



La utilización de imágenes de Landsat TM para cuantificar áreas de deforestación en la región de Mato Grosso, Brazil.

Yomayra A. Román Colón¹
Departamento de Geología, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez

Resumen

La utilización de imágenes de satélites con alta resolución permiten un monitoreo continuo de cambios temporales en la vegetación. El Bosque Lluvioso Tropical del Amazonas representa un 10% de la distribución del planeta el cual está siendo afectado por la deforestación desmedida de las compañías agro-pecuarias. Este estudio tiene como objetivo la utilización de imágenes de alta resolución del satélite Landsat TM 4-5 para cuantificar la deforestación en la zona más impactada del estado de Mato Grosso en Brazil. El estudio incluye cuatro imágenes de Landsat TM de los años 1988, 2000, 2003, 2005 y 2007 y se analizaron utilizando el programa Environmental Visualization Images-ENVI. Durante el estudio se realizaron clasificaciones supervisadas de Maximum Likelihood y no supervisadas de IsoData así como Índices de Vegetación para la Diferencial Normalizada-NDVI en una región de aproximadamente 333,182 ha. Como parte de los resultados se encontró un aumento en la deforestación de Mato Grosso que se estima a un promedio de 15,000 ha en periodos de 2 a 3 años. De igual modo, áreas afectadas por la deforestación y con un valor bajo en el índice de vegetación se ha determinado que pueden volver a regenerarse e incrementar el número del área de vegetación. Por último, en este caso las imágenes supervisadas proporcionaron más información detallada las cuales podían definir más claramente la distribución de clases.

Keywords: deforestación, Landsat TM, Mato Grosso, ENVI

1. Introducción

Los Bosques Lluviosos Tropicales representan la reserva de biosfera más importante del planeta. Constituyen un 10% de la distribución mundial del cual un 70% le pertenece al Bosque del Amazonas en América del Sur. Actualmente del 10% de los Bosques Lluviosos Tropicales se ha reducido a un 5% durante las pasadas décadas principalmente a causa del impacto humano. La selva amazónica es la selva tropical más extensa del mundo y posee un área de alrededor 6.000.000 de km² compartidos entre Brasil y Perú (los cuales poseen la mayor extensión de la amazonia) seguidos por Bolivia, Colombia , Ecuador, Guyana, Venezuela y la Guayana Francesa. La Cuenca del Amazonas está siendo reducida diariamente a causa de la deforestación por el cultivo de soja, la cría de ganado, urbanización, construcción de carreteras y la actividad de las empresas madereras. La región de más impacto por la

deforestación es el estado de Mato Grosso que posee la mayor superficie cultivada de soja de Brasil (representando un 24% del total). Este proyecto está enfocado en monitorear la deforestación en el estado de Mato Grosso, Brazil utilizando imágenes de alta resolución del satélite Landsat TM 4-5. Como parte de este reporte se determinaron los Índices de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI) para calcular la distribución de biomasa. Por último se generaron clasificaciones no supervisadas de IsoData para cuantificar el área afectada causada por la deforestación en la provincia de Mato Grosso, Brazil a través de la década desde el 1988 hasta el presente. Los estudios de vegetación son ampliamente abarcados en la disciplina de Percepción Remota permitiendo un monitoreo continuo del comportamiento y cambios que se llevan a cabo en la superficie de la Tierra. La detección de la vegetación en imágenes de

satélites depende de las propiedades espectrales de las hojas y plantas. El sustancia se encuentra en unos órganos celulares llamados cloroplastos que son los encargados de la fotosíntesis en las plantas. Las células en las hojas tienen la capacidad de absorber y dispersar la radiación solar en la región azul e infrarroja del espectro electromagnético (fig.1). Las hojas poseen células encargadas de llevar a cabo el proceso de fotosíntesis que es el proceso mediante el cual las plantas, algas y algunas

componente principal que le provee color a las hojas es la clorofila. Estas bacterias captan y utilizan la energía de la luz para su crecimiento y desarrollo. Varias de las funciones principales que llevan a cabo las células son la regulación de la temperatura y humedad de las hojas y permitir el movimiento de dióxido de carbono y otros gases a través de la estructura. El proceso de fotosíntesis se resume en la siguiente fórmula química:

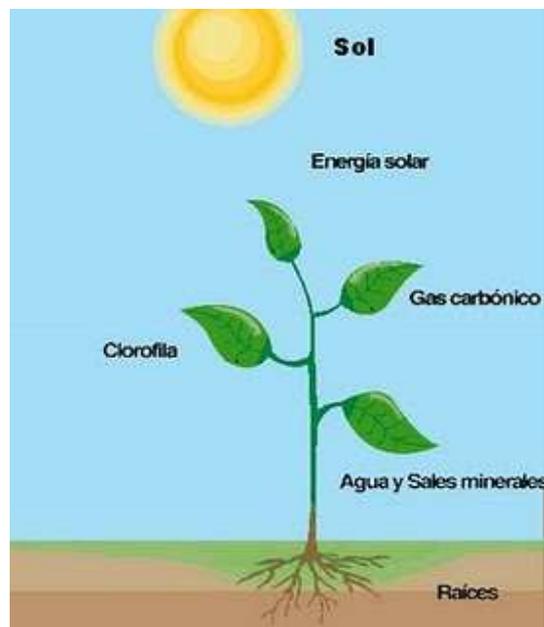
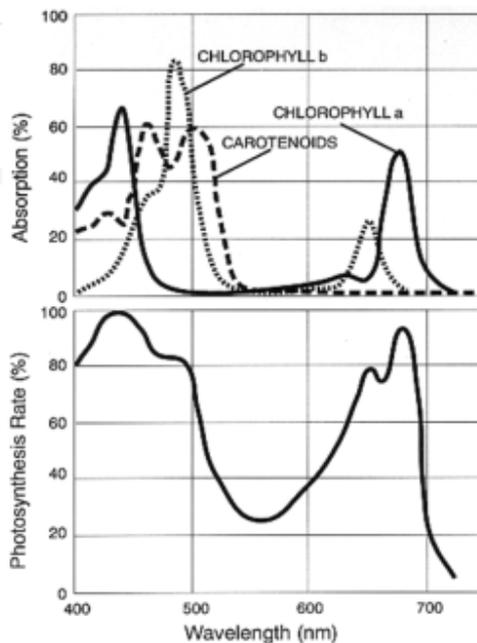
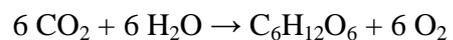


Figura 1. Gráfica de la absorción y la razón de fotosíntesis de las hojas en relación al contenido de clorofila.

Para estudios de superficie de terreno y cambios temporales en la cubierta de vegetación se requieren imágenes de sensores de alta resolución espacial. El satélite Landsat TM 4 fue lanzado el 16 de julio de 1982. Fue el primer satélite en incorporar el sensor de *Thematic Mapper*, diseñado para mantener un mayor grado de estabilidad y mejorar la calidad geométrica en las imágenes capturadas. Landsat 4 contiene dos sensores el *Thematic Mapper* y *Multispectral Scanner* (el último utilizado en lanzamientos previos del programa Landsat). El sensor Thematic Mapper se caracteriza por tener siete bandas, una

transmisión máxima de banda ancha de 85 Mbit/s y completa todo un ciclo a través de la órbita de la Tierra en 16 días o 233 revoluciones. Las bandas 1-5 and 7 poseen una resolución especial de 30m mientras que el sensor Multispectral Scanner contienen una resolución de 79m y 82m. Por último, el sensor tiene una banda termal infrarroja con una resolución espacial de 120m. Este sensor posee unas características específicas aptas para realizar estudios de Índices de Vegetación (NDVI) ya que contiene bandas en la región roja (3) e infrarroja (4) del espectro electromagnético.

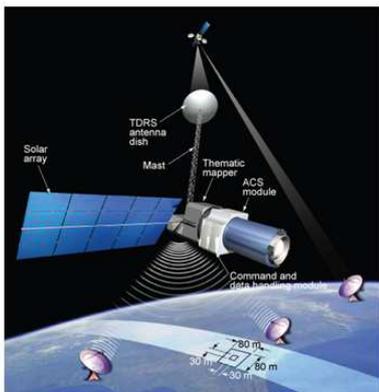


Figura 2. Satélite Landsat TM y sus características espectrales.

	Landsat Multispectral Scanner (MSS)			Landsat 4 and 5 Thematic Mapper (TM)		
	Band	Spectral Resolution (μm)	Radiometric Sensitivity (NE Δ P) ^a	Band	Spectral Resolution (μm)	Radiometric Sensitivity (NE Δ P)
	4 ^b	0.5 – 0.6	0.57	1	0.45 – 0.52	0.8
	5	0.6 – 0.7	0.57	2	0.52 – 0.60	0.5
	6	0.7 – 0.8	0.65	3	0.63 – 0.69	0.5
	7	0.8 – 1.1	0.70	4	0.76 – 0.90	0.5
	8 ^c	10.4 – 12.6	1.4K (NE Δ T)	5	1.55 – 1.75	1.0
				6	10.40–12.5	0.5 (NE Δ T)
				7	2.08–2.35	2.4
IFOV at nadir	79 × 79 m for bands 4 through 7 240 × 240 m for band 8			30 × 30 m for bands 1 through 5, 7 120 × 120 m for band 6		
Data rate	15 Mb/s			85 Mb/s		
Quantization levels	6 bit (values from 0 to 63)			8 bit (values from 0 to 255)		
Earth coverage	18 days Landsat 1, 2, 3 16 days Landsat 4, 5			16 days Landsat 4, 5		
Altitude	919 km			705 km		
swath width	185 km			185 km		
inclination	99°			98.2°		

^a The radiometric sensitivities are the noise-equivalent reflectance differences for the reflective channels expressed as percentages (NE Δ P) and temperature differences for the thermal infrared bands (NE Δ T).

^b MSS bands 4, 5, 6, and 7 were renumbered bands 1, 2, 3, and 4 on Landsats 4 and 5.

^c MSS band 8 was present only on Landsat 3.

2.2 Adquisición de Imágenes

Estudios cuantitativos para determinar áreas deforestadas utilizando percepción remota requieren imágenes con alta resolución. Algunas de las razones más importantes son debido a que las áreas deforestadas no cubren medidas de la superficie de la Tierra. Para el estudio de deforestación en el estado de Mato Grosso en Brasil se utilizaron una serie de imágenes del sensor Landsat TM 4-5. Las imágenes de Landsat son colectadas y distribuidas por el Servicio Geológico de los EU (USGS) bajo el *USGS Global Visualization Viewer (GloVis)*. Las imágenes adquiridas pertenecen al cuadrante: 227/71 del estado de Mato Grosso en Brazil (Fig. 3a). Se seleccionaron cinco imágenes correspondientes a los años 1988, 2000, 2003, 2005 y 2007 que contienen una cobertura de superficie de 185 km² (Fig. 2).

2.3 Procesamiento de imagen

El pre-procesamiento de las imágenes de Landsat TM se realizó con el programa *Environmental Visualization Images (ENVI)*. Como parte del procedimiento las imágenes eran corregidas en términos de la asignación de bandas y sus correspondientes largos de onda. El área de estudio se seleccionó utilizando el cuadrante 227-71 de Landsat TM y tomando en consideración la calidad de la imagen, cobertura de nubes y la región con mayor impacto de deforestación a través de los años. Para delimitar la región de estudio se cortó un área de aproximadamente 3,331 km² (333,182 hectáreas) localizada a la izquierda de la imagen. A cada imagen se le realizaron clasificaciones no supervisadas de IsoData con siete clases, algoritmos de Índices de Vegetación (NDVI) y el cálculo de las áreas deforestadas y con vegetación.

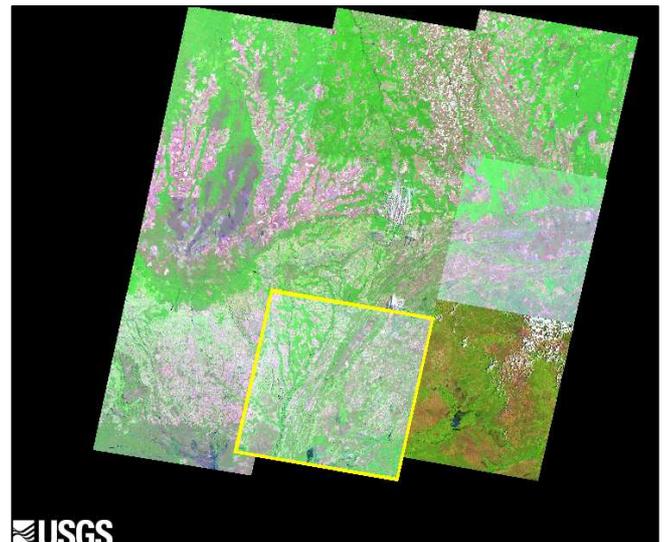
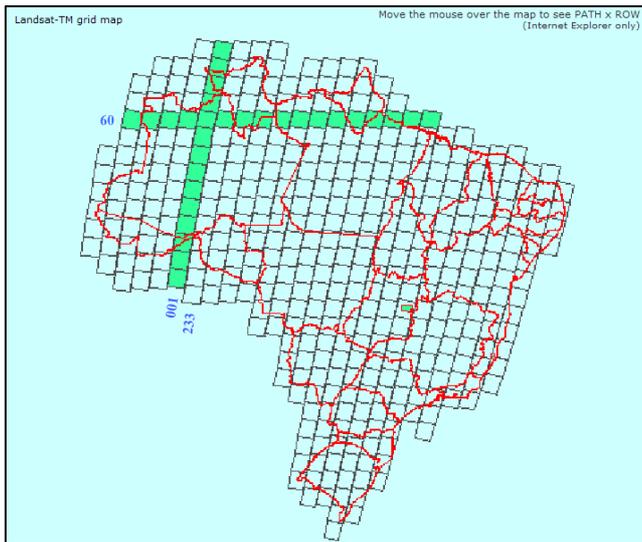


Figura 3. Cuadrante con los “path” y rows de los estados de Brazil obtenidos por el USGS.

2.4 Índice de Vegetación de la Diferencial Normalizada - NDVI

Los índices de vegetación son medidas cuantitativas realizadas con instrumentos de percepción remota las cuales están representadas por valores digitales que miden la biomasa de acuerdo a la respuesta espectral de las hojas. Las hojas absorben la radiación solar la cual utilizan como fuente de energía durante el proceso de fotosíntesis. Las células en las hojas son afectadas por la radiación solar donde puede ocurrir refracción, reflexión o dispersión en la región infrarrojo cercano del espectro

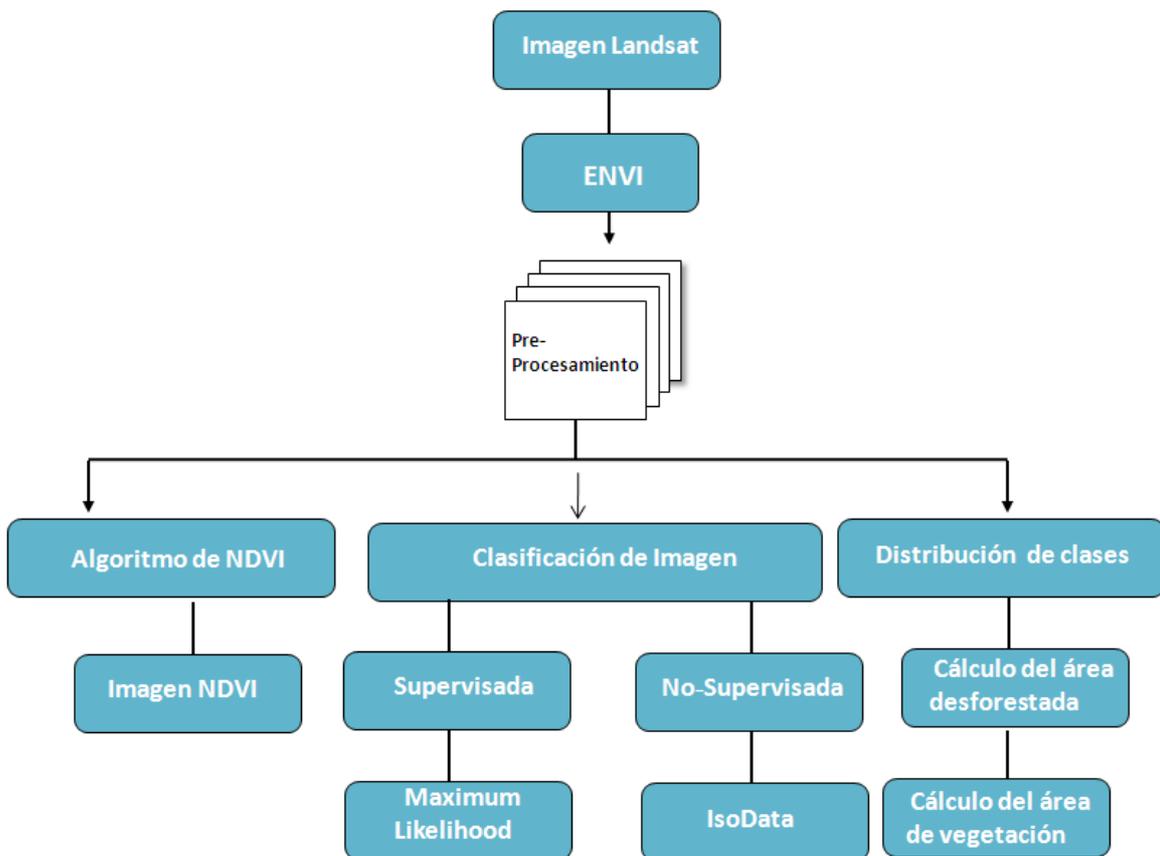
electromagnético. Las plantas aparecen brillantes en la región infrarrojo cercano al contrario del suelo y las nubes que tienden a aparecer oscuras en la región roja del espectro. Altos valores en los índices de vegetación revelan una biomasa saludable. Valores negativos (-1) hacen referencia a cuerpos de agua, valores entre (-0.1 a 0.1) corresponden a áreas de roca expuesta, valores bajos (0.2 a 0.4) representan grama mientras que valores altos (1) indican áreas de bosques tropicales (Caampbell, 1996). La fórmula para calcular el índice de vegetación utiliza la banda 3 y 4 de Landsat TM que

corresponden a las regiones roja e infrarroja respectivamente.

Formula Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI)

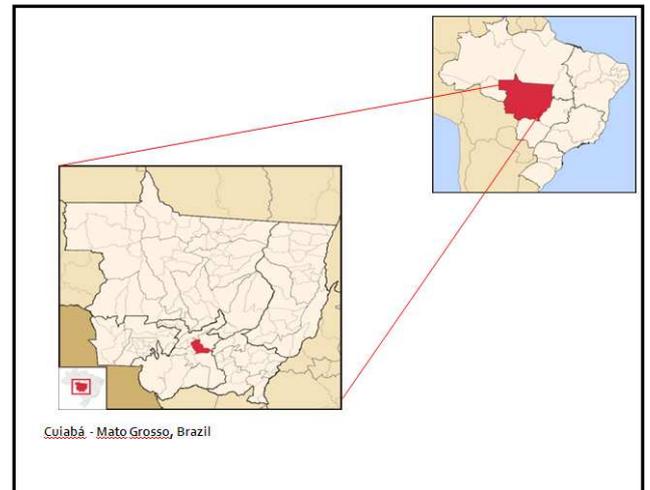
$\frac{\text{Banda roja} - \text{Banda IR Cercano}}{\text{Banda roja} + \text{Banda IR Cercano}}$

Metodología



3. Área de Estudio

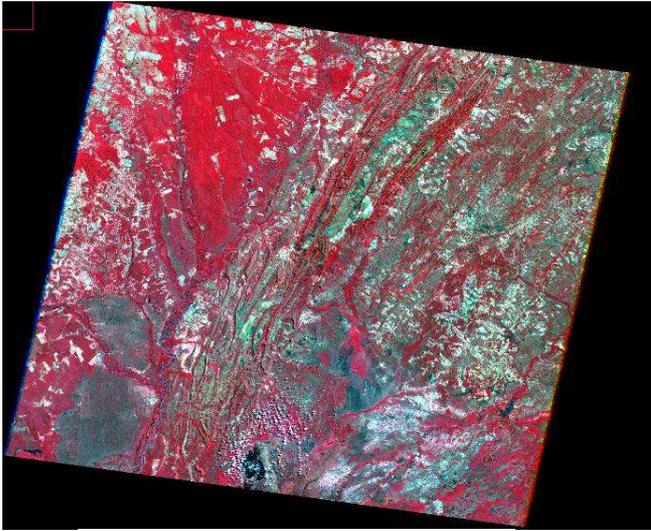
El estado de Mato Grosso es un estado brasileño localizado al oeste de ese país y ocupa una superficie de 906.806,9km² (Fig. 5). Su mayor fuente de ingreso se basa en el cultivo de la soja el cual es el tercer producto de exportación de Brasil. Como varias de las consecuencias mayores de la deforestación en este estado se encuentran la degradación de los suelos, sequías y empobrecimiento de la biodiversidad (Fig. 6). El área de estudio se encuentra localizada en al sur de Cuiabá, capital de Mato Grosso. El comercio está constituido principalmente por el sector industrial o la agroindustria (Fig. 7).



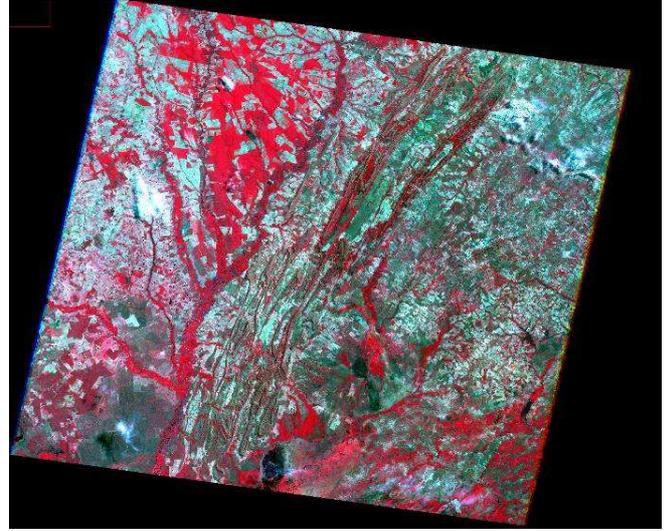
Durante la selección de imágenes se delimitó un área de 3,331 km² al cual se generaron clasificaciones no supervisadas de IsoData e Índices de Vegetación de la Diferencial Normalizada (NDVI) para determinar el área en hectáreas que comprenden las regiones deforestadas durante la pasada década.



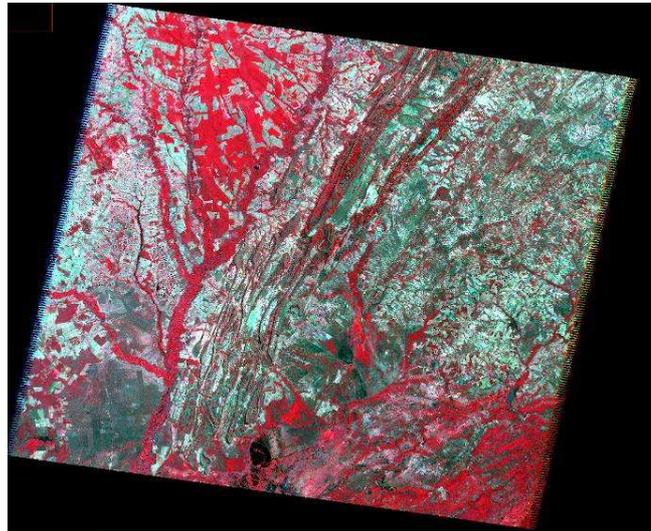
Deforestación en el estado de Mato Grosso, Brazil.



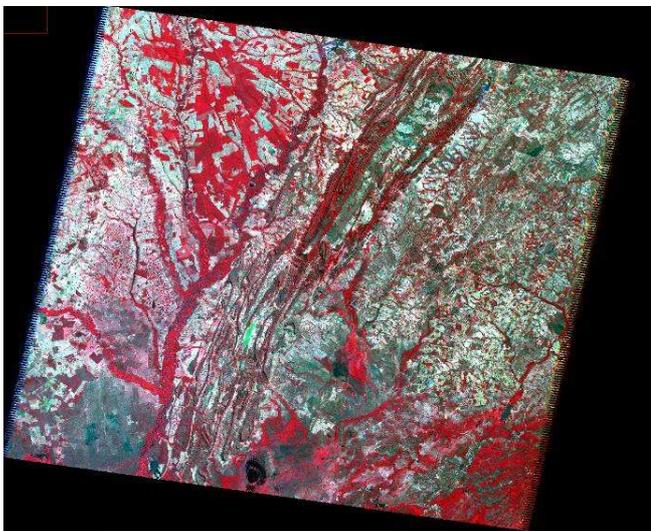
Mato Grosso, Brazil 1988



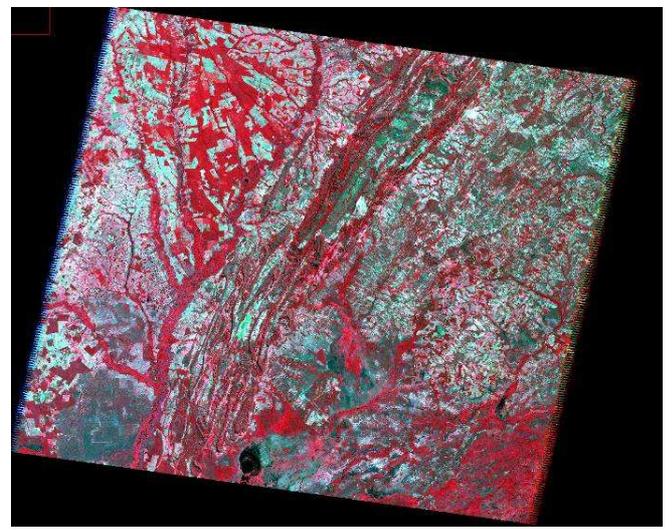
Mato Grosso, Brazil 2000



Mato Grosso, Brazil 2003



Mato Grosso, Brazil 2005



Mato Grosso, Brazil 2007

4. Resultados y Discusión

En base a las imágenes del satélite Landsat TM que fueron analizadas utilizando el programa Environmental Visualization Images-ENVI se pudo observar un gran impacto ambiental debido a la alta deforestación en el área de Mato Grosso en Brazil. Como se observa claramente en las imágenes de falso color en el cuadrante 227/71 obtenidas por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) la mayor deforestación ocurrió en la región noroeste de la imagen. Los resultados se enfocan directamente en esa zona la cual consiste de un área de 333,182 ha. Para el 1988 la imagen de NDVI muestra una gran extensión de vegetación en la parte central y un bajo desarrollo de la agro-industria. Al comparar las clasificaciones no supervisadas de IsoData con las imágenes supervisadas de Maximum Likelihood se llegó a la conclusión que en este caso las imágenes

supervisadas brindaban más información detallada y podían definir más claramente la distribución de clases. Por el contrario, las imágenes de IsoData no caracterizaban las mismas áreas que se podían observar claramente en una imagen de color verdadero. Los resultados obtenidos fueron los esperados al encontrar un patrón de disminución en la vegetación y un aumento en la razón de deforestación con el paso de los años. Para el 1988 las zonas representativas a vegetación sumaban un total de 231,564 hectáreas y las áreas deforestadas con 88,982 hectáreas respectivamente. Durante el año 2000, luego de un periodo de doce años, el cambio en los valores de índices de vegetación disminuyó a medidas aproximadas a cero. Esto se debe a ambos factores: al aumento en la agricultura, la creación de carreteras y al urbanismo. En el año 2000 se calculó un total de 136,022 ha deforestadas y una extensión de vegetación 158,561ha. A partir

del año 2000 hasta el 2005 el promedio de deforestación consistía en alrededor una 15,000 ha en periodos de 2 a 3 años. Como dato importante las clasificaciones de IsoData y Maximum Likelihood presentaron un comportamiento muy peculiar que persiste en áreas que son impactadas y presentan un empobrecimiento en la vegetación donde se ha determinado que zonas anteriormente afectadas especies pueden volver a regenerarse donde otros tipos de especies ocupan su lugar. Este es el caso que posiblemente pudo ocurrir para el año 2007 cuando se calculó un aumento de un 3,920 ha durante los últimos 2 años. Al ocurrir este comportamiento en ambas clasificaciones esto demuestra que la

percepción remota se puede aplicar a estudios temporales para determinar cambios en vegetación. Esto se logra únicamente al utilizar imágenes de alta resolución como es el caso del sensor Thematic Mapper del satélite Landsat 4.

Referencias

Broich Mark., Stehman Stephen V., Hansen Matthew C., Potapov Peter and Shimabukuro Yosio E., 2009. A comparison of sampling designs for estimating deforestation from Landsat imagery: A case study of Brazilian Legal Amazon: Remote Sensing of Environment 113, 2448-2454p.

Duveveiller G., Defourny P., DscléeB., Mayaux P., 2007. Deforestation in Central Africa: Estimates at regional, nation and landscape levels by advanced processing of systematically-distributed Landsat extracts: Remote Sensing of Environment 112, 1969-1981p.



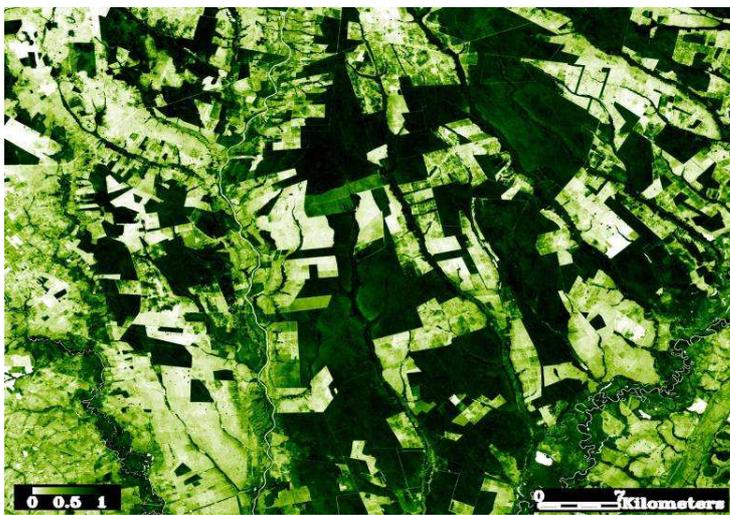
NDVI 1988



NDVI 2000



NDVI 2003

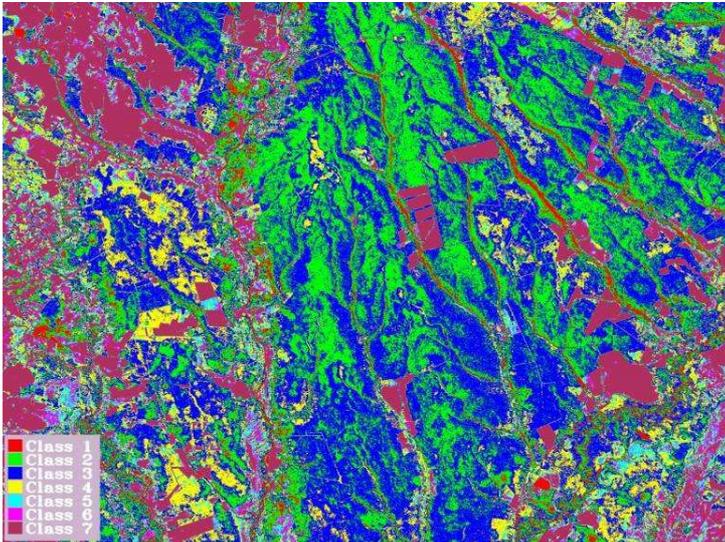


NDVI 2005



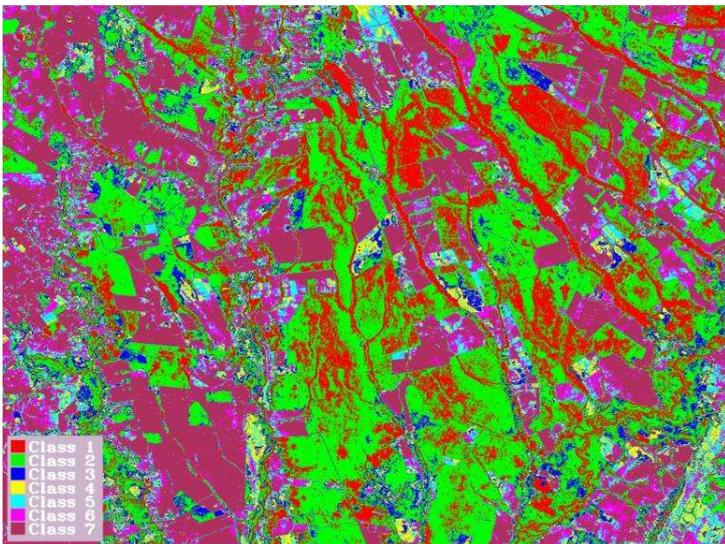
NDVI 2007

Imágenes No Supervisadas de IsoData



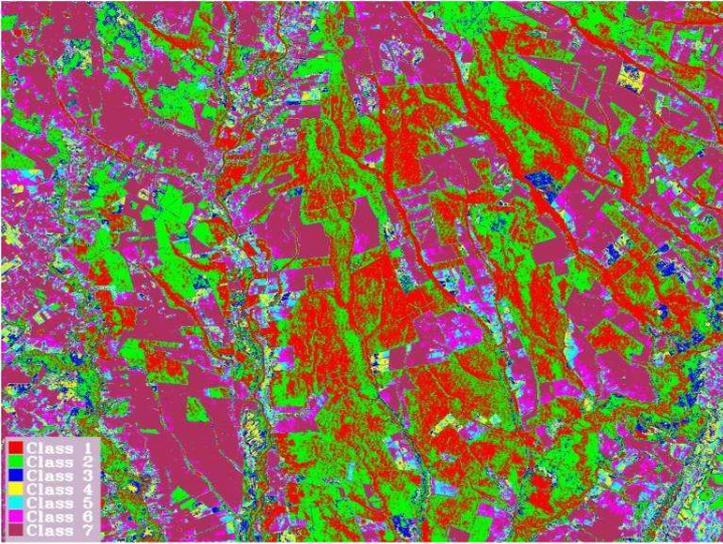
Clasificación No Supervisada de IsoData 1988

Clase	Número de Puntos	Por ciento
1	133,984	3.593%
2	9,011,410	36.567%
3	1,363,496	15.045%
4	4,533,809	24.174%
5	185,672	4.979%
6	129,419	3.471%
7	560,994	12.170%



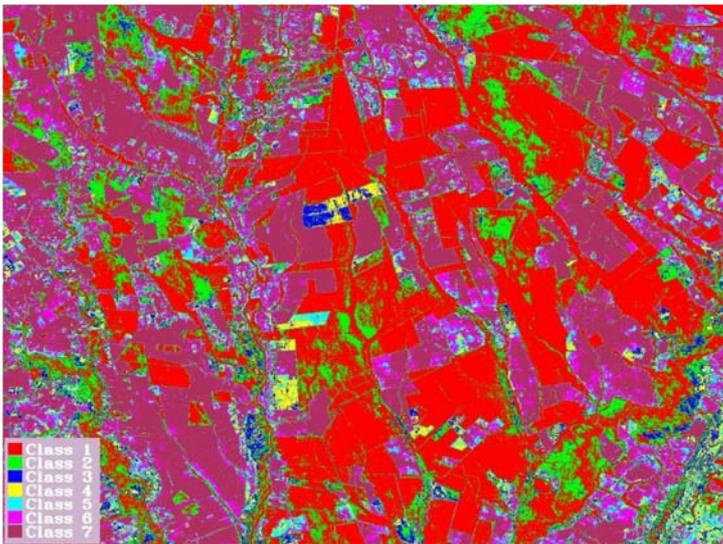
Clasificación No Supervisada de IsoData 2000

Clase	Número de Puntos	Por ciento
1	610,117	16.362%
2	1,149,659	30.832%
3	280,199	7.514%
4	205,199	5.503%
5	230,455	6.180%
6	292,501	7.844%
7	960,654	25.763%



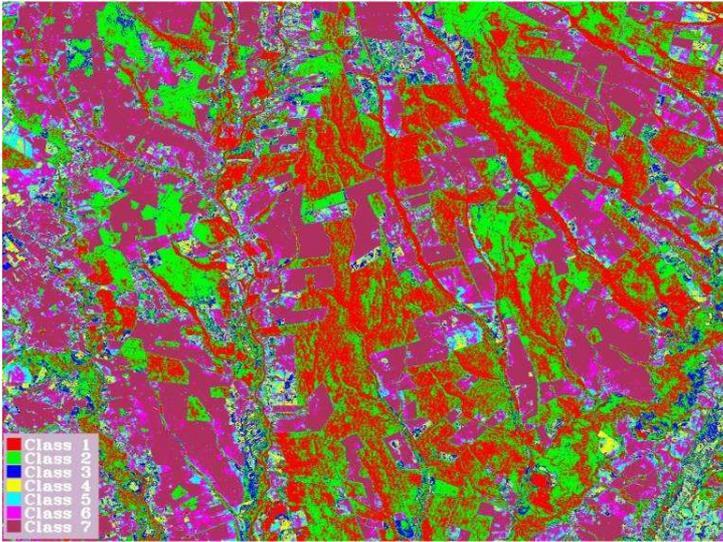
Clasificación No supervisada de IsoData 2003

Clase	Número de Puntos	Por ciento
1	833,259	22.347%
2	937,449	25.141%
3	223,018	5.981%
4	200,823	5.386%
5	235,776	6.323%
6	329,604	8.839%
7	968,855	25.983%



Clasificación No supervisada de IsoData 2005

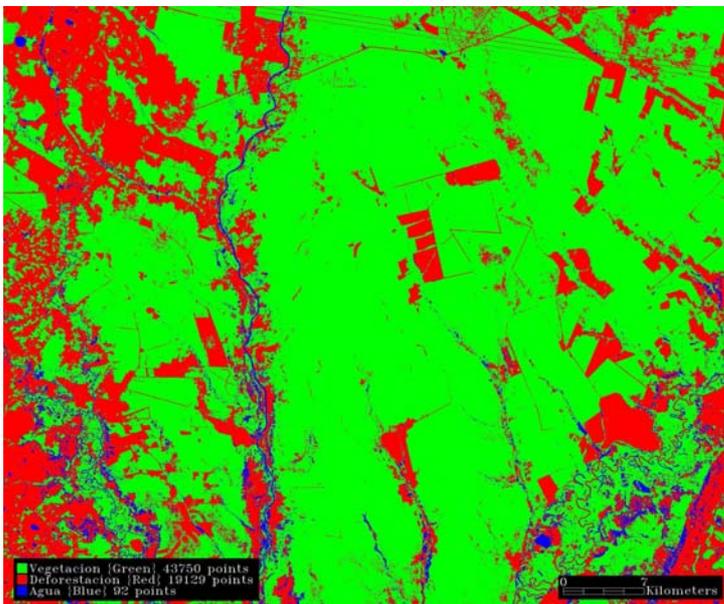
Clase	Número de puntos	Por ciento
1	1,294,527	34.717%
2	455,724	12.222%
3	185,449	4.973%
4	183,892	4.932%
5	214,331	5.748%
6	314,617	8.438%
7	1,080,244	28.970%



Clasificación No Supervisada de IsoData 2007

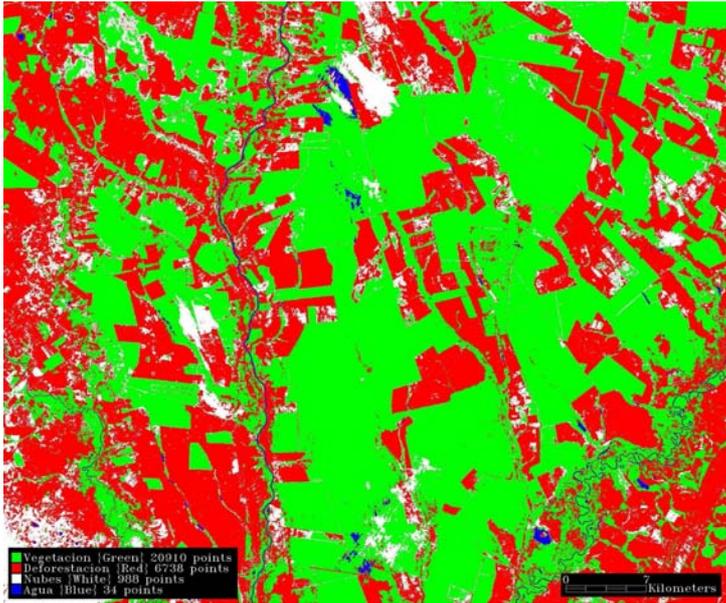
Clase	Número de Puntos	Por ciento
1	897,418	24.067%
2	848,938	22.767%
3	233,806	6.270%
4	212,511	5.699%
5	244,973	6.570%
6	324,681	8.707%
7	966,457	25.919%

Imágenes Supervisadas de Maximum Likelihood



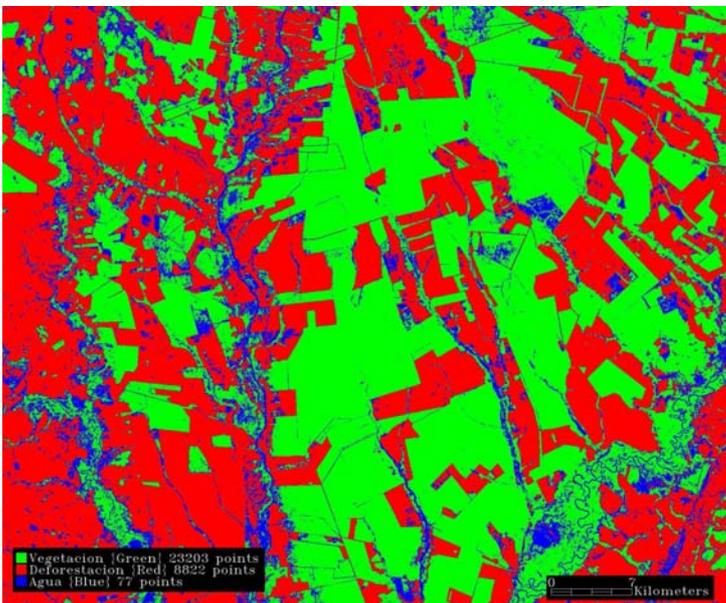
Maximum Likelihood 1988

Clase	Número de Puntos	Por ciento
1988		
Verde	2,591,539	69.501%
Rojo	995,858	26.707%
Azul	141,387	3.792%



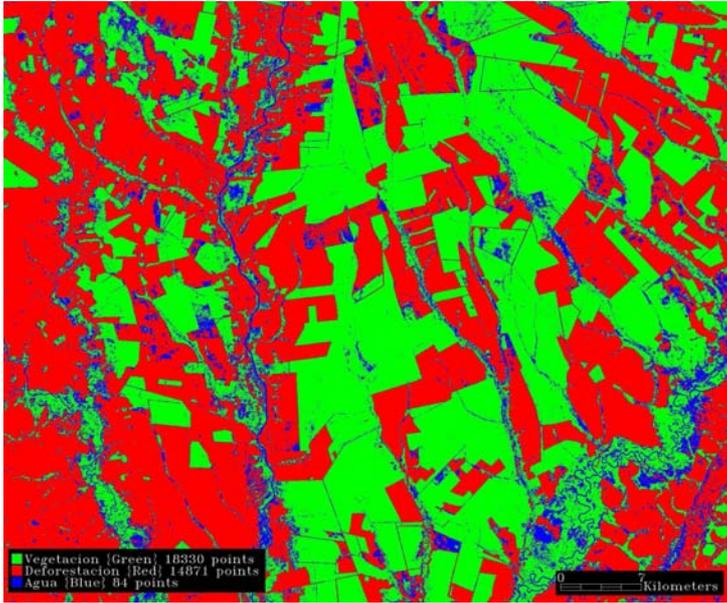
Maximum Likelihood 2000

Clase	Número de Puntos	Porciento
2000		
Verde	1,774,529	47.590%
Rojo	1,522,292	40.825%
Blanco	404,819	10.857%
Azul	27,144	0.728%



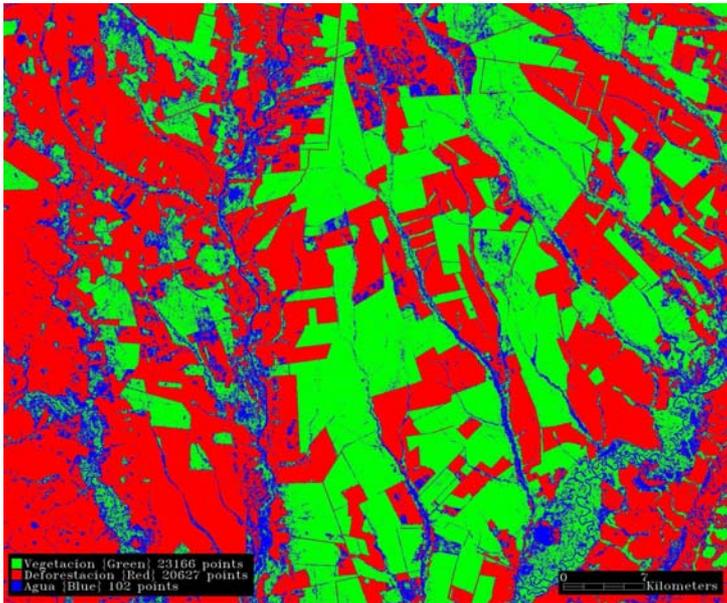
Maximum Likelihood 2003

Clase	Número de Puntos	Porciento
Verde	1,583,192	49.559%
Rojo	1,693,249	45.410%
Azul	452,343	12.131%



Maximum Likelihood 2005

Clase	Número de Puntos	Porciento
Verde	1,473,165	39.508%
Rojo	1,870,884	50.174%
Azul	384,735	10.318%



Maximum Likelihood 2007

Clase	Número de Puntos	Porciento
Verde	1,315,198	35.271%
Rojo	1,833,214	49.164%
Azul	580,372	15.565%

