004. Imagem CBERS: uma nova ferramenta para subsidiar estudos de mapeamento e monitoramento ambiental. In: Ed., Atílio Antonio Disperati & João Roberto dos Santos. *Aplicações de Geotecnologias na Engenharia Florestal*. Curitiba, PR.; Copiadora Gabardo LTDA, p.128 - 137. (ISBN 85-904724-1-8).

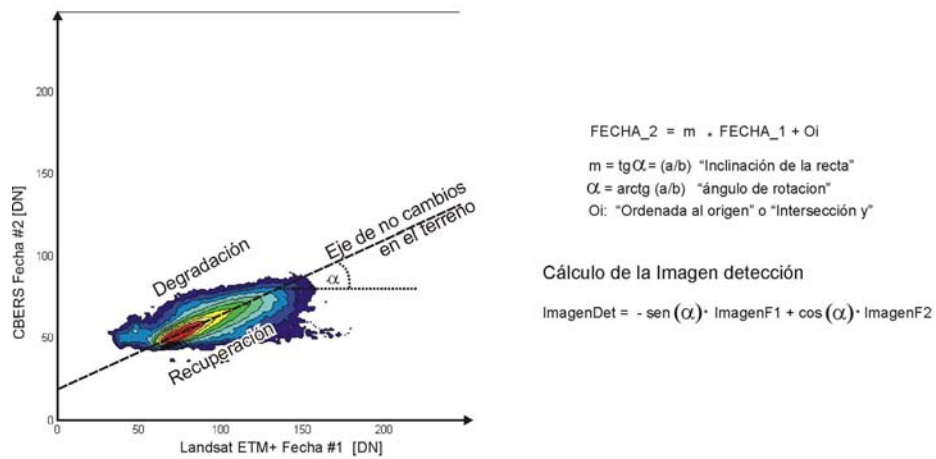


Figura 1. Diagrama de dispersión radiométrica entre las imágenes (banda espectral del rojo) de ETM+/LANDSAT e CCD/CBERS-2 dos años 2001 e 2004, respectivamente.

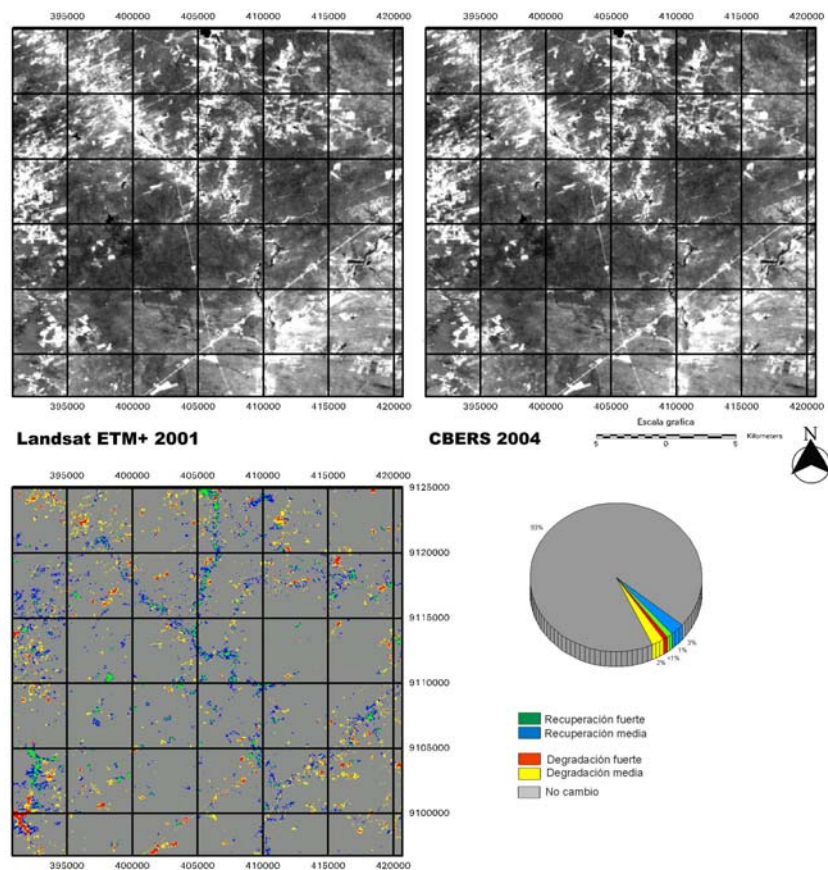


Figura 2. Imagen ETM+/LANDSAT e CCD/CBERS-2 en la banda espectral del rojo, con el mapa de detección de cambios del paisaje en el semiárido brasileño a partir de la técnica RCEN, y porcentajes de las clases temáticas identificadas en el período 2001-2004.

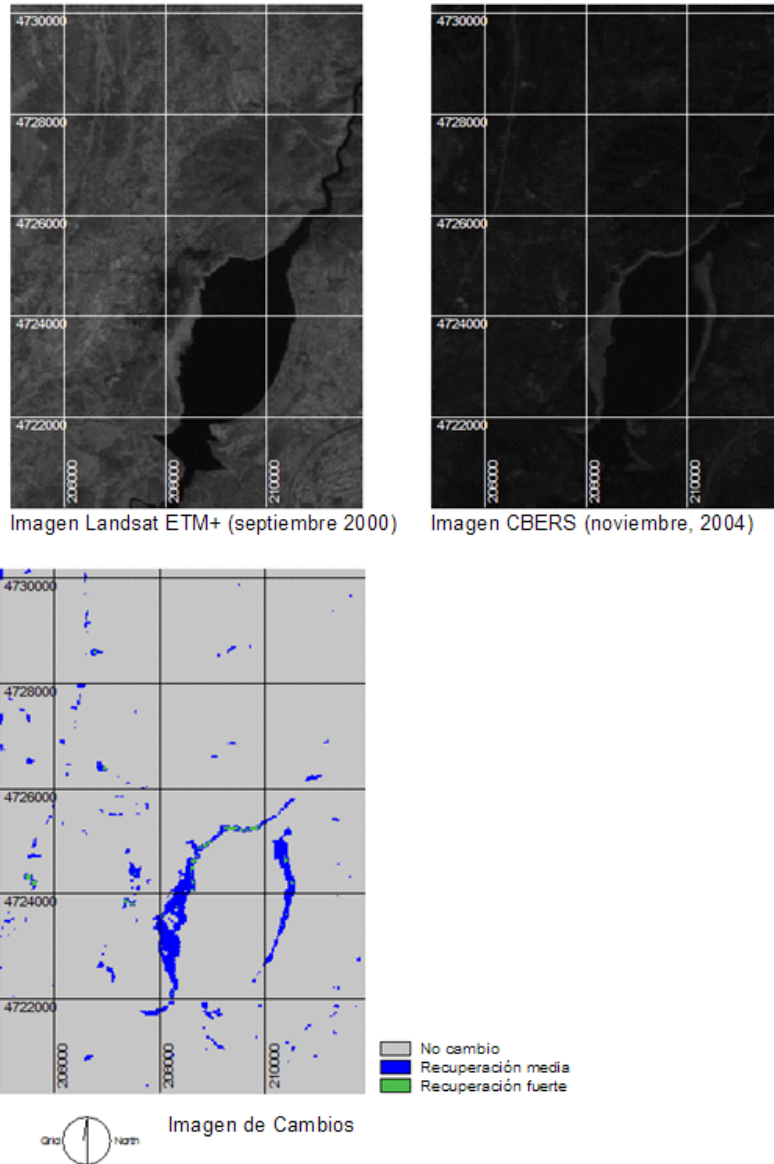


Figura 3. Imagen ETM+/LANDSAT e CCD/CBERS-2 en la banda espectral del rojo, con el mapa de detección de cambios del paisaje en el ejemplo español a partir de la técnica RCEN en el período 2001-2004.