

Identificación y análisis de zonas de desmatamento con la técnica RCEN en una área en la región del Cerrado en norte do Mato Grosso do Sul, Brasil

Alfredo Pereira¹
Alina Ariñez²

¹ Engenheiro Agrônomo - Pesquisador Doutor
Divisão de Sensoriamento Remoto - DSR / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Avenida dos Astronautas, 1758 - São José dos Campos - SP, Brasil - 12227-010
alfredo@dsr.inpe.br

² Geógrafa
SELPER/Bolivia, La Paz, Bolivia
lita197@hotmail.com

Resumen. El bioma Cerrado se encuentra degradado por crecimiento del desmatamento que avanza en el tiempo. Este trabajo fue orientado a la identificación y análisis de las zonas desmatadas en un área de Cerrado en la parte norte del estado de Mato Grosso do Sul, Brasil, utilizando técnicas de clasificación de imágenes de satélite. Fueron usadas las imágenes TM/Landsat del 1984 y CCD/CBERS-2 del 2004. Fueron aplicadas técnicas de segmentación y clasificación por regiones supervisada para identificar los alvos de estudio. De las clasificaciones obtenidas para las dos fechas se realizó el análisis temporal a través del cual se identificó el incremento del desmatamento en relación a las coberturas de Cerrado. De la misma forma, con los pares de bandas 4 y 3 de las imágenes se aplicó la técnica Rotación Radiométrica Controlada por Eje de No mudanza (RCEN) para la identificación de mudanzas en ese periodo de tiempo. La RCEN es una técnica basada en los principios de aplicación de componentes principales y rotación radiométrica, donde la rotación en este caso es controlada a través del ángulo hallado de la recta de regresión de los puntos identificados previamente como zonas de no mudanza. Las mudanzas identificadas corresponden a zonas de regeneración y degradación de la vegetación. Comparando estos resultados de zonas de mudanzas con el análisis temporal se observó que las mudanzas identificadas responden en gran parte al desmatamento producido en este periodo de tiempo, así como también identifica los cambios producidos en la actividad agrícola en las zonas de cultivos. Los valores obtenidos por las técnicas fueron comparados siendo estos muy aproximados. La técnica RCEN mostró ser una herramienta sencilla para identificar cambios producidos de una época a otra, y da una pauta de observación de la dinámica del avance de las zonas desmatadas.

Palabras-clave: Cerrado; Mato Grosso do Sul, Brasil; desmatamento; percepción remota, RCEN; CCD/CBERS; TM/Landsat.

1 - Introducción

El desmatamento es la destrucción de la vegetación nativa causada por distintas actividades humanas. En el caso del bioma Cerrado las causas principales son las actividades agropecuarias y extracción del carbón. La identificación de las zonas desmatadas y los residuos de cobertura natural que quedan, es una tarea importante para un posterior monitoreo y control de este fenómeno (Mantovani e Pereira, 1998; Coutinho, 2005).

En los estudios de mudanzas in imágenes de percepción remota son utilizados algoritmos que analizan los cambios y transformaciones producidos en el paisaje que se expresaran en valores numéricos – comportamiento espectral. Estos valores se encuentran influenciados por diferentes factores, como la influencia atmosférica y la geometría de iluminación, por lo que para evitar su influencia es necesario realizar una normalización de los datos temporales a utilizarse. Entre las varias técnicas de normalización de estos factores se encuentran las técnica de *Análisis por Componentes Principales y Rotación Radiométrica Controlada* en cuyos principios esta basado la técnica Rotación Radiométrica Controlada por Eje de No mudanza (RCEN), que según Maldonado (2004; Santos et al., 2005) para ser aplicada no necesita de los métodos de calibración y corrección de la reflectancia aparente ó corrección atmosférica.

El objetivo general de este trabajo fue la identificación y análisis de las zonas desmatadas, así como identificar las diferentes formas de Cerrado aun existentes en una área en la región norte

de Mato Grosso do Sul, a través de clasificación digital y aplicación de la técnica RCEN en imágenes de los sensores orbitales CCD/CBERS-2 y TM/Landsat.

2 - Materiales y Método

2.1 - Material

La área de estudio es la orbita/punto 162/121 de imagen CCD/CBERS en la región del Cerrado en norte do Mato Grosso do Sul, Brasil (**Figura 01**).

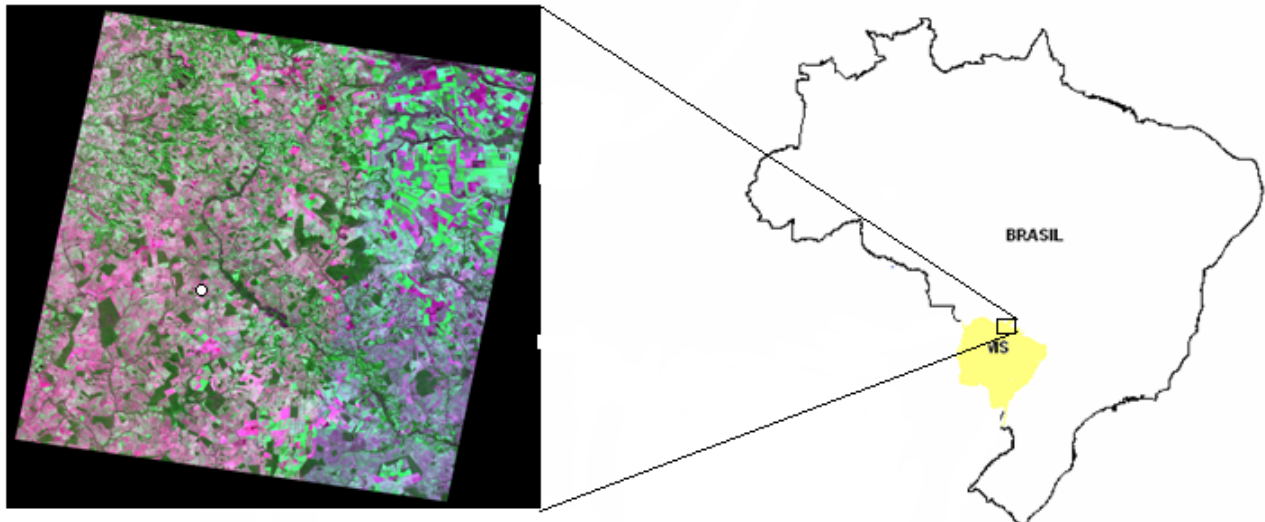


Figura 01 - área de estudio: imagen CCD/CBERS-2 orbita/punto 162/121 ubicada en combinación azul, rojo verde en los canales 2, 3 y 4 respectivamente.

Para llevar a cabo el objetivo fueron usadas las siguientes imágenes:

1. CCD/CBERS-2 orbita punto 162/121 de 2004/06/07, bandas 2,3 y 4;
2. TM/Landsat orbita punto 224/73 de 1984/05/31, bandas 3 ($0,63\mu\text{m}$ a $0,76\mu\text{m}$), 4 ($0,76\mu\text{m}$ a $0,90\mu\text{m}$) y 5 ($1,55\mu\text{m}$ a $1,75\mu\text{m}$);
3. Mosaico Geocover ETM/Landsat 2000 S-22-15-2000 ortorretificado, bandas 2 ($0,52$ a $0,60\mu\text{m}$), 4 ($0,76$ a $0,90\mu\text{m}$) y 7 ($2,08$ a $2,35\mu\text{m}$)

Las imágenes CCD/CBERS e TM/Landsat fueron obtenidas a través de catálogo <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR>> del *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais* (INPE) e lo Mosaico Geocover ETM/Landsat 2000 de catálogo <<http://seamless.usgs.gov/website/Seamless/>> del *United States Geological Survey* (USGS).

Todo el procedimiento fue desarrollado en ambiente SPRING 4.1.2, desarrollado por el INPE.

2.2 - Metodología

El registro de la imágenes CCD/CBERS-2 e TM/Landsat se realizó en referencia al mosaico Geocover y remuestreo por método “vecino mas próximo” por ser el que mejor conserva la cualidad radiométrica de la imagen original, en la importación de las imágenes.

El tratamiento de las imágenes estuvo dividido en dos partes: a) aplicación de la técnica RCEN en aplicativo SPRING para detección de mudanzas en zonas de Cerrado y b) segmentación, clasificación y análisis de las imágenes para la identificación de las zonas desmatadas de Cerrado a través del uso de diferentes clasificadores supervisados y no supervisados, seleccionándose al final aquel que responda mejor al objetivo buscado. Los dos resultados obtenidos fueron comparados y analizados.

El **Figura 02** presenta la metodología empleada en el estudio.

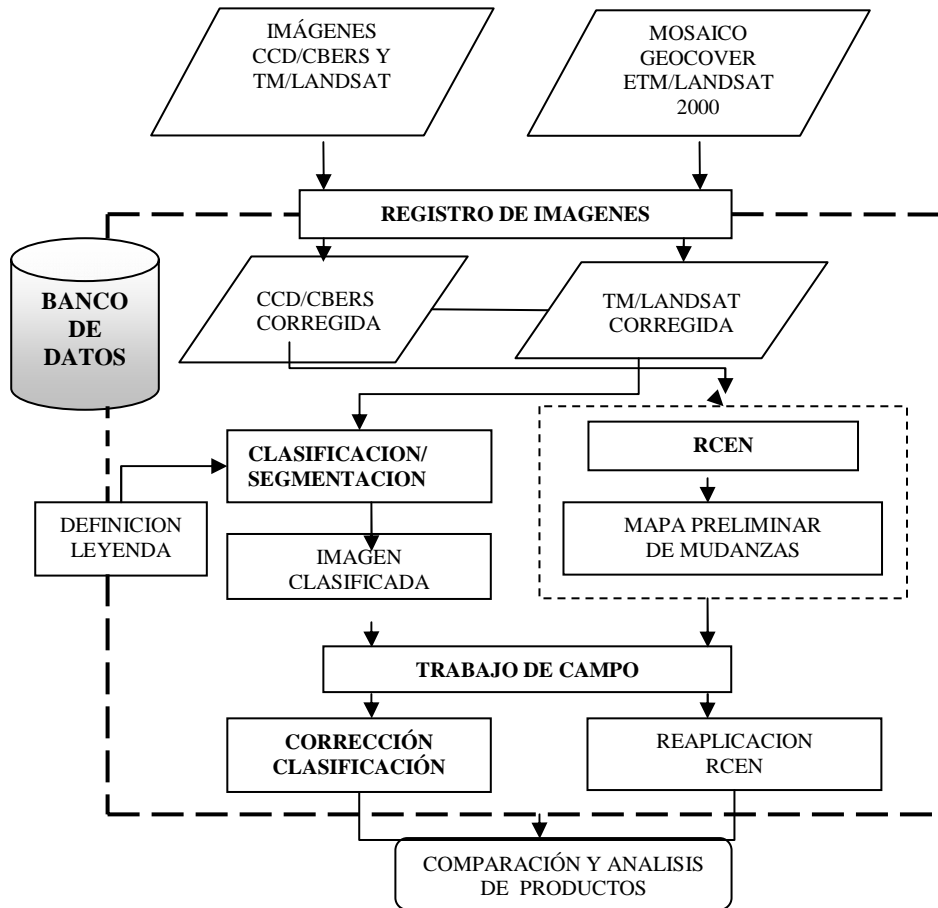


Figura 02 - Metodología en identificación de desmatamientos.

2.2.1 - Aplicación de técnica de RCEN

Se adaptó y analizó la técnica RCEN (Maldonado, 2004; Santos et al., 2005)) para identificación de zonas de mudanzas en coberturas de Cerrado en un periodo de tiempo. En su proceso la RCEN realiza una transformación lineal de un par de bandas de fechas diferentes de una misma región. Se debe encontrar el ángulo de aquellos valores definidos como no mudanza, y con este ángulo se produce la rotación de los ejes ortogonales del espacio de atributos de las bandas. Este ángulo de rotación (α) corresponde al de la arco-tangente del coeficiente de inclinación hallado en la recta de regresión de los puntos de no mudanza.

La correlación de los puntos de no mudanza está expresada a través de la fórmula:

$$Y = m * X + b$$

Donde:

X = corresponde al valor radiométrico de la primera fecha;

Y = corresponde al valor radiométrico de la segunda fecha;

m = es el coeficiente de inclinación buscado de la recta de regresión;

b = corresponde a la ordenada origen.

Una vez obtenido este ángulo se procede a la rotación de este eje en un sentido antihorario hasta que sea coincidente con el eje "x", así la imagen mudanza es generada a través de la ecuación:

$$Z_{det} = -Z_1 \sin \alpha + Z_2 \cos \alpha$$

Donde: Z_{det} = el producto buscado, es decir la imagen mudanza (segunda componente).

Z_1 y Z_2 = imágenes de las bandas de la primera y segunda fecha respectivamente.

α = ángulo de rotación (hallado de la recta de regresión).

Se usaron los pares de una misma banda de las imágenes de fechas diferentes. Fueron usadas las bandas 3 y 4. Se realizó un reamostraje a las imágenes para compatibilizar la resolución espacial de una imagen respecto a la otra, llevándose a una resolución de 60x60 m. Se trabajó las imágenes en modelo numérico – grados.

Posteriormente se procedió a la clasificación de las grades mudanza en los que se utilizó la fatiamento. Los límites de fatiamento se dieron en base a la estadística de los valores obtenidos de la grade mudanza. Los límites para fatiamento de imágenes diferencia, según Stauffer y Mckinney, citado por Carrilho (1996) establecen que la mudanza está representada por los píxeles con niveles de gris además de 3 desvíos padrones. Los límites inferiores a 2 desvíos padrones parecieran superestimar la cantidad de mudanzas.

2.2.2 – Segmentación y clasificación de imágenes multiespectrales

Mediante combinación BRG, las zonas de desmatamento son observadas en tonos magentas y de formas geométricas lineares, y las formaciones de Cerrado responden a tonos verdes oscuros y claros y de formas irregulares. Fueron usadas las bandas 2, 3 y 4 del CCD/CBERS-2 en combinación azul, rojo y verde respectivamente, y las bandas 3, 4 y 5 del TM/Landsat en combinación azul, verde y rojo. Se realizó la previa segmentación y en esta la clasificación supervisada por Battacharya. Se tomaron en promedio 10 muestras para cada clase a identificarse.

La Clasificación es considerada como un proceso de extracción de información de las imágenes a través del reconocimiento de padrones y objetos homogéneos. La clasificación considera los valores espectrales de los píxeles y estas clasificaciones pueden ser "pixel a pixel" y clasificación por regiones.

Esta última para ser llevada a cabo debe tener previamente el proceso de segmentación. En el proceso de segmentación la imagen es dividida en regiones que corresponden a las áreas de interés de aplicación. Se entiende por regiones a un conjunto de píxeles contiguos que presentan uniformidad en relación a un dado atributo, estos atributos pueden ser área, forma, parámetros estadísticos y de textura que pueden ser extraídos y usados posteriormente en el proceso de análisis. Los clasificadores por regiones además de utilizar la información espectral contenida en los píxeles utiliza la información espacial de los píxeles vecinos. En teoría reconocen áreas homogéneas de las imágenes basadas en las propiedades espectrales y espaciales de las imágenes, las regiones son agrupadas según algún criterio de similaridad.

En la clasificación supervisada el intérprete controla el proceso dando parámetros a la clasificación, por lo que es necesario que este conozca el área de estudio antes de iniciar el proceso; en la clasificación no supervisada es el sistema el que determina los parámetros de clasificación a usar para identificar las clases, se basa en el principio de que el computador es capaz de identificar por sí solo las clases dentro de un conjunto de datos.

3 - Resultados

3.1 - Clasificación de imágenes multiespectrales

Las coberturas identificadas en las imágenes para los dos años se observa en la **Figura 03**, donde A y B son el resultado de la clasificación para 1984 y 2004 respectivamente. Se obtuvo las siguientes clases temáticas: cerradão, cerrado, pastaje, mata galería, varzea, culturas, suelos expuestos, sombras y nubes. El clasificador mostró confusión en la separabilidad de las zonas de cerrado con las de suelos expuestos. Así como con los residuos de cerradão y matas galería, estas áreas solo fueron verificadas con trabajo de campo y corregidas con edición matricial y análisis visual de las imágenes. En esta parte el trabajo de campo fue elemental para la elaboración del informe final. Recorriéndose el área de estudio se constató que las únicas formas de cobertura natural de Cerrado existentes son residuos de cerradão y cerrado, no existe ninguna forma de campo.

Para comparación de las coberturas identificadas en las imágenes para los dos años se realizó la tabulación cruzada, que se observa en la **Tabla 01**. Las zonas naturales de cerradão para 1984 eran aproximadamente de 835 km², correspondiente a un 6,5 % del área de estudio y para el año 2004 corresponden a 566 km², reduciendo aproximadamente 269 km² (32% de su extensión en 1984). Las zonas de cerrado correspondían a 6.677 km² para 1984 reduciendo a 1.770 km² para el 2004, reduciendo aproximadamente 4907 km², que representa una reducción del 73% de su extensión de 1984. Las pérdidas de las coberturas naturales del bioma Cerrado corresponde 5.176 km² aproximadamente, esto quiere decir que se redujo en un 69 % de su extensión en 1984, lo que significa que en la zona de estudio la reducción del Cerrado fue de aproximadamente un 3% anual. Al contrario las zonas de pastaje es la cobertura que más aumento en extensión de una fecha a la otra siendo para 1984 de 2.253 km², mientras que para el 2004 aumento a 7.253 km², triplicando su extensión.

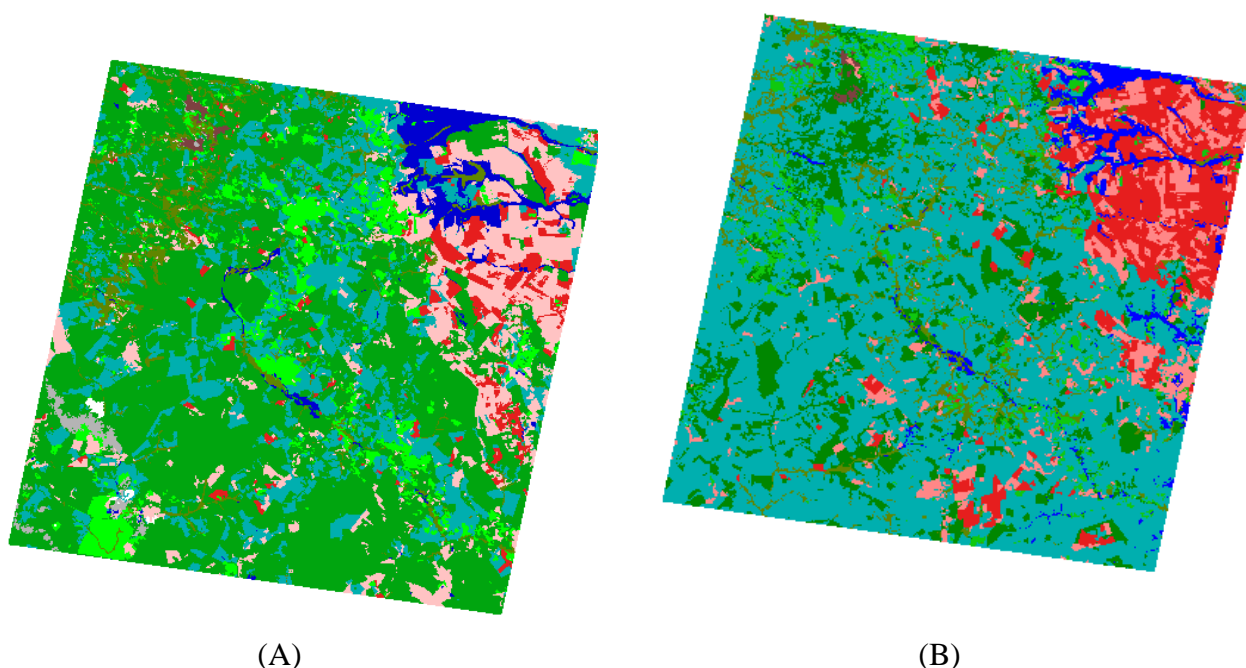


Figura 03 - Clasificaciones obtenidas: (A) TM/Landsat 1984 e (B) CCD/CBERS-2 2004. Clases: verde claro: cerradão; verde mas oscuro: cerrado; verde amarillento: mata galería; rojo: culturas; rosa: suelos expuestos; azul: varzea; gris: sombra; blanco: nubes.

Tabla 01 - Tabulación cruzada de las coberturas identificadas en los años 1984 y 2004.

		CCD/CBERS - 2004									
Clase		Cerradão	Cerrado	Pastaje	Galería	Varzea	Solo	Cultura	Sombra	total	%
TM/ Landsat 1984	Cerradão	98,24	144,17	446,97	79,47	18,61	23,86	22,62	0,00	834,91	6,50
	Cerrado	280,63	1286,73	4129,50	307,20	67,25	337,07	262,09	0,00	6677,18	52,02
	Pastaje	55,70	102,61	1681,79	73,97	38,84	173,78	125,57	0,00	2252,91	17,55
	Galería	75,74	151,98	126,78	82,26	44,53	3,09	4,45	0,05	490,51	3,82
	Varzea	20,13	3,74	48,41	25,35	201,68	48,87	88,98	0,00	437,42	3,41
	Solo	30,29	34,06	592,59	21,67	33,04	299,10	496,89	0,00	1508,23	11,75
	Cultura	4,03	10,48	133,68	4,69	8,62	107,37	210,21	0,00	479,09	3,73
	Sombra	0,46	26,58	71,48	2,95	0,31	0,36	0,40	0,16	104,84	0,82
	Nube	0,00	0,34	16,03	0,24	0,00	0,01	0,00	0,00	16,63	0,13
	Total	565,85	1769,57	7252,71	597,84	413,05	997,36	1211,21	0,21	12835,12	
%	4,41	13,79	56,51	4,66	3,22	7,77	9,44	0,00		100,00	

El total de zonas desmatadas para 1984 era de 4.240 km², incrementándose a 9.461 km² para el 2004, duplicando su extensión en este periodo de 20 años. Considerado el desmatamento como la destrucción de la cobertura natural. El incremento de zonas desmatadas de 1984 a 2004 fue de 5.221 km² (aumento de un 123% del total de su extensión de 1984), teniéndose un total de 9.461 km² aproximadamente de zonas desmatadas para 2004, esto significa un avance de desmatamento de aproximadamente 6% anual en la zona de estudio.

2.2.1 - Aplicación de técnica RCEN

Las zonas de degradación corresponden a los valores más bajos de la grade, esto nos muestra que en estas zonas los valores de radiancia son menores para la segunda fecha en comparación de la primera fecha, lo que nos indica que hubo pérdida o reducción de la vegetación. Mediante verificación de campo y análisis visual de imagen de última fecha (CBERS 2004), corresponde a áreas de suelos expuestos que anteriormente presentaban una cobertura de Cerrado. Las zonas de regeneración corresponden a los valores más altos de la grade; es decir existe un aumento de los valores de radiancia en la segunda fecha en comparación a la primera fecha, son correspondientes a zonas con presencia de vegetación. Estas zonas de mudanza (regeneración) corresponden a zonas de cultivos que en el primera fecha eran zonas de Cerrado, los valores mas altos puede deberse a que la respuesta espectral de las cultivos es más elevada que la de Cerrado tanto por su fisonomía, grado de humedad o ya estado de desarrollo.

Estas zonas ya sean de degradación o regeneración, corresponden a zonas de mudanzas, donde las coberturas naturales para 1984, sufrieron mudanzas para 2004. Las zonas de no mudanza en la grade mudanza corresponden a los valores intermedios y corresponden a áreas naturales de Cerrado que no fueron alteradas además de otras coberturas naturales de la región como el caso de zonas de varzeas, bosques galería, etc.

Los resultados obtenidos del análisis temporal y los obtenidos de la grade mudanza son aproximados. El área de desmatamento corresponde 5.177 km² aproximadamente. Las zonas de mudanza identificada en este período de tiempo corresponden a 5.353 km² aproximadamente. Dentro de estas mudanzas no solo son identificados las zonas de desmatamento (cambio de cerrado a cultivos), sino también los cambios producidos en el tipo de culturas. Esta diferenciación e identificación del tipo de mudanza producida puede ser verificada mediante trabajo de campo, y mediante análisis visual de ambas imágenes.

Las coberturas de Cerrado fueron reducidas teniéndose un área de aproximadamente 2.335 km² para el 2004 que no fueron alteradas. En la imagen mudanza se busco delimitar las coberturas de Cerrado dando limiars más estrechas. Fueron identificadas 4.444 km² de cobertura de Cerrado y esta incluyo otras zonas de vegetación natural que no fueron alteradas. Esta dificultad de separabilidad de la cobertura de Cerrado inalterada del resto de mudanzas puede deberse a los valores semejantes obtenidos de las zonas de no mudanza en la aplicación del algoritmo de rotación. El total de zonas de no mudanza corresponde a 7.492 km² aproximadamente. Este valor se aproxima a la sumatoria de las coberturas mantenidas en este período de tiempo de las coberturas de Cerrado y otras coberturas naturales junto al desmatamento ya existente en 1984 que pertenecían a zonas de pastaje. Considerando estos valores del análisis temporal se tiene un área de 7.613 km². Las áreas de mudanza consideradas como desmatamento se observan en la **Figura 4** y los valores obtenidos de los mapas mudanza se encuentran en la **Tabla 2**.

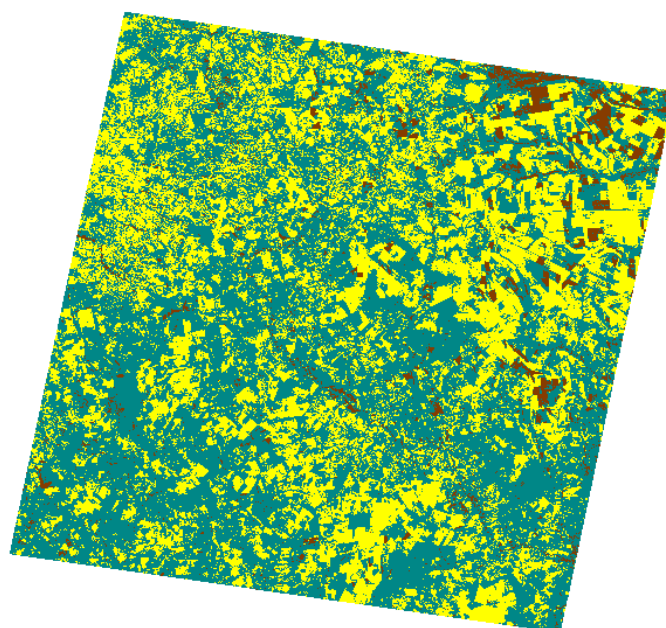


Figura: 4. Mapa de mudanzas del período 1984-2004. Resultado de combinación de banda 4 de TM/Landsat 1984 y banda 4 de CCD/CBERS-2 2004. En amarillo zonas de mudanzas.

Tabla 02 - Valores de coberturas en imagen mudanza.

Mudanzas Periodo 1984-2004		
	Área (km ²)	%
Desmatamento	5352,984	41,67
Cerrado	4444,0272	34,60
No_mudanzas	3047,7852	23,73
Total	12844,7964000	100,00

4- Conclusiones

La identificación de mudanzas fue mejor en las bandas 4, ya que el producto de la banda 3 mostró muy bajo contraste. Las mudanzas identificadas corresponden tanto a pérdidas de la cobertura natural, como a recuperación de la vegetación, en el caso de cultivos.

En el caso de las zonas de no mudanza, se encuentran evidentemente las zonas de Cerrado que aún se mantienen, sin embargo la separabilidad de estas del resto de zonas inalteradas es difícil, esto se debe a la respuesta semejante obtenida de diferentes coberturas después de la aplicación del algoritmo de Rotación. Su parcial delimitación solo fue posible dándose límites muy estrechos, sin embargo la separabilidad no es completa. Las mudanzas corresponden al avance del desmatamento así como también cambios en la actividad agrícola. La diferenciación del tipo de mudanzas producida solo se verifica mediante análisis visual de una imagen respecto a la otra, en esta parte de interpretación se diferencian por su forma, ya que cuando se trata de cambio de cultivo esta zona de mudanza presenta una forma geométrica, mientras cuando se trata de cambios en coberturas naturales su forma es irregular.

Estos resultados muestran que la Rotación Radiométrica Controlada por Eje de no Mudanza identifica claramente las zonas de cambios de una época a otra, por lo que puede ayudar a identificar donde se producen los desmatamentos. Este desmatamento no siempre es nuevo ya que

las mudanzas también corresponden al cambio de uso del suelo por lo que no puede ser utilizada para el cálculo de áreas desmatadas, ni coberturas de Cerrado inalteradas.

Se obtuvo las clasificaciones de las imágenes TM/LANDSAT 1984 y CCD/CBERS-2 de 2004 mediante método supervisado. El clasificador mostró confusión en la separabilidad de las zonas de cerrado con las de suelos expuestos así como con los residuos de cerradão y mata galería. En esta parte el trabajo de campo fue elemental para la elaboración del informe final.

El avance del desmatamiento de 1984 a 2004 fue de 5.221 km². Esto significa un aumento de un 123% su extensión de la primera fecha – 4.240 km², siendo 9.461 km² aproximadamente de zonas desmatadas para 2004. Las coberturas de Cerrado se redujeron 5.177 km², que representan una pérdida del 69% de su extensión en la primera fecha, lo que significa que en la zona de estudio la reducción del Cerrado fue de aproximadamente un 3% anual.

5- Bibliografía

Carrilho, J.M. **Detecção de Mudanças da Cobertura do Terreno em uma Região de Cerrado**. São José dos Campos. 1996 (INPE-5979-TDI/575). Disertación (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 1996.

Coutinho, L. **Cerrado** São Paulo: Departamento de Ecologia Geral Instituto de Biociências - Universidade de São Paulo (USP). <<http://eco.ib.usp.br/cerrado>>. Acceso en 15 de Julio de 2005.

Maldonado, F.D. **Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal da região semi-árida**. 2004, 314p. (INPE-7243-TDI/929). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.

Mantovani, J.E.; Pereira, A. Estimativa da integridade da cobertura vegetal do Cerrado através de dados TM/Landsat. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9, 11-18/setembro/1998, Santos. **Anais**. São José dos Campos: INPE/SELPER, 1998. p. 1455-1466. CD-ROM.

Santos, J. R.; Maldonado, F.D.; Graça, P.M.L.A. :Integração de imagens Landsat/ETM+ e CBERS-2/CCD para detecção de mudanças em área da Amazônia sob domínio da floresta de transição. **Revista Brasileira de Cartografia**, 57(1): 15-21, 2005