Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca

Análisis de cambio de la cobertura forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (2006 – 2007)

Dr. José López-García

Agosto 2007

Como citar este reporte:

López-García, J. 2007. Análisis de cambio de la cobertura forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (2006 – 2007). Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca (WWF y FMCN). Agosto 2007. México, D.F.

Esta consultoría fue realizada para el Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca. Las propuestas contenidas en el documento no representan la opinión de WWF o FMCN ni de sus donantes. Son responsabilidad única de los autores.

Análisis de cambio de la cobertura forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (2006 – 2007)

Agosto, 2007

CONTENIDO

Resumen ejecutivo: 2
1. Introducción 3
2. Antecedentes y justificación.....5
3. Metodología 6
4. Resultados 16
5. Discusión.....33
6. Conclusiones 34

Resumen ejecutivo:

Los procesos de degradación forestal han estado afectando a la región montañosa entre los estados de México y Michoacán, reduciendo la densidad de la cobertura forestal y el cambio de uso del suelo con fines agrícolas y pecuarios. Este estudio se realizó para evaluar los cambios en la densidad de cobertura forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM), mediante un método híbrido, que consistió en la interacción de técnicas de percepción remota y sistemas de información geográfica. Esto tiene la finalidad de conocer el nivel de perturbación forestal en la RBMM, tanto en la zona de amortiguamiento como en la zona núcleo, en particular en los predios que participan en el Fondo Monarca (FM), e integrar esos resultados al proceso de evaluación que el Comité Técnico del Fideicomiso del FM utiliza para determinar la aprobación de pagos por conservación. El uso de imágenes Spot5 (3 m por pixel) de 2006 y 2007, procesadas en color natural (similar a una fotografía en color) permitió la comparación con el mosaico ortocorregido (1 m por pixel) de 2006, con apoyo de fotografías aéreas (0.4 m por pixel) de 2006. Para un pequeño sector, al sur de la RBMM, se contó con fotografías aéreas digitales de 2007. Éstas fueron de gran utilidad debido a la presencia de nubosidad y bruma en las imágenes satelitales. El análisis comparativo imagen – fotografía digital permitió una comparación aceptable, logrando discriminar áreas de menos de 0.25 cm^2, comparables con los resultados obtenidos utilizando sóo fotografías aéreas digitales. Este análisis comparativo arrojó una superficie de cambio de 329.08 ha para toda la RBMM: 94.81 ha (28.81%) distribuidas en la zona de amortiguamiento y 234.27 ha (71.19%) en la zona núcleo. Los predios con mayor afectación en la zona de amortiguamiento fueron: El Paso, Propiedad Privada 3, El Depósito, Crescencio Morales, Las Rosas 2 y Hervidero y Plancha. Para la zona núcleo, los más afectos fueron: Crescencio Morales, Comunidad Indígena Nicolás Romero, Litigio1 y El Depósito. El resto son predios con menos de 2 ha de afectación.

Palabras clave: Mariposa Monarca, percepción remota, degradación forestal, deforestación, Fondo Monarca.

1. Introducción

Como una medida en apoyo a la conservación ante la nueva zonificación de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM) (decreto del 2000), el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) y el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza crearon la iniciativa del Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca (FCMM) que constituye una herramienta de gestión basada en el pago de no aprovechamiento forestal para aquellos propietarios que quedaron restringidos en cuanto a sus derechos de aprovechamiento, así como a los dueños de predios que aportan servicios de conservación.

El análisis de cambio tiene la finalidad de conocer el nivel de perturbación forestal en los predios que participan en el Fondo Monarca e integrar los resultados al proceso de evaluación que el Comité Técnico del Fideicomiso del FCMM utiliza para determinar la aprobación de los pagos por actividades de conservación.

Los procesos de alteración forestal en la RBMM, han sido recurrentes desde el establecimiento de la nueva Reserva en el año 2000, principalmente en la zona núcleo (López-García, 2003, 2005 y 2006). Dentro de la dinámica forestal se han elaborado anualmente estudios para evaluar los cambios en la densidad de cobertura forestal. Así en 1999 se elaboró el primer estudio sobre cambios en el estado de conservación en la zona boscosa limítrofe entre los estados de México y Michoacán, que sirvió para el establecimiento de la ampliación de la reserva (Brower et. al. 2002).

En los últimos años se han realizado diferentes evaluaciones del cambio de cobertura forestal en la RBMM, con base en fotografías aéreas e imágenes de satélite (Brower et. al. 2002; López-García 2003, 2005 y 2006; Fray & Olander, 2004; Ramírez y Zubieta, 2005), existiendo una diferencia significativa entre los resultados de ambos estudios. En el caso de las fotografías aéreas los análisis son anuales o bianuales, no pudiendo detectar cambios de recuperación, pero si degradación forestal (disminución de la densidad de arbolado), aspecto evidente por contar con una resolución espacial con pixel de 0.4 m. Se requiere mucho mas tiempo y esfuerzo para realizar este análisis, pero se gana en precisión y exactitud. Por otro lado, el uso imágenes de satélite aparentemente da resultados muy rápidos, pero son poco confiables (López-García, en preparación), ya que sólo permite observar cambios de dimensiones relativamente amplias, pero no cambios pequeños en la disminución da densidad arbórea, debido al tamaño del píxel (30 m en Landsat). Se requieren condiciones especiales para una buena interpretación y análisis comparativo con el uso de imágenes de satélite bajo un procesamiento automatizado (Lillesand, 2000).

En el reporte de Fay y Olander (2004) se expone una metodología muy precisa con imágenes IKONOS, pero que no dio el resultado esperado debido a ciertas condiciones en las imágenes que no se lograron, evitando el co-registro de imágenes; como son el ángulo de toma de la imagen, paso del satélite y hora de toma (Jensen, 2004). Los autores establecen además que con las imágenes IKONOS se tiene una resolución más alta y la posibilidad de hacer el análisis automatizado con mucha precisión. Sin embargo, las fotografías digitales utilizadas en otros trabajos (López-García 2003, 2005 y 2006) tienen un pixel menor a un metro; mientras que las IKONOS tienen píxel de 4 metros. La clasificación automatizada realizada por Fay y Olander (2004) no dio el resultado esperado por varias razones, entre las que figuran: desconocimiento del

área en estudio, escaso trabajo de campo y sin apoyo de fotografías aéreas (imagen real de la superficie terrestre), apoyados en la estereoscopia.

El trabajo de Ramírez y Zubieta (2005) propone un "método mixto combinando las ventajas de la interpretación visual con las imágenes espectrales". Además consideran que "si se requiere más detalle de observación pero (no de precisión) conviene seguir haciendo vuelos aéreos". Se les olvida que las fotografías aéreas no solamente tienen una resolución mayor (0.4 m por pixel), sino que además es posible la observación estereoscópica, que reduce los efectos de sombras y orientación en las imágenes. Sin embargo, especialistas desconocen las ventajas y uso de estas técnicas, y prefieren realizar análisis espectrales con las imágenes de satélite por la rapidez, pero pierden objetividad, ya que hay muchos parámetros que afectan la respuesta espectral de las imágenes (Lillesand, 2000).

El uso de imágenes de satélite para el monitoreo de la deforestación y la determinación del uso del suelo, constituye en la actualidad un aporte fundamental, ya que permite acercar los resultados a la realidad, con mucha precisión y certeza, con base en un tratamiento adecuado de las imágenes satelitales (Jensen, 2004). Por ejemplo, es posible ampliar la resolución espacial de las imágenes. En el caso de SPOT5, esto es posible al combinar una imagen multiespectral de 10 m con la pancromática de 3 metros por píxel. Además, si se realiza un tratamiento para llevarla a color natural mediante un algoritmo, es un excelente apoyo para determinar la densidad de cobertura forestal y realizar una comparación visual (López-García, en preparación).

Para determinar los cambios en la densidad de cobertura forestal 2001-2003 se utilizaron fotografías aéreas digitales (López-García, 2003). Los métodos que se han usado desde entonces se basan en fotografías aéreas digitales, siendo los materiales que más precisión aportan. Para el siguiente periodo de análisis 2003-2005 se realizó un cambio en la metodología con apoyo de imágenes SPOT5, pero no permitió una respuesta espectral favorable al compararla con las fotografías aéreas digitales, concluyendo que espectralmente no es posible la separación de cambios en la densidad de la cobertura forestal, con las imágenes disponibles. Por último los errores reportados con imágenes de satélite, por análisis espectral, son más altos que los obtenidos con las fotografías digitales, al hacer la comprobación de campo (López-García, en preparación).

Con base en lo anterior y después de hacer varias pruebas, se llegó a establecer una metodología híbrida para el análisis 2006-2007, que se basó en el uso de un mosaico ortocorregido, elaborado con fotografías aéreas digitales de 2006 y las imágenes SPOT5 de 2006 y 2007, llevadas a color natural mediante un algoritmo desarrollado para tal efecto. Después de procesar de esta manera las imágenes, se utilizó el método de comparación visual y digitalización en pantalla (López-García, en preparación).

Objetivo

Realizar el análisis de cambios (2006-2007) en la cobertura forestal mediante la interpretación aerofotográfica digital 2006 e imagen SPOT5, 2007, escala 1:10,000 en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca.

2. Antecedentes y justificación

La toma de fotografías aéreas ha sido el insumo para los sistemas de evaluación del cambio de densidad de cobertura forestal, pero requiere de ciertas variables para su obtención. En años anteriores entre 1999 y 2006, la toma de fotografías se realizaba en los primeros meses del año (23 y 24 de enero de 1999, 10 de marzo de 2001, 22-23 de febrero de 2003). Un caso atípico fue el año de 2005 que por efectos de nubosidad se realizó el vuelo en dos etapas (el 80 % del vuelo el 10 de enero 2005 y el 4 de abril de 2005 el 20% restante). El último vuelo completo se realizó el 2-3 de marzo de 2006.

Para el proyecto que aquí se reporta (evaluación 2006-2007), durante los primeros meses de 2007, hubo muchos contratiempos que impidieron que se realizara totalmente el vuelo aéreo. Las condiciones meteorológicas fueron atípicas para este año y se presentó un adelanto de la temporada de lluvias ocasionando que el número de días despejados se redujera considerablemente en marzo y mucho más en abril. Aunado a lo anterior, con la puesta en marcha de la terminal 2 del Aeropuerto de la Ciudad de México, se incrementó el número de vuelos en la época vacacional, además se modificaron las trayectorias de las rutas aéreas comerciales, con lo que la probabilidad de contar con los permisos para realizar el vuelo se redujo. Con todo lo anterior, durante el periodo programado para los vuelos (febrero-abril) muchas veces hubo autorización de la torre de control para despegar, pero sólo en dos se realizó el vuelo. En una ocasión no se permitió volar el espacio aéreo de la Reserva y en otra (6 de abril) sólo se realizó la línea de vuelo más problemática que es la zona de mayor nubosidad (línea 7, con 63 fotos). Los días siguientes hubo permiso, pero las condiciones meteorológicas no eran favorables, y por último los días favorables y con permiso, no había avión disponible. Cabe aclarar que se tenían contratados dos aviones para aumentar la posibilidad de realizar el vuelo. El avión debe contar con un hueco en el fuselaje para colocar las cámaras aéreas y debe elevarse a 5,500 m sobre el terreno. En México muy pocos aviones cubren con estos requisitos.

En febrero de 2007, paralelamente a este proyecto, la Coordinación del Fondo Monarca solicitó a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) imágenes satelitales SPOT5. Este tipo de imagen se había utilizado en 2006 para hacer un análisis de cambio de cobertura 2005-2006 en toda la Reserva. Sin embargo, por la calidad de las imágenes del 2005, los resultados no fueron satisfactorios (López-García, 2006). En esta ocasión, las imágenes fueron requeridas con mayor calidad (nivel 1) y esto permitió el procesamiento que se describirá más adelante.

Ante la imposibilidad de completar el vuelo y la disponibilidad de imágenes SPOT5, se optó por realizar el análisis de cambio de densidad de cobertura forestal 2006-2007, requerido por el Fondo Monarca, utilizando imágenes SPOT5 de 2006 y 2007 (ambas con nivel 1 de procesamiento) y fotografías aéreas 2006, garantizando un insumo de buena calidad para obtener la evaluación de cambio de cobertura forestal necesaria para el pago por “no aprovechamiento forestal” 2007.

3. Metodología

3.1 Elaboración del mapa de densidad de coberturas forestales 2006.

Para la evaluación de cambios de cobertura en la RBMM 2005-2006 se tomaron fotografías aéreas tanto en la zona núcleo como en amortiguamiento. No obstante, los alcances del proyecto sólo requerían la fotointerpretación de la zona núcleo (López-García, 2006). En esta ocasión, el proyecto incluye el análisis de cambio de toda la RBMM, por lo que fue necesario interpretar las fotografías aéreas 2006 de la zona de amortiguamiento. Se realizó la interpretación de la zona de amortiguamiento, con las fotografías aéreas de 2006.

Por primera vez se cuenta con información de toda la Reserva a nivel detallado, para ello se emplearon técnicas convencionales de fotointerpretación siguiendo el mismo criterio y claves (Tabla 1 y 2) utilizadas en estudios previos de la zona núcleo (López-García, 2005 y 2006).

Fue necesario interpretar más de 600 fotografías aéreas digitales 2006 de la zona de amortiguamiento, impresas en papel a escala 1:10,000 y posteriormente realizar un proceso de unión entre los polígonos de la zona núcleo con la zona de amortiguamiento. Esto se llevó a cabo por el mismo método de restitución en pantalla en una computadora personal, (López-García, 2005 y 2006). Para ello fue conveniente la corrección de polígonos limítrofes y ajustar a la información existente, para proceder al etiquetado de los polígonos, según categorías de cobertura preestablecidas (Tabla 1 y 2).

Tabla 1. Leyenda de la clasificación supervisada

Clave	Categoría	Cobertura forestal
1	Cerrada	> 80%
2	Semicerrada	55-80%
3	Semiabierta	31-54%
4	Abierta	5-30%
5	Muy abierta	< 5%
6	Deforestado	0%

Fue necesario determinar una clave para el uso del suelo, según cinco claves (Tabla 2).

Tabla 2. Clases de uso del suelo

Clave	Tipo de uso
7	Matorral
8	Agricultura
9	Pastizal
10	Infraestructura
11	Cuerpo de agua

3.2 Análisis de cambio de densidad de cobertura forestal

La metodología empleada se basa en la comparación visual de productos de diferente fecha, para determinar cambios de densidad de cobertura entre la primera y la segunda fecha. El primer estudio en la región de este tipo comparativo se realizó con fotografías aéreas analógicas (1971 y 1984) y digitales (1999), realizando una igualación de escalas para la comparación (Brower, et. al. 2002). Los estudios posteriores (2001-2003 y 2003-2005) fueron realizados por fotointerpretación comparativa (López-García, 2003 y 2005). Para la evaluación 2005-2006 se combinó la metodología fotointerpretación comparativa para la zona núcleo e imágenes de satélite SPOT5 para toda la RBMM, por medio de un análisis espectral para detectar cambios de cobertura en forma automatizada, pero los resultados no fueron satisfactorios, exagerando los cambios debido a la diferencia en calidad de la imágenes utilizadas, diferencia en las fechas y otros efectos (López-García, 2006).

Con la experiencia de los estudios anteriores, considerando que en 2007 sólo se pudo realizar el vuelo en forma parcial (una línea de 60 fotografías,) y que contábamos con imágenes SPOT5 de 2006 y 2007, se procedió a realizar la georeferencia de ambas imágenes satelitales y se aplicó un algoritmo para lograr una composición en color natural (que asemeja a una fotografía aérea), con lo que **la metodología de clasificación y análisis de cambio continuó siendo por comparación visual,** modificándose el tipo de materiales utilizados. De esta forma, se compararon las fotografías de 2006 con la imagen SPOT5 de 2007, previamente procesada para simular una fotografía digital. Mediante este tratamiento se logró hacer un acercamiento de la imagen SPOT5 a una fotografía digital, en cuanto a su resolución espacial, por tanto se innovó una metodología que permitió obtener resultados satisfactorios, que fueron verificados en campo y no hubo necesidad de hacer correcciones.

Para el análisis se emplearon imágenes SPOT5, nivel 1, de febrero de 2006 (dos escenas), diciembre de 2006 (una escena) y abril de 2007 (dos escenas) en formato multiespectral y pancromático[1] (Tabla 3).

Tabla 3. Tipo, código y fecha de las imágenes SPOT5 2006-2007

Tipo	Código original	Fecha
Multiespectral	E060207154715177	03-Feb-06
Pancromática	E060207154501751	03-Feb-06
Pancromática	E060207154501751	03-Feb-06
Multiespectral	E060207155038908	03-Feb-06
Multiespectral	E070403172408845	28-Dic-06
Pancromática	E070403163420179	28-Dic-06
Multiespectral	E070417163329765	11-Abr-07
Pancromática	E070417163506025	11-Abr-07
Multiespectral	E070417164238625	11-Abr-07
Pancromática	E070417163812086	11-Abr-07

[1] Las escenas Spot5 tiene una cobertura de 60 Km X 60 Km, captura información en 4 bandas, tres multiespectrales XS1, XS2, XS3 de 10 m de resolución espacial por pixel, y una banda pancromática a 3m de resolución por píxel.

La metodología empleada en estudios anteriores se basó en fotointerpretación comparativa, o sea la comparación de fotografías de diferente año, pero de la misma zona (López-García, 2005 y 2006). Para este análisis fue similar, sólo que la comparación incluyó imágenes de satélite SPOT5, en composición en color natural (similar a una fotografía aérea) y se realizó una comparación visual al lograr que los dos productos -mosaico e imagen SPOT5- tuvieran una resolución espacial cercana: 1 m/pixel para el mosaico y 3 m/pixel para la SPOT5 (Ver Anexo: Procesamiento SPOT5).

Para el estudio contamos con un mosaico orto-rectificado construido a partir de fotografías aéreas digitales en color de 2006 (0.4 m por pixel), llevado a una resolución de 1 m por pixel. Una línea de vuelo de 2007 (0.4 m por pixel), en papel y digital. Además, el mapa de coberturas forestales de 2006, elaborado por interpretación de fotografías aéreas, sirvió de nivel de referencia para la determinación de cambios de cobertura forestal para 2007.

Para equiparar las imágenes SPOT5 con fotografías aéreas, se realizó un tratamiento de las bandas multiespectrales MSS = XS de 2 bandas, infrarrojo una banda, con píxel de 10m, mezcladas con la pancromática (píxel de 3 m), lo que permitió obtener un material de trabajo a una resolución de 3 m/pixel, que permite una comparación en pantalla con el mosaico o las fotografías aéreas digitales de 2006. De esta manera se logró una observación equivalente a escalas de 1:10,000 e inclusive mayores como 1:2,000 (Lillesand, 2000).

Por la importancia de reflejar los cambios existentes en la densidad de cobertura forestal, y de acuerdo a las imágenes de satélite SPOT5 de febrero de 2006 y de abril de 2007, se establece el monitoreo en un rango de 14 meses (90% de la superficie total de la Reserva) y con imágenes de diciembre de 2006 y abril de 2007 en un rango de 11 meses (10% de la Reserva).

A pesar de estas mejoras considerables, se deben considerar algunos elementos que constituyeron obstáculos y no permitieron trabajar con la precisión deseada; como el formato de las imágenes SPOT5 que no poseen ortocorrección geométrica (formato 3D, que permite acercarse a la realidad en función a las deformaciones del relieve); diferentes ángulos de toma de la imagen y paso del satélite y horas diferentes de toma (medio día y puesta de sol), entre otros (Jensen, 2004).

3.3 Procesamiento de la información de las imágenes SPOT5

Para la georeferencia de las imágenes SPOT5, se utilizaron imágenes LandSat7 ETM+ (P27R46 y P27R47)[2] (Figura 1) del año 2004 (http://www.LandSat.org/ortho), con escenas SPOT5 para el año 2006 y 2007 de diferentes fechas, en formato multiespectral y pancromático[3]. Posteriormente se combinó la imagen pancromática con la multiespectral, para obtener una imagen mejorada en cuanto a su resolución espacial (3 m/pixel) y composición a color natural, mediante un algoritmo

[2] Las escenas LandSat tienen una cobertura de 185 Km X 185 km. El sensor ETM+ captura información a través de 8 bandas que poseen una resolución de 30 m, exceptuando la Banda 6 o térmica con una resolución espacial de 60m, y la bada 8 o pancromática que posee una resolución de 15m.

[3] Las escenas Spot5 tiene una cobertura de 60 Km X 60 Km, Captura información en 4 bandas, tres multiespectrales XS1, XS2, XS3 de 10m de resolución espacial por pixel, y una banda pancromática a 3m de resolución por píxel.

desarrollado por Cartagena R.[4] 2007, que permitiera el análisis comparativo con las fotografías aéreas digitales de 2006 (Ver Anexo: Procesamiento SPOT5).

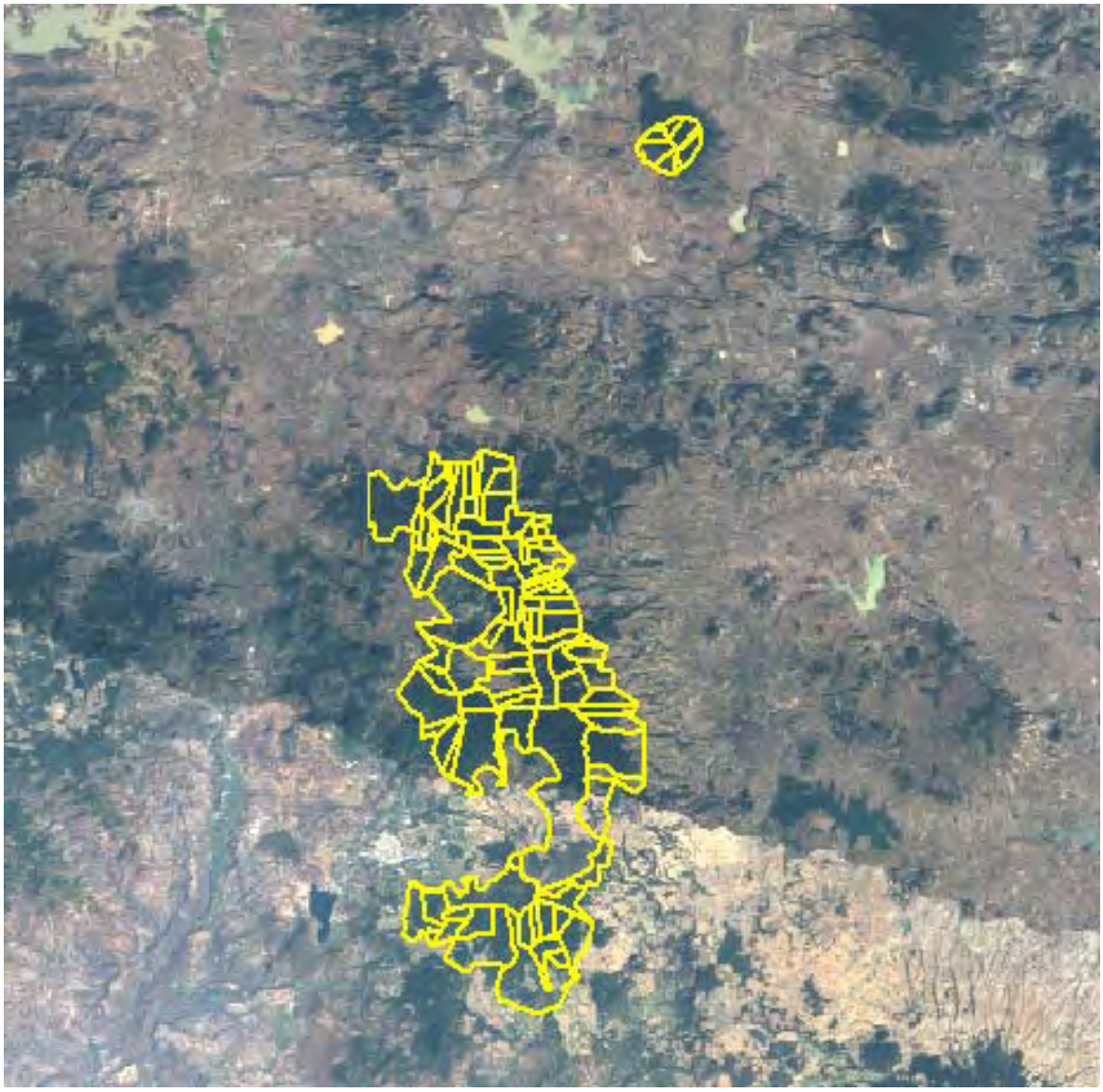

Figura 1. Mosaico LandSat7 ETM+ (en amarillo RBMM)

Cabe aclarar que para el análisis se emplearon fundamentalmente imágenes de febrero de 2006 y de abril de 2007, pero fue necesario utilizar también imágenes de diciembre de 2006 para cubrir un 10% del área de la Reserva que no eran utilizables en la imagen de abril de 2007. Esto trae ciertos inconvenientes, ya que se detectaron cambios entre diciembre de 2006 y abril de 2007, en la franja de sobreposición de ambas imágenes, por lo que no es posible detectar los cambios de diciembre de 2006 a abril de 2007 (10% del área total analizada, en el extremo este de la Reserva).

[4] Especialista en procesamiento de imágenes de satélite integrado al equipo de trabajo. La metodología está en preparación para la publicación de un reporte técnico.

El análisis de cambios se determinó principalmente por comparación visual en pantalla del mosaico de 2006 y la imagen SPOT5 de 2007. Esto hizo posible la separación de los cambios con una resolución de hasta 100 m^2, debido a que la imagen SPOT5 del 2007 fue compuesta en color natural, lo que permitió una discriminación de los cambios con mucha precisión (Figura 2).

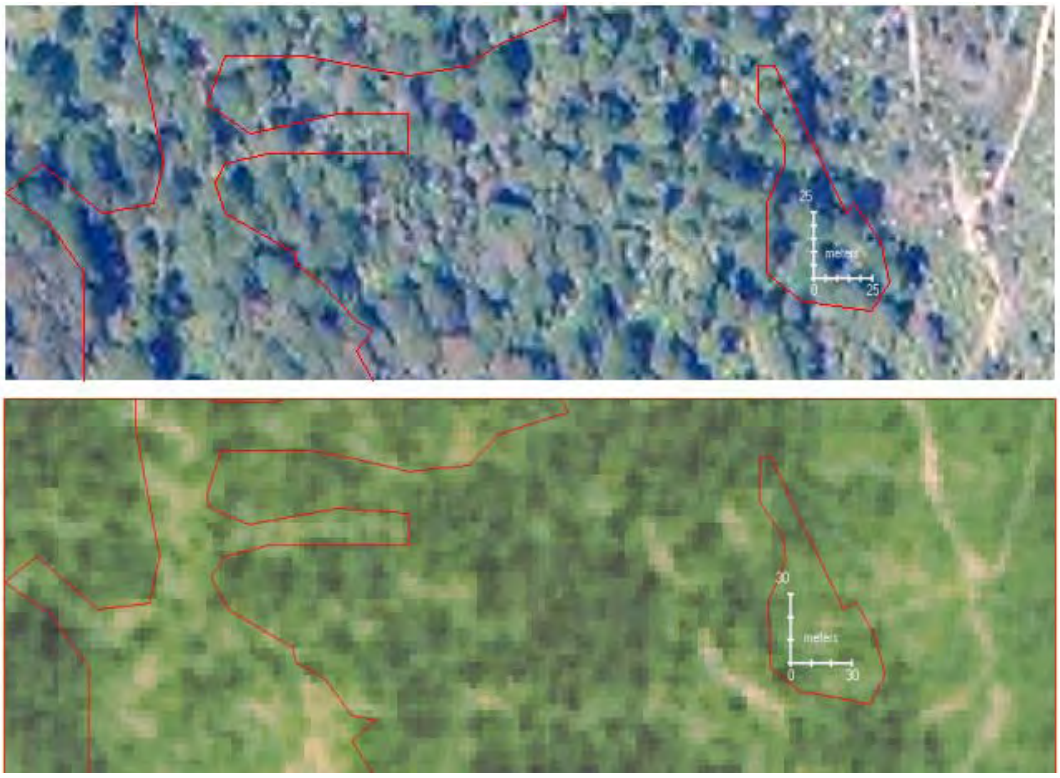

Figura 2. Comparación de cambios en el mosaico ortocorregido de 2006 (superior) y la imagen SPOT5 de 2007 procesada (inferior).

Para apoyar al análisis de imágenes SPOT5 se utilizaron fotografías aéreas digitales de marzo de 2006 a color con resolución de 40 cm por píxel, que permiten fácilmente trabajar a mucho detalle (escalas por debajo de 1:10,000). Se contó también con una línea de vuelo de abril de 2007, que incluye la zona de mayor perturbación de la cubierta forestal y que justamente correspondían a la zona de nubosidad y bruma en la imagen SPOT5 de abril de 2007.

3.4 Categorización y análisis de cambio

Las categorías de cobertura empleadas para este estudio va de “Cerrada” (> 80%) a “Deforestado” (0%) (Tabla 1). Para este análisis decidimos establecer la agrupación de los usos del suelo pastizal, agricultura, matorral, infraestructura y cuerpos de agua como “No Forestal”, de manera que fuera más objetiva respecto a los cambios de densidad de cobertura forestal.
En la figura 3 se aprecia el proceso metodológico principal que se siguió y que permitió la separación de unidades de cambio, por un proceso de comparación visual entre el mosaico de 2006 y la imagen SPOT5 de 2007 y su posterior digitalización en pantalla. También se comparó la imagen SPOT5 de 2006 con el mosaico de 2006 para calibrar las diferencias en categoría forestal. Por otro lado, también fueron analizados en forma comparativa las imágenes SPOT5 de 2006 contra la de 2007, para detectar cambios. El procedimiento que generó un mejor resultado fue la

comparación de la imagen SPOT5-2007 y el mosaico de fotografías aéreas 2006, para la separación de la mayoría de los cambios de cobertura forestal en ese periodo. En las zonas de incertidumbre en el mosaico se recurrió a las fotografías 2006 originales en formato digital.

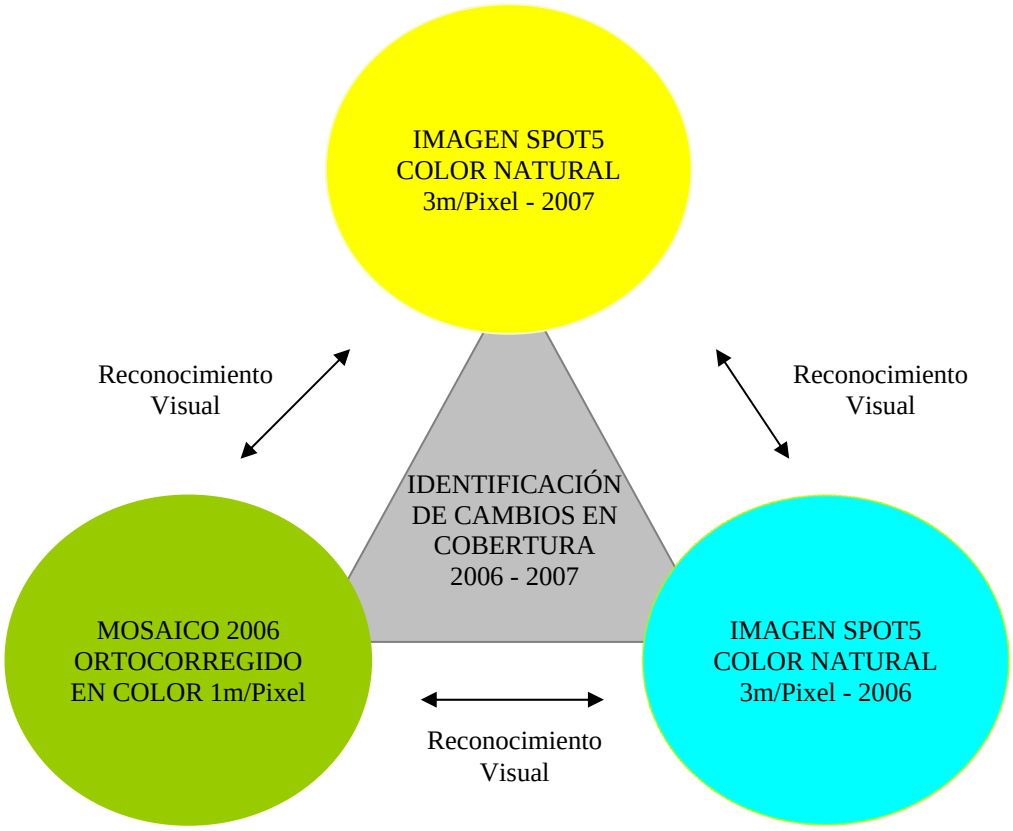

Figura 3. Esquema metodológico de identificación de cambios 2006 – 2007.

La figura 4 ejemplifica la comparación visual de las imágenes SPOT5 de 2006 (sin procesamiento para asemejar fotografías aéreas) y 2007 (con procesamiento), en relación con el mosaico ortocorregido de 2006, base de este análisis. Se puede apreciar la resolución de las imágenes satelitales respecto al mosaico, lo que permitió asegurar cambios verdaderos, que fueron confirmados en campo.

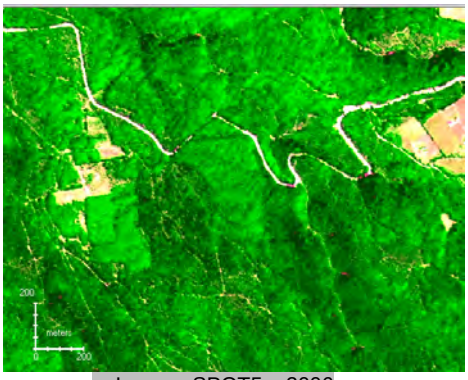

Imagen SPOT5 – 2006

Mosaico 2006

Imagen SPOT - 2007

Figura 4. Comparación del mosaico ortocorregido en color e imágenes de satélite SPOT5 en color natural RGB.

El análisis multitemporal incluyó materiales y cubrimiento diferentes, así como fechas distintas, que requirieron cuatro análisis distintos, para después ser homogeneizados para la presentación de resultados.

a. Comparación del mosaico ortocorregido con fotos del 2 y 3 de marzo de 2006 y la imagen SPOT5 del 11 de abril de 2007 para el 80% de la RBMM. De esta última imagen un 10% presentaba mucha nubosidad y bruma que impedía la correcta visualización.

b. Comparación del mosaico ortocorregido (2 y 3 de marzo de 2006) y la imagen SPOT5 del 28 de diciembre de 2006.

c. Comparación de la imagen SPOT5 del 3 de febrero de 2006 y la imagen SPOT5 del 11 de abril de 2007, para algunos sectores en que sí era confiable la separación por comparación visual (10% del área).

d. Comparación de fotografías aéreas digitales de 2006 y 2007 (la pequeña sección que se pudo obtener con un vuelo del 6 de abril de 2007) para establecer cambios y apoyar a la visualización de la imagen SPOT5 del 11 de abril del 2007 en donde la presencia de nubes y bruma impedían el análisis con mayor confiabilidad.

La comparación dio como resultado la identificación de los polígonos que sufrieron alguna modificación en categoría de cobertura. La información se representó en matrices de cambio entre el primer periodo (básicamente 2006) y el segundo (fundamentalmente 2007), lo que permite analizar los cambios por categoría. El cruce de la información con la tenencia da por resultado los cambios por predio.

En la figura 5 se aprecia la zona de mayores cambios en la cobertura forestal durante el periodo, con algunos problemas en la calidad de la imagen de 2007, por efecto de bruma y nubes bajas. Aunque se aplicó un filtro, en algunos casos no fue suficiente, por lo que se recurrió a las fotografías tomadas en abril de 2007 (aproximadamente 10% de la superficie total de la Reserva, en la zona de Crescencio Morales). Esto permitió obtener mayor definición en la separación de unidades.

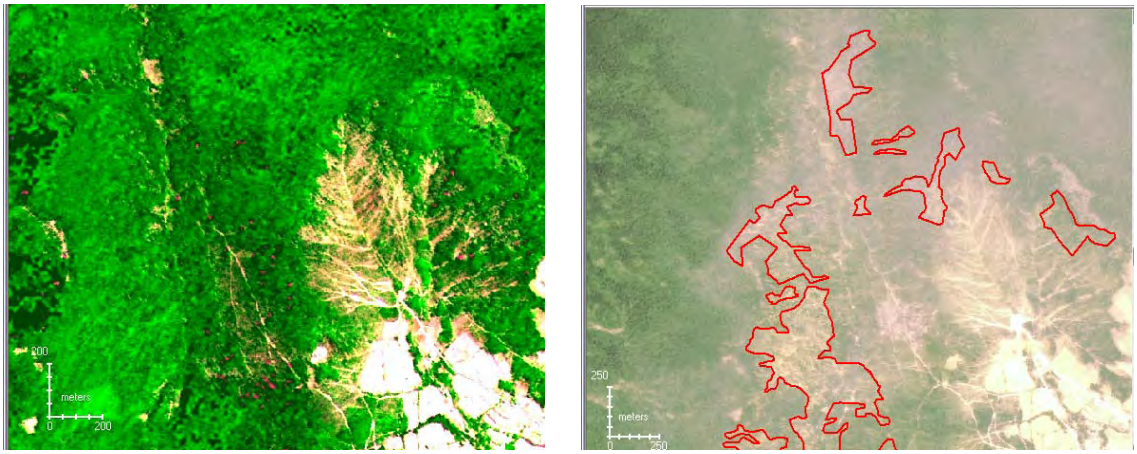

Figura 5. Evaluación de cambios de la imagen SPOT5 de 2006 a la izquierda e imagen SPOT5 de 2007 a la derecha, ambas en composición color natural.

En la figura 6 se presenta un ejemplo de fotografías aéreas digitales 2006 y 2007 para determinar los cambios en la densidad de cobertura forestal. Estas fotos sirvieron de apoyo al proceso de evaluación de cambios en la RBMM, particularmente en las zonas donde las imágenes SPOT5 2007 presentaron mucha nubosidad.

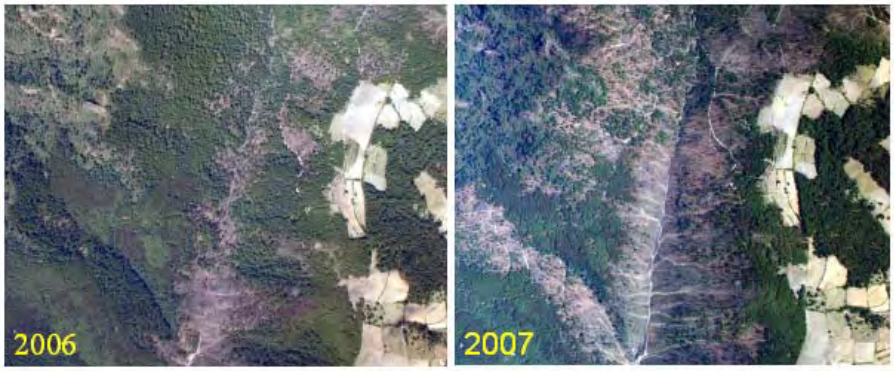

Figura 6. Comparación de fotografías digitales con los cambios de cobertura más drásticos (Crescencio Morales). Se aprecia el inició de los procesos erosivos tras la pérdida de cobertura forestal.

La composición en color natural de la imagen SPOT5 2007 permitió establecer los cambios, ya que la definición obtenida al llevarla a 3 m/píxel es comparable en pantalla con el mosaico ortocorregido 2006 (1 m/píxel), elaborado con fotografías digitales (0.4 m/píxel). Cabe señalar que sin el procesamiento realizado, la definición de SPOT5 sólo alcanzaría 10 m/píxel. En las figuras 7 y 8 se aprecia que con esa definición es posible llevar a acabo una comparación muy fiable, al combinar la respuesta espectral de la imagen SPOT5 de 2007 y la resolución de las fotografías digitales, representada en el mosaico de 2006, siendo un método híbrido para establecer cambios multi-temporales.

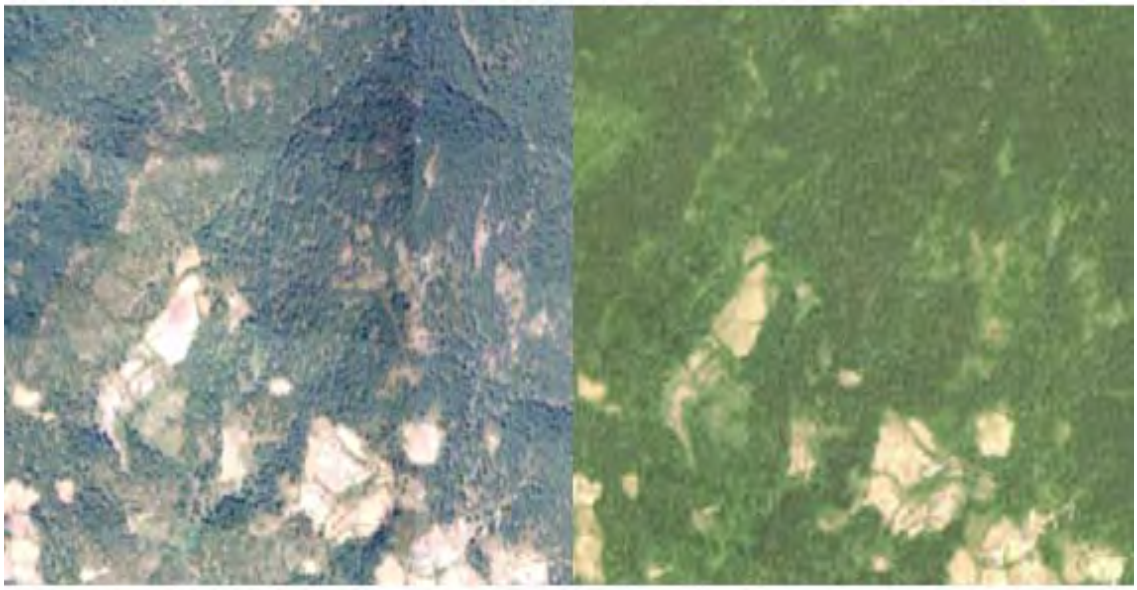

Figura 7. Comparación del mosaico en color de 2006 y la imagen Spot5 de 2007 en composición color natural.

Figura 8. Delimitación de cambio de cobertura entre el mosaico de 2006 y la imagen SPOT5 de 2007 (composición color natural)

3.5 Presentación de resultados

El cruzamiento de mapas de categorías de cobertura 2006 y 2007 da como resultado una matriz de cambios, en donde se aprecia la variación de unas categorías a otras. Los resultados fueron diferenciados por zonas núcleo y amortiguamiento y también para toda la Reserva para mejor comprensión de los cambios.

Los cambios por categoría de cobertura son cualitativos (Tabla 1) y señalan la magnitud del cambio. No obstante para establecer un nivel de intensidad del cambio (impacto) se diseño una matriz de cambios que agrupa en tres categorías el grado de afectación (Tabla 5).

Tabla 5. Matriz de grado de intensidad de los cambios de categoría.

2006 \ 2007	Cerrada	Semicerrada	Semiabierta	Abierta	Muy abierta	Deforestado
Cerrada	Nulo					
Semicerrada	Bajo	Nulo				
Semiabierta	Medio	Bajo	Nulo			
Abierta	Medio	Medio	Bajo	Nulo		
Muy abierta	Alto	Alto	Medio	Bajo	Nulo	
Deforestado	Alto	Alto	Medio	Medio	Bajo	Nulo

Adicionalmente, para establecer una evaluación del cambio de cobertura cuantitativo se diseñó un índice de alteración (Figura 9), en donde al cambio de cobertura se le asignan tres grados de alteración: Alta (**A = 3**), para cambios de las categorías “Cerrada” y “Semicerrada” a “Muy abierta” y “Deforestado”; Media (**M = 2**), para cambios de las categorías “Semiabierta” o “Abierta” a “Muy abierta” o “Deforestado”; y Baja (**B = 1**), de cualquier categoría a la inferior inmediata, por ejemplo de “Cerrada” a “Semicerrada” o “Semiabierta” a “Abierta”. El número asignado al grado de alteración se multiplicó por la superficie afectada y se obtuvo el valor del índice de alteración, que permite la cuantificación del cambio para cada predio.

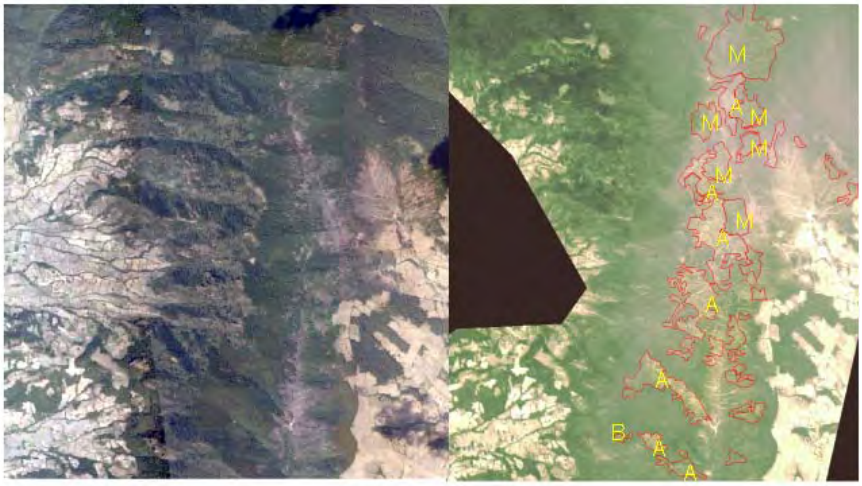

Figura 9. Análisis visual y niveles de alteración separados en la imagen SPOT5 de 2007, a partir del mosaico 2006.

3.6 Verificaciones de campo

El trabajo de campo se dividió en dos partes, la primera fue realizada al terminar el análisis comparativo visual de fotografías aéreas digitales de 2006 contra la imagen SPOT5 de 2007, compuesta en color natural, resultado varias zonas con ligeras dudas que fueron despejadas en campo y no fue necesario realizar cambios en el análisis comparativo.

Se recorrieron otras zonas, que aunque no se tenía dudas era necesario constatar el estado del bosque y por tanto se realizaron salidas de reconocimiento por los principales caminos dentro de la reserva, con lo que se tuvo mayor seguridad en este análisis.

Cabe aclarar que algunos en predios como Crescencio Morales en la zona núcleo no fue posible hacer los recorridos por ser una zona de conflicto, aunque se tomaron fotos a la distancia (Figura 22). A pesar de este inconveniente, la confirmación de los cambios en otros sitios detectados por la imagen SPOT5 y las fotografías aéreas digitales de 2007 (Figura 26) son prueba de que la tala en el periodo 2006-2007 ocurrió principalmente en Crescencio Morales (Figuras 21 y 23).

Por otro lado, se realizaron recorridos de campo, acompañados por representantes de los predios, de la Dirección de la Reserva y de la Coordinación del Fondo Monarca, en aquellos predios con necesidad de verificación. El trabajo de campo se realizó entre junio y julio de 2007, visitando varias zonas con cambios, como son Crescencio Morales (zona de amortiguamiento) y El Depósito. La dirección de la reservas proporcionó información a manera de entrevistas informales, que fueron de gran ayuda para aclarar algunas dudas. La intención era visitar la zona limítrofe entre ambos predios, pero no fue posible por cuestiones de seguridad. El recorrido se realizó en compañía del Sr. Benito Sánchez Cruz (comisariado ejidal) tomando fotos en los siguientes puntos.

También se visitó los terrenos de la Comunidad Indígena de Nicolás Romero. El recorrido se realizó con el Sr. Mario de la Paz Torales (representante de la comunidad). Se realizó un recorrido de reconocimiento en la Propiedad Privada 3 (municipio de Senguio), para constatar la fotointerpretación. Las verificaciones en campo se realizaron para todas las zonas de cambios por lo que el mapa de cambios fue verificado en toda su extensión y n se muestra un mapa específico (Figura 12).

4. Resultados

4.1 Grado de Alteración

La fotointerpretación dio como resultado el mapa de densidades de coberturas forestales y el uso del suelo de 2006 y 2007, además representa el estado general de conservación de la vegetación forestal en la RBMM (Figuras 10 y 11).

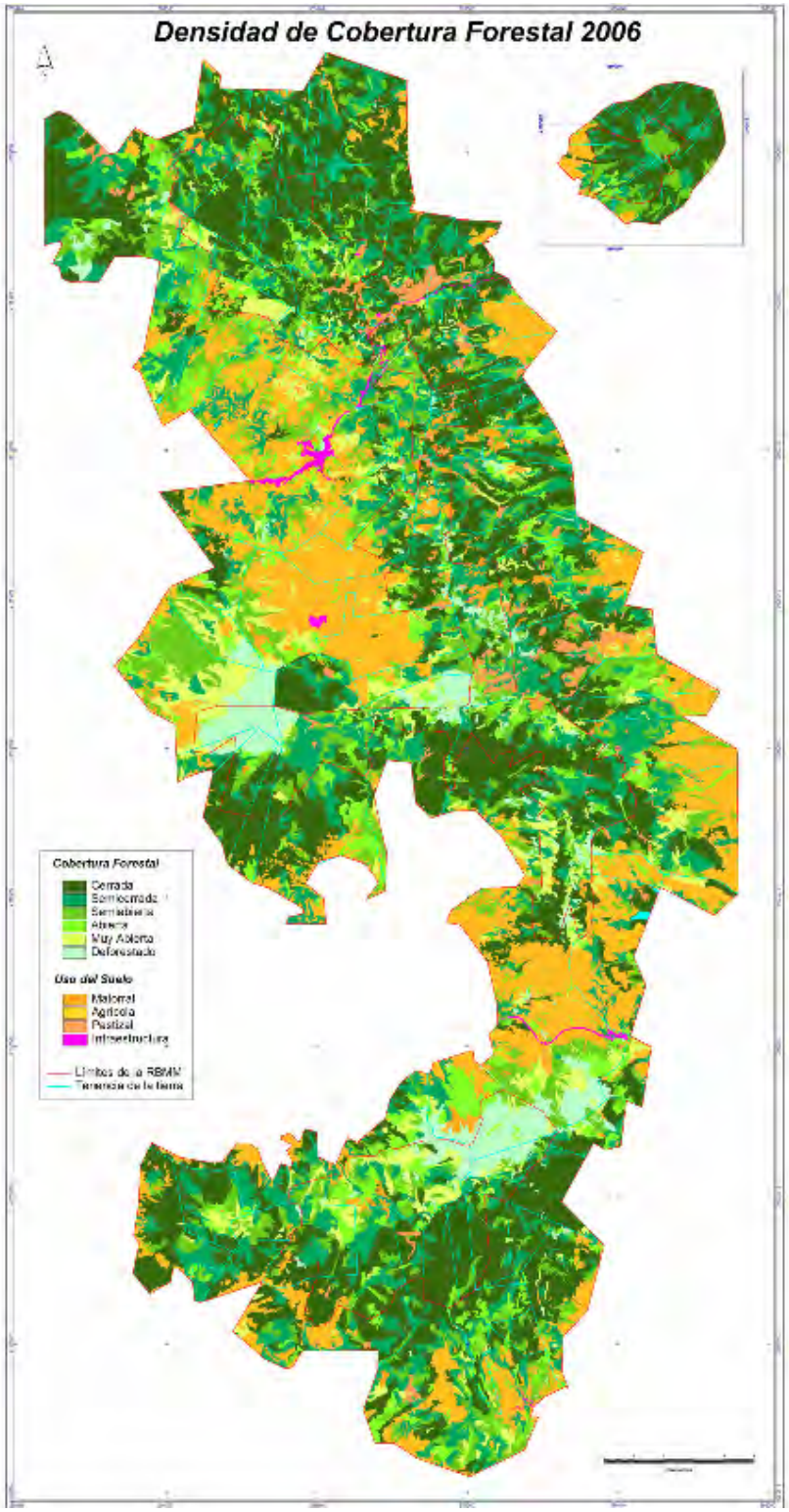

Figura 10. Densidad de coberturas forestales 2006 de la RBMM.

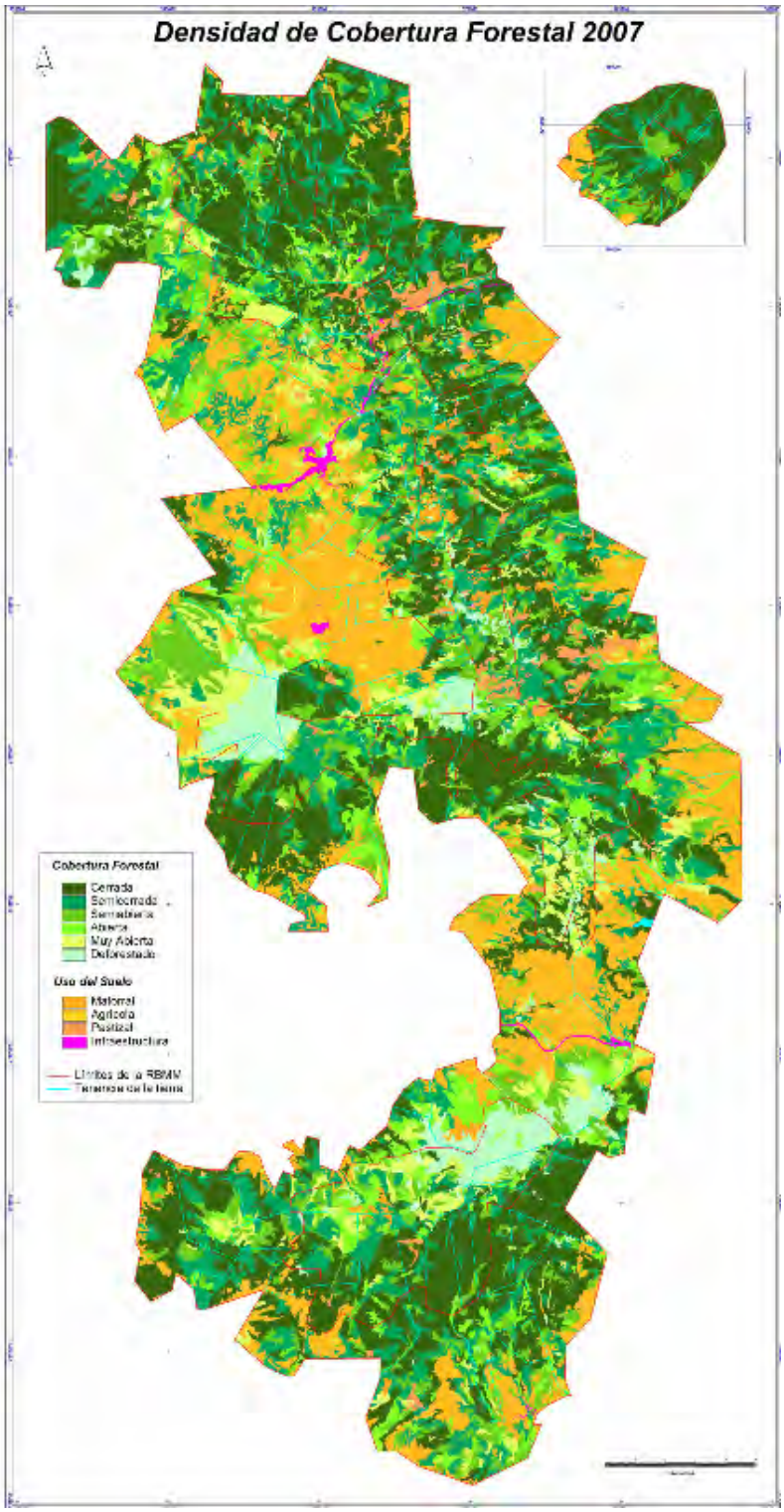

Figura 11. Densidad de coberturas forestales 2007 en la RBMM.

La determinación de los cambios de cobertura por comparación visual, permitió la separación de las zonas de cambios entre 2006 y 2007 (Figura 12), de acuerdo a las categorías utilizadas en estudios anteriores.

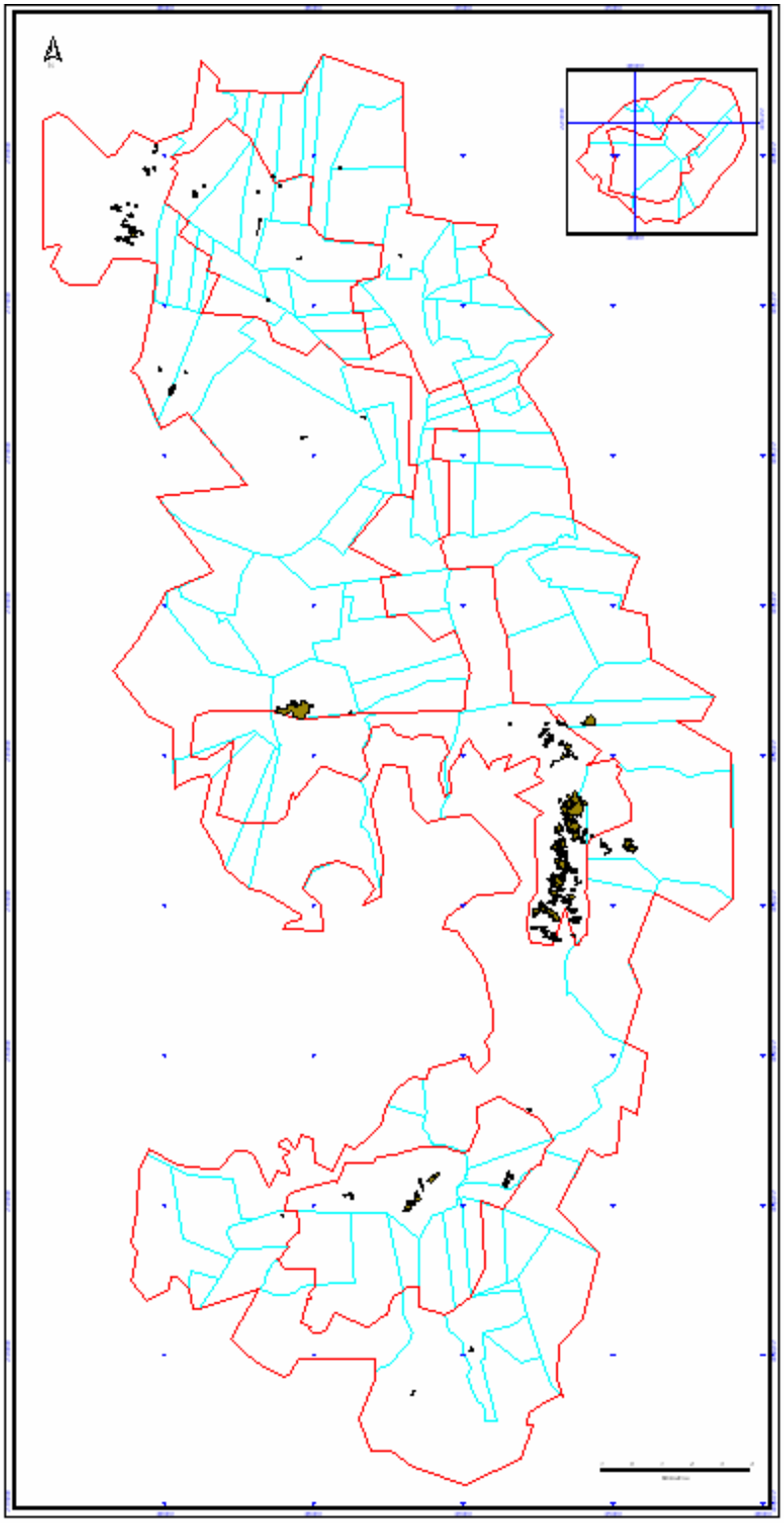

Figura 12. Zonas de cambios en la RBMM 2006-2007

El análisis multi-temporal (2006-2007) permitió obtener una matriz de cambios de densidad de cobertura forestal (Tabla 9), siendo nulos los cambios de uso del suelo, por lo que fueron agrupados y considerados como “No forestal”.

Tabla 9. Cambios de cobertura forestal 2006 - 2007 en la RBMM (hectáreas).

Categorías	Cerrada	Semicerrada	Semiabierta	Abierta	Muy abierta	Deforestado	No forestal	Total 2006
Cerrada	17837.84	0.01	55.94	50.22	66.28	23.88	0.00	18034.17
Semicerrada	0.00	9968.03	0.67	25.02	24.66	9.47	0.00	10027.86
Semiabierta	0.00	0.00	7315.56	6.24	17.12	10.72	0.00	7349.43
Abierta	0.00	0.00	0.00	3738.47	27.56	5.34	0.00	3769.17
Muy abierta	0.00	0.00	0.00	0.00	3077.05	6.30	0.00	3082.15
Deforestado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2281.23	0.00	2282.34
No forestal	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11712.15	11714.65
Total 2007	17837.84	9968.04	7372.17	3819.96	3212.66	2336.94	11712.15	56259.77

El análisis reportó la afectación de 329.08 ha de bosques en diferentes estados de conservación, siendo las coberturas Cerradas las más alteradas con 196.27 ha (59.64% de los cambios) y las Semicerradas con 59.63 ha (18.12% de los cambios).

Las categorías de bosque que sufrieron algún tipo de cambio en la RBMM, separadas por zonas de amortiguamiento y núcleo se presentan en la tabla 10.

Tabla 10. Categorías de cobertura forestal con cambios 2006- 2007 según zonas

Categoría	Amortiguamiento		Núcleo		Total	
	ha	% Relativo	ha	% Relativo	ha	% Absoluto
Cerrada	63.71	67.21	132.56	56.58	196.27	59.64
Semicerrada	5.15	5.43	54.48	23.26	59.63	18.12
Semiabierta	10.13	10.68	23.91	10.21	34.04	10.34
Abierta	14.13	14.90	18.71	7.99	32.84	9.98
Muy abierta	1.69	1.78	4.61	1.97	6.3	1.91
Total	94.81	100.00	234.27	100.00	329.08	100.00

El análisis por predio reportó que son 8 predios los que aportan el 97% de la alteración en el periodo 2006-2007 (Tabla 11).

Tabla 11. Predios con cambios de cobertura forestal 2006-2007

Predios	ha	%
Crescencio Morales	207.19	62.96
El Paso	36.19	11.00
Comunidad Indígena Nicolás Romero	23.24	7.06
Propiedad Privada3	20.87	6.34
El Depósito	14.82	4.50
Las Rosas2	8.63	2.62
Litigio1	5.00	1.52
Hervidero y Plancha	3.09	0.94
19 predios con < 2 ha	10.04	3.05
Total	329.08	100.00

4.1.1 Zona de Amortiguamiento

Los cambios detectados en zona de amortiguamiento fueron de 94.81 ha, de éstos la categoría Cerrada sufrió la mayor afectación (63.71 ha y 67.21% de los cambios; Tablas 12 y 13).

Tabla 12. Cambios de cobertura forestal 2006 - 2007 en la zona de amortiguamiento de la RBMM (hectáreas).

Categorías	Cerrada	Semicerrada	Semiabierta	Abierta	Muy abierta	Deforestado	No forestal	Total 2006
Cerrada	12796.20	0.01	44.66	8.27	4.25	6.54	0.00	12859.93
Semicerrada	0.00	7383.30	0.12	0.83	2.79	1.53	0.00	7388.58
Semiabierta	0.00	0.00	5527.12	0.60	3.12	6.41	0.00	5537.04
Abierta	0.00	0.00	0.00	2733.08	13.03	1.13	0.00	2745.04
Muy abierta	0.00	0.00	0.00	0.00	2123.97	1.67	0.00	2124.44
Deforestado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1050.73	0.00	1051.84
No forestal	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10969.15	10971.65
Total 2007	12796.20	7383.31	5571.90	2742.79	2147.15	1068.01	10969.15	42678.52

Tabla 13. Categorías afectadas en zona de amortiguamiento.

Categoría	ha	%
Cerrada	63.71	67.21
Semicerrada	5.15	5.43
Semiabierta	10.13	10.68
Abierta	14.13	14.90
Muy abierta	1.69	1.78
Total	94.81	100.00

De los cambios detectados por predio en la zona de amortiguamiento (Tabla 14), la mayoría fueron en el ejido El Paso (38.17%).

De acuerdo a información obtenida en campo, esta disminución de densidad de cobertura corresponde a un aprovechamiento autorizado. Un 22.01% de los cambios detectados en la zona de amortiguamiento corresponden a la Propiedad Privada 3 (20.87 ha), que también son aprovechamientos autorizados. En el ejido El Depósito se detectaron 12.97 ha como cambios (13.68%). Esta superficie corresponde a la anualidad de un aprovechamiento autorizado, pero al estar muy cerca de los sitios de tala ilegal en la zona núcleo de Crescencio Morales, se ve en riesgo el aprovechamiento legal y conflictúa la situación en la región.

Los datos por predio de los cambios en la zona de amortiguamiento se localizan en la Tabla 14, concentrándose en tres predios El Paso, Propiedad Privada 3 y El Depósito (Total 70.03 ha y 73.86%). De acuerdo con la Dirección de la Reserva, todos ellos tienen un aprovechamiento forestal vigente en zona de amortiguamiento.

Tabla 14. Cambios en zona de Amortiguamiento.

Predios	ha	%
El Paso	36.19	38.17
Propiedad Privada 3	20.87	22.01
El Depósito	12.97	13.68
Las Rosas 2	8.63	9.11
Crescencio Morales	7.25	7.64
Hervidero y Plancha	2.84	2.99
Rondilla	1.57	1.65
Fracción Corral Viejo	1.23	1.29
Ampliación Concepción del Monte	0.68	0.72
San Juan Xoconusco	0.56	0.59
San Juan Zitacuaro	0.48	0.50
Pueblo de Angangueo	0.40	0.42
Sin Dato	0.29	0.30
6 predios con superficie < de 0.25 ha	0.86	0.90
Total	94.81	100.00

En la figura 13 se presenta un ejemplo de disminución en la cobertura forestal. La imagen presentada corresponde al predio El Paso en zona de amortiguamiento, que tuvo cambios de cobertura en 36.10 ha y que pasaron de cobertura Cerrada a Semiabierta. El trabajo de campo determinó que se trata de un aprovechamiento programado y autorizado (Comunicación personal del Ing. Martín Arriaga, responsable forestal de la Dirección de la Reserva, CONANP, 5 de junio de 2007).

Los cambios detectados en el ejido El Paso (36.10 ha) son evidentes al pasar de una cobertura Cerrada a una cobertura Semiabierta, se puede apreciar la resolución al hacer la ampliación y los detalles que pueden apreciarse, distinguiéndose árboles individuales.

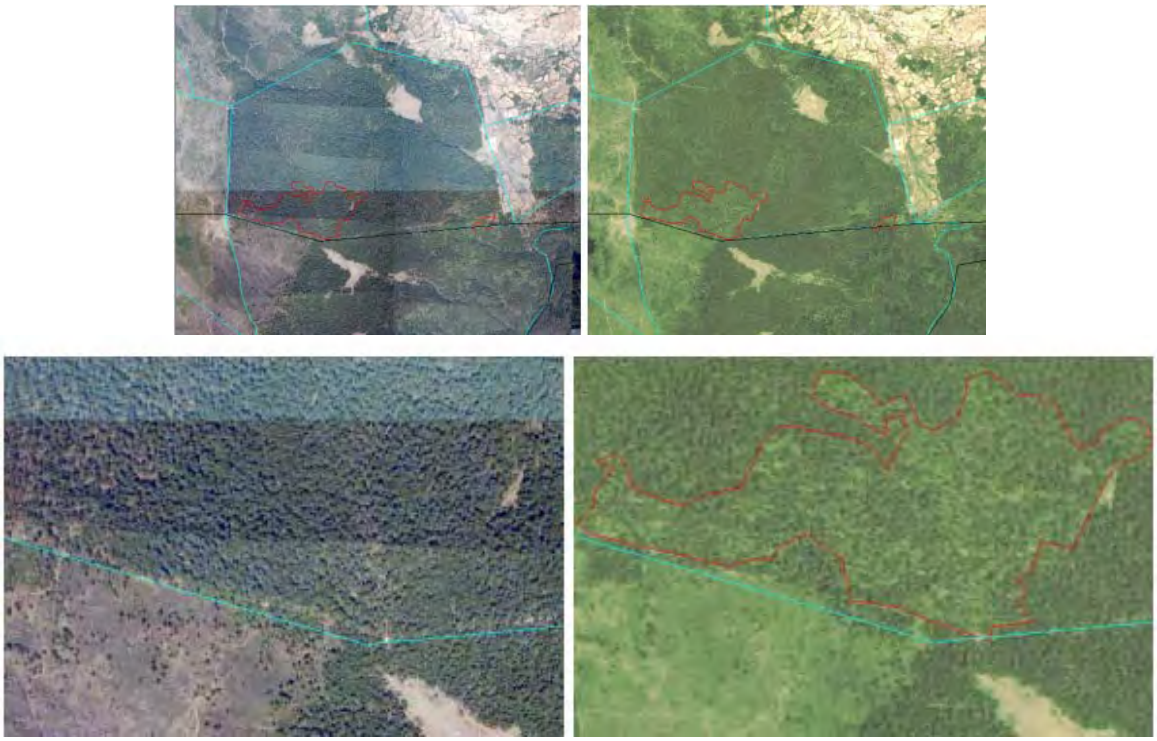

Figura13. Cambio en el ejido El Paso, en zona de amortiguamiento. Izq. mosaico 2006 y der. imagen Spot5 2007 en color natural.

En otro ejemplo, los cambios detectados en la Propiedad Privada 3, son pequeños y se distribuyen en dos porciones del predio. Algunos de estos cambios son resultado de plagas (por la coloración rojiza del arbolado) (Figura 14). Esto fue verificado en campo, al observar los árboles secos.

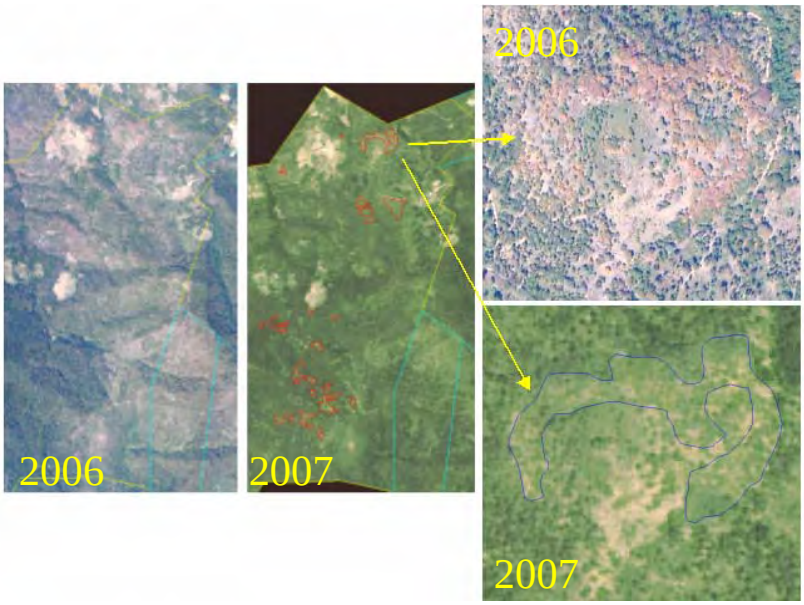

Figura 14. Cambios detectados en la Propiedad Privada 3, se aprecia a la derecha árboles secos en el mosaico de 2006 y su complemento en la imagen SPOT5 de 2007.

En otros sitios de la Propiedad Privada 3 son más evidentes los cambios (Figura 15). Se aprecian los árboles individuales y la inequívoca separación de zonas de cambios en el análisis comparativo, que también fue constatado en campo.

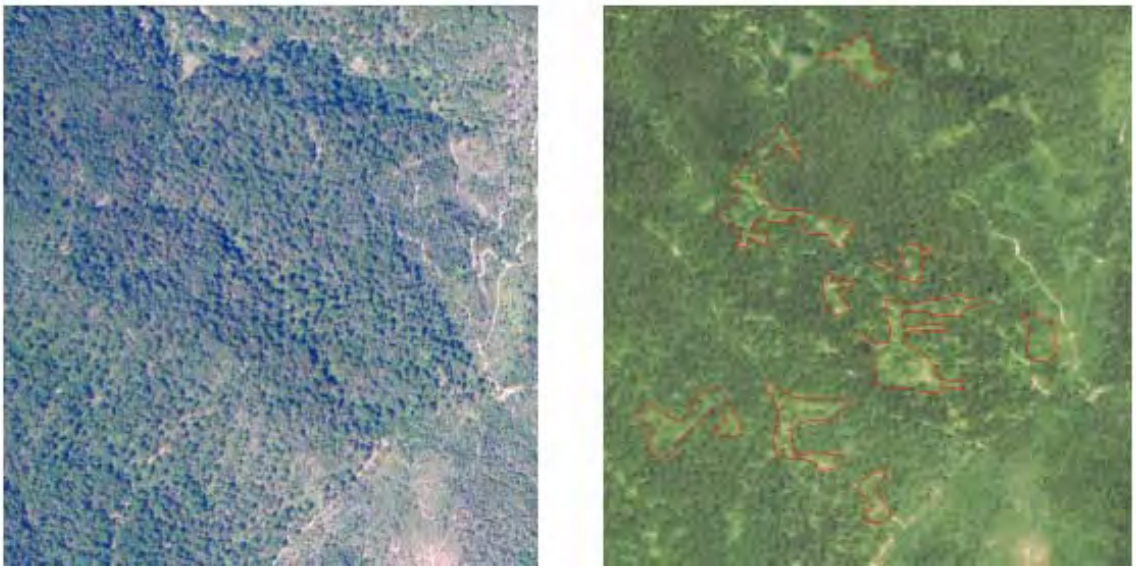

Figura 15. Cambios de coberturas Cerradas a Muy abiertas en la Propiedad Privada 3.

En otros casos se recurrió a la comparación visual de imágenes SPOT5 de febrero de 2006 y diciembre de 2006. Este fue el caso del ejido El Depósito, en donde se detectaron cambios en los límites con el ejido Crescencio Morales, atribuibles a la tala clandestina, ya que no son zonas de aprovechamiento. Se observaron otros cambios en la zona de amortiguamiento pero el trabajo de campo confirmó que se trata de aprovechamientos autorizados (Comunicación personal del Comisariado Benito Sánchez Cruz) (Figura 16).

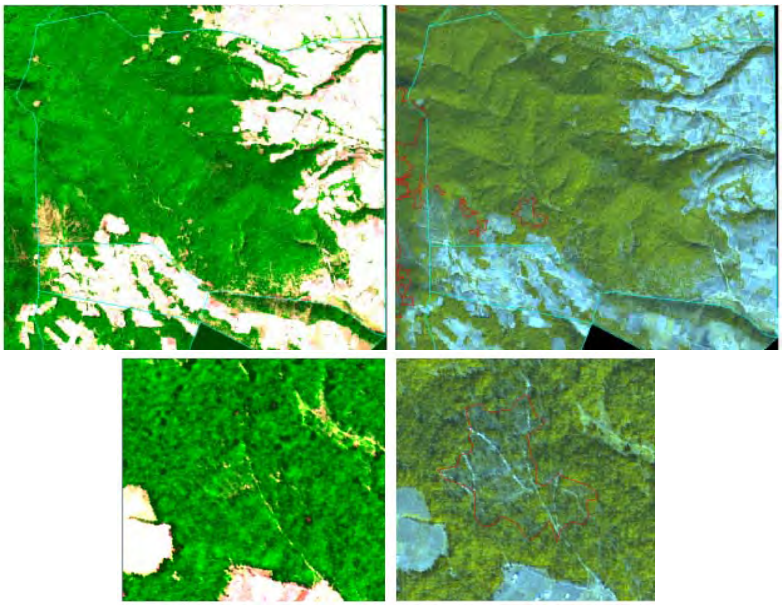

Figura 16. Cambios de cobertura forestal (aprovechamientos autorizados) en el ejido El Depósito. Imágenes SPOT5 del 3 de febrero de 2006 (izq.) y 28 de diciembre de 2006 (der.).

4.1.2 Zona Núcleo

Para la zona núcleo el análisis determinó que siguen reincidentes los cambios de cobertura en ciertos sectores y que no hay cambios de uso del suelo en el periodo evaluado Un total de 234.27 ha sufrieron cambios (Tablas 15 y 16).

Tabla 15. Cambios de cobertura forestal 2006 - 2007 en la zona núcleo de la RBMM (hectáreas).

Categorías	Cerrada	Semicerrada	Semiabierta	Abierta	Muy abierta	Deforestado	No forestal	Total 2006
Cerrada	5041.64	0.00	11.28	41.95	62.03	17.34	0.00	5174.24
Semicerrada	0.00	2584.73	0.55	24.19	21.87	7.94	0.00	2639.28
Semiabierta	0.00	0.00	1788.44	5.64	14.00	4.31	0.00	1812.39
Abierta	0.00	0.00	0.00	1005.39	14.53	4.21	0.00	1024.13
Muy abierta	0.00	0.00	0.00	0.00	953.08	4.63	0.00	957.71
Deforestado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1230.50	0.00	1230.50
No forestal	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	743.00	743.00
Total 2007	5041.64	2584.73	1800.27	1077.17	1065.51	1268.93	743.00	13581.25

Las categorías que cambiaron en la zona núcleo fueron las Cerradas y Semicerradas, cubriendo 187.04 ha (80% de los cambios; Tabla 16).

Tabla 16. Cambios por categoría en la zona núcleo (2006- 2007)

Densidad	ha	%
Cerrada	132.56	56.58
Semicerrada	54.48	23.26
Semiabierta	23.91	10.21
Abierta	18.71	7.99
Muy abierta	4.61	1.97
Total	234.27	100.00

De los cambios detectados y analizados por predio (Tabla 17), el 95% se concentra en dos predios: Crescencio Morales y Comunidad Indígena de Nicolás Romero, 199.94 ha (85%) en el primero (Figuras 17 a 21) y 23.24 ha (10%) en el segundo (Figura 23 y 24). Los cambios fueron constatados en campo. Estas son las zonas mas problemáticas con tala ilegal y tienen acceso a la carretera Morelia – México. Los datos detallados de los cambios por predio se localizan en el Anexo *Tabla dinámica* (archivos que acompañan este reporte).

Tabla 17 Predios con afectación en la zona núcleo.

Predios	ha	%
Crescencio Morales	199.94	85.35
Comunidad Indígena de Nicolás Romero	23.24	9.92
Litigio1	5.00	2.14
El Depósito	1.85	0.79
Senguio Ampliación	1.38	0.59
1a Fracción Calabozo	0.75	0.32
Sin dato	0.86	0.37
Chincua O.E. Zapata	0.29	0.13
Propiedad Federal	0.30	0.13
Ampliación la Mesa 3	0.32	0.14
Hervidero y Plancha	0.25	0.11
2 predios con superficie < de 0.25 ha	0.08	0.03
Total	234.27	100.00

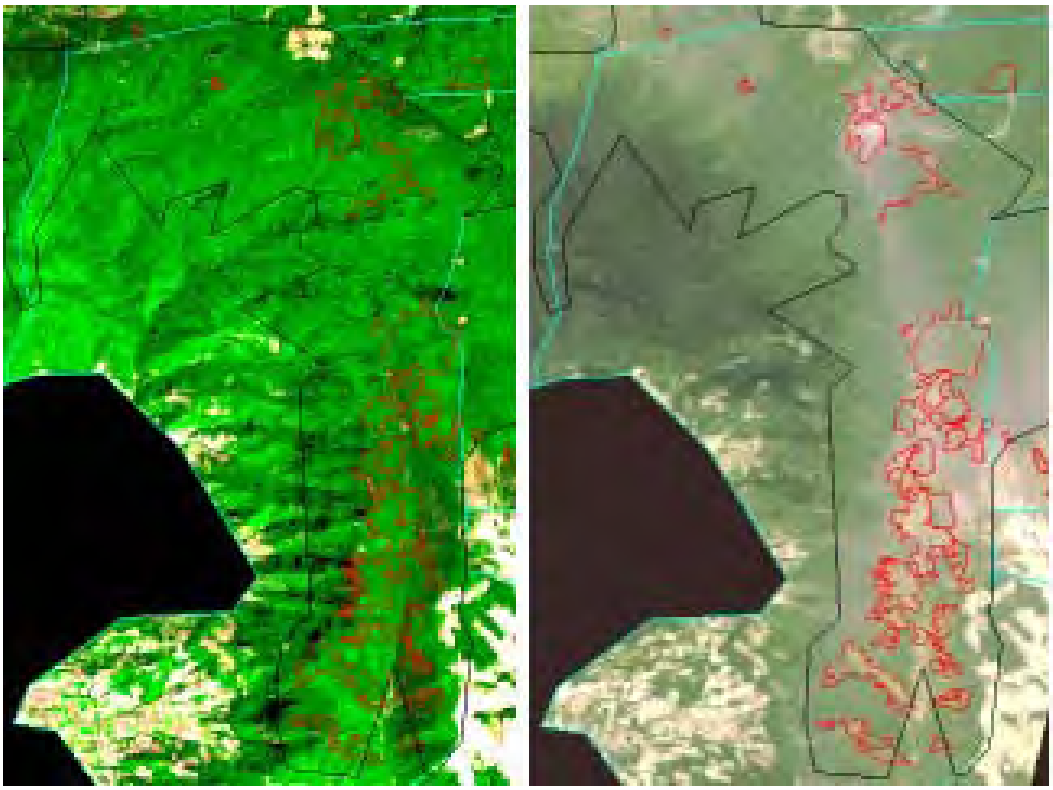

Figura 17. Cambios de cobertura en la zona núcleo al sur del ejido Crescencio Morales. Imagen SPOT5 febrero 2006 (der.) y SPOT5 diciembre 2006 (izq.).

La zona montañosa del ejido Crescencio Morales es una de las más húmedas de la región y por tanto se forma alta nubosidad. Esta es la razón de que la imagen SPOT5 de 2007 tenga niebla y bruma lo que dificultó la interpretación. Afortunadamente, para esta parte de la RBMM se obtuvieron fotografías aéreas digitales del 6 de abril de 2007, que apoyadas con la imagen Spot5 de diciembre de 2006 y abril de 2007, permitieron hacer la separación de las áreas afectadas. El

análisis se dificultó debido a que se detectaron cambios entre la imagen SPOT5 de diciembre de 2006 y la de abril de 2007 (cuatro meses). Esto denota lo acelerado de la tala en esta zona.

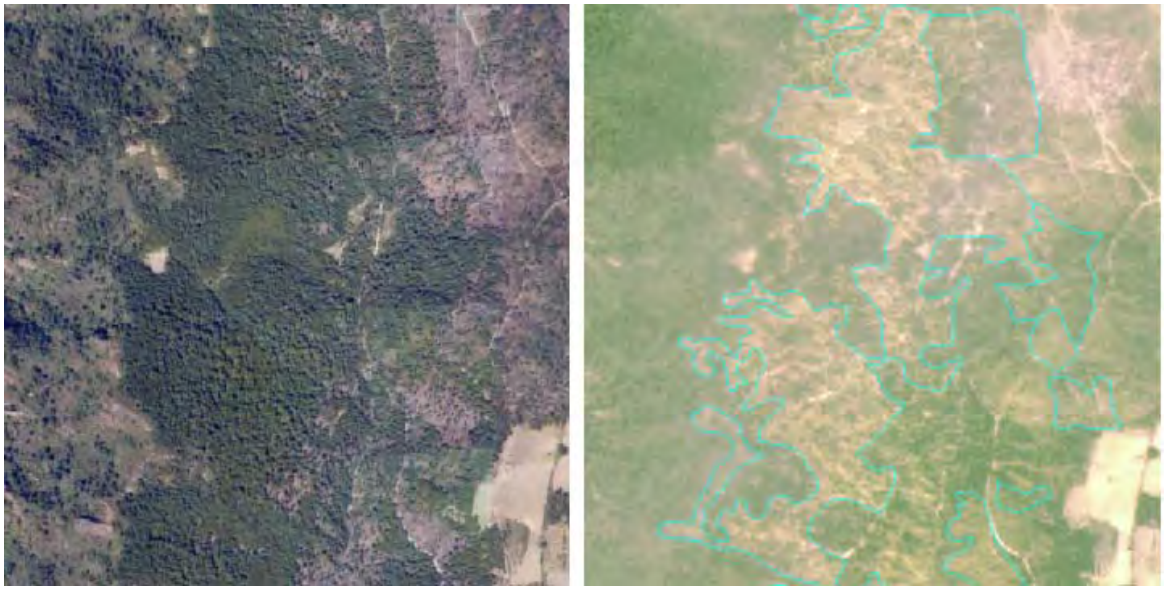

Figura 18. Zona de cambios intensos (de categoría Cerrada a Muy abierta y Deforestado) en el ejido Crescencio Morales. Mosaico digital de 2006 (izq.) e imagen Spot5 de 2007 (der.).

Para esta zona también se utilizó la interpretación comparativa con fotografías aéreas digitales de 2006 y 2007, lo que permitió afinar la identificación de cambios (Figuras 19 y 20).

Figura 19. Comparación aerofotográfica en el ejido Crescencio Morales 2006-2007.

Figura 20. Evidencias de tala en el ejido Crescencio Morales.

Figura 21. Comparación de fotografías digitales 2006 (izq.) y 2007 (der.), en el ejido Crescencio Morales.

Los materiales piroclásticos (pumitas y cenizas volcánicas), son vulnerables a erosionarse en forma natural, debido que no tienen mucha cohesión, pero cuando se encuentran bajo una cubierta forestal densa, son muy estables y funcionan como zonas de recarga de acuíferos. Cuando son deforestados son muy susceptibles a la erosión y degradación del paisaje, aún en terrenos con poca pendiente, su estado natural es hidratado y la reacción es irreversible, por tanto, al ser deforestados están condenados a erosionarse, a menos que se tomen las medidas necesarias para su protección (Figura 22).

Figura 22. Materiales piroclásticos, muy susceptibles a la erosión cuando son deforestados. Zona al sur del ejido Crescencio Morales.

Figura 23. Cambios en la Comunidad Indígena de Nicolás Romero.

En el análisis en pantalla de las imágenes de la Comunidad Indígena de Nicolás Romero se tuvieron algunas separaciones confusas a nivel de categorías, debido principalmente a la bruma y nubes de la imagen de 2007 en ese sector. Las dudas fueron despejadas en el trabajo de campo. El 12 de junio de 2007, conjuntamente con representantes de la comunidad, la Dirección de la Reserva y el Fondo Monarca se realizó un recorrido de verificación. Aquí se comprobó que en los sitios con cambios detectados en las imágenes hay gran alteración en la cobertura forestal, principalmente en las laderas, que ahora tienen escasa vegetación y procesos de erosión acelerada. De continuar esta tendencia, se ponen en peligro los asentamientos humanos ubicados en la parte baja (localidad "Campamento 4"). Esta zona tiene fuertes pendientes (más de 35°), además la vegetación refleja que es atacada frecuentemente por tala e incendios forestales.

Figura 24. Áreas de tala en la Comunidad Indígena Nicolás Romero. Recorrido de verificación de campo (12 de junio de 2007).

Lo mismo sucede en el predio identificado como “Litigio1”, donde la presencia de árboles secos pudiera enmascara el cambio en algunas secciones. No obstante, en la parte sur se aprecian cambios de cobertura con absoluta certeza (Figuras 25).

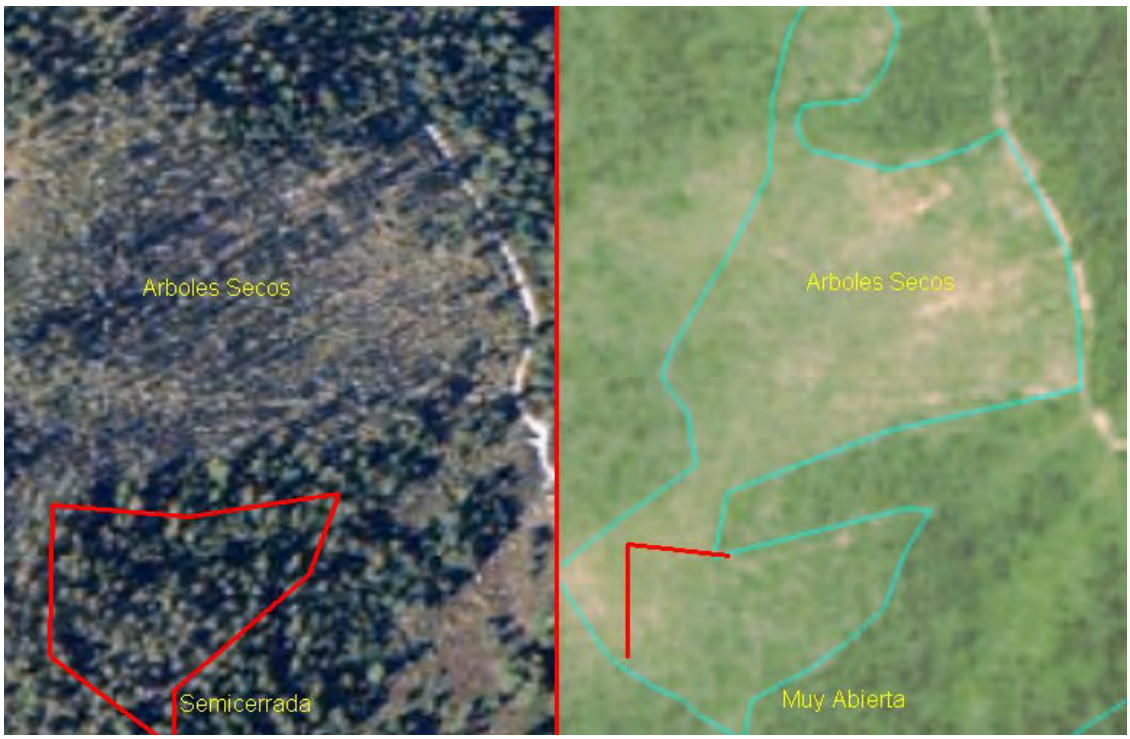

Figura 25. Ampliación de la zona de cambios en Litigio 1. Foto aérea 2006 (izq.) e imagen SPOT5 (der.). Al norte de la imagen se ubican árboles secos y al sur cambio de cobertura Semicerrada a Muy abierta.

4.2 Índice de Alteración

Los cambios hasta ahora presentados son cualitativos, por lo que se diseño un índice que pudiera cuantificar el grado de alteración, que considera en cada predio simultáneamente la superficie y el grado de afectación o intensidad de la perturbación. De esta forma se puede estimar el efecto que los cambios detectados tienen sobre la RBMM. En términos generales, se encontró que las mayores superficies tienen mayor índice de alteración, lo cual es indicativo de que la tala que principalmente afecta a la RBMM es de "gran escala y de carácter ilegal y no la tala hormiga.

4.2.1 Zona de Amortiguamiento

En la tabla 19, se presentan los resultados del Índice de alteración. Esta es una aproximación a la intensidad de la tala o grado de perturbación forestal, que en la zona de amortiguamiento generalmente es originada por el aprovechamiento forestal legal. En la zona de amortiguamiento el máximo valor lo obtuvo el ejido El Paso (72.44), pero si se estandarizan los valores por la superficie afectada tiene un grado de alteración de 2.00 (Medio); el mismo valor promedio para todos los predios. Con la estandarización vemos que los predios con el máximo valor (3.00) fueron: San Juan Zitácuaro, "Sin dato", Rosa Azul, San Jerónimo Pilitas y San José Corrales. Únicamente hay certeza de que en San Juan Zitácuaro se trata de un aprovechamiento forestal legal. Para el resto de los predios, la Dirección de la Reserva, a la fecha de elaboración del presente reporte, aún no tenía la relación completa de aprovechamientos vigentes dentro de la zona de amortiguamiento de la Reserva.

Tabla 19. Índice de alteración en zona de amortiguamiento.

Predios	ha	Índice	Índice/ha
El Paso	36.19	72.44	2.00
Propiedad Privada 3	20.87	40.29	1.93
El Depósito	12.97	31.75	2.45
Las Rosas 2	8.63	17.80	2.06
Crescencio Morales	7.25	9.40	1.30
Hervidero y Plancha	2.84	4.89	1.72
Rondilla	1.57	3.12	1.99
Fracción Corral Viejo	1.23	2.45	1.99
San Juan Zitacuaro	0.48	1.44	3.00
San Juan Xoconusco	0.56	1.19	2.13
Pueblo de Angangueo	0.40	0.91	2.28
Sin dato	0.29	0.87	3.00
Ampliación Concepción del Monte	0.68	0.68	1.00
Rosa Azul	0.20	0.60	3.00
1ª. Fracción Calabozo	0.20	0.59	2.95
San Jerónimo Pilitas	0.13	0.39	3.00
San José Corrales	0.08	0.24	3.00
San José Ixtapa	0.07	0.22	3.14
Las Rosas	0.18	0.18	1.00
Total	94.81	189.44	2.00

Cuando se analiza por coberturas forestales se aprecia que las secciones con cobertura Cerrada son las más afectadas, tanto en superficie como en intensidad de perturbación. Cuando se divide el índice entre la superficie, se obtiene para las coberturas Cerradas un valor de 2.17, pero el mayor alteración se da en las coberturas Semicerradas (Tabla 20).

Tabla 20. Índice de alteración en la zona de amortiguamiento.

Densidad	ha	Índice	Índice/ha
Cerrada	63.71	138.21	2.17
Semicerrada	5.15	14.61	2.84
Semiabierta	10.13	19.68	1.94
Abierta	14.13	15.25	1.08
Muy abierta	1.69	1.69	1.00
Total	94.81	189.44	2.00

4.2.2 Zona Núcleo

La zona núcleo es la que ha sufrido mayor afectación tanto en superficie como en intensidad del cambio. Es notorio el valor del índice estandarizado de 2.37 que ostenta el ejido Crescencio Morales, ubicándolo con el mayor grado de alteración y superficie en la Reserva. En promedio, para la zona núcleo se tiene un valor de 2.34 en el índice de alteración estandarizado (Tabla 21).

Tabla 21. Índice de alteración en zona Núcleo.

Predios	ha	Índice	Índice/ha
Crescencio Morales	199.94	473.63	2.37
Comunidad Indígena de Nicolás Romero	23.24	51.2	2.20
Litigio1	5	9.25	1.85
El Depósito	1.85	4.46	2.41
Senguio Ampliación	1.38	3.35	2.43
1ª. Fracción Calabozo	0.75	2.23	2.97
Sin dato	0.86	1.71	1.99
Chincua O.E. Zapata	0.29	0.88	3.03
Propiedad Federal	0.3	0.62	2.07
Ampliación la Mesa 3	0.32	0.52	1.63
Hervidero y Plancha	0.25	0.52	2.08
Donaciano Ojeda	0.07	0.2	2.86
Propiedad Estatal	0.01	0.03	3.00
Total	234.27	548.62	2.34

En el análisis por densidad de cobertura forestal en la zona núcleo, el índice estandarizado asciende a 2.60 en la categoría Cerrada y 2.54 en la Semicerrada, lo que indica que la mayor alteración se da en esas coberturas (Tabla 22).

Tabla 22. Índice de alteración en la cobertura forestal en zona núcleo.

Densidad	ha	Índice	Índice/ha
Cerrada	132.56	344.47	2.60
Semicerrada	54.48	138.18	2.54
Semiabierta	23.91	42.18	1.76
Abierta	18.71	19.18	1.03
Muy abierta	4.61	4.61	1.00
Total	234.27	548.62	2.34

5. Discusión

Para este estudio comparativo 2006-2007 se estableció una metodología que permitió la separación de cambios de manera satisfactoria, mediante la combinación de imágenes SPOT5 y un mosaico ortocorregido, así como las fotografías aéreas digitales.

El análisis de cambios 2006-2007 determinó la afectación de 329 ha para toda la RBMM, de las cuales el ejido Crescencio Morales es el predio con mayor afectación, tanto en deforestación (23.32 ha), como en degradación forestal (173.87 ha), dando un total de 207.19 ha (62.96% del área alterada).

En este ejido 126 ha de coberturas Cerradas y 40.62 ha de coberturas Semicerradas fueron afectadas, lo que habla de la intensidad de la tala clandestina, que en los últimos años (2003-2007), han alterado 776 ha de bosques conservados (López-García, en preparación), lo que representa el 13% del ejido. Cabe aclarar que este es el ejido con mayor superficie (5987 ha) y por tanto, los problemas que han originado esta afectación forestal es de carácter social, que debió haberse resuelto al apoyarlos para resolver los problemas de litigio, que no les permitió ingresar al programa de pago por servicios ambientales y de conservación, por tanto esta afectación es un resultado del mal manejo de las comunidades para proteger a la RBMM. No solo se perdieron estos recursos forestales, sino también, una de las colonias de mariposas monarca que se localizaba dentro del área talada.

Al hacer el análisis de la zona núcleo, las coberturas cerradas entre 2003 y 2007, se reportó 205.7 ha entre 2003 y 2005, (102.85 promedio anual); para 2005-2006 fue de 218.19 ha la mayor afectación en la historia de la Reserva y para 2006-2007 de tan solo 59.64 ha, lo que haría pensar que se esta reduciendo la tala, pero cuando se analiza en conjunto se aprecia que la afectación ha sido de aproximadamente 250 ha por año, siendo en periodo de 2005-2006, cuando se duplicó esta afectación.

Los cambios en zona núcleo de los predios que participan con el Fondo Monarca, solo se vieron afectados el Deposito con 1.85 ha, en la zona limítrofe con Crescencio Morales y que presumiblemente talaron en forma ilegal. También la Comunidad Indígena de Nicolás Romero tuvo afectación en 23.24 ha en zona núcleo, de las cuales 12.51 ha tuvieron una afectación fuerte al pasar de coberturas Cerradas y Semicerradas a Muy abierta y Deforestadas; 2.93 ha con alteración media y 7.79 ha con afectación baja.

Los resultados obtenidos son satisfactorios, toda vez que el análisis comparativo inequívocamente determinó los cambios, mismos que fueron constatados en campo, tanto los de tala ilegal como los de aprovechamiento en zona la de amortiguamiento. Difícilmente un análisis espectral, automatizado o aún supervisado, superaría estos resultados.

6. Conclusiones

Por primera vez se tiene un análisis de toda la RBMM, en años anteriores solo se había analizado la zona núcleo, por lo que ahora se cuenta con un estudio completo a nivel detallado. Esto garantiza el establecer una nueva línea de base a partir de 2006, por lo que este tipo de estudios son dinámicos. La metodología empleada en estos estudios no ha cambiado su esencia, continua siendo de carácter comparativo. Han cambiado los insumos, haciendo mas diversificado el análisis comparativo. Los estudios realizados en años anteriores con fotografías aéreas digitales también han mejorado su resolución espacial y actualmente combinadas con imágenes SPOT5 son una alternativa para determinar los cambios en la cubierta forestal. Aunado al proceso de mejora de la imagen SPOT5, que permitió garantizar que el análisis comparativo fuera exitoso. Aún quedan algunos problemas por resolver como son que las fechas de las imágenes sean del mismo periodo fenológico, para lograr hacer un análisis comparativo de carácter espectral.

El análisis de este periodo permite concluir que la tala se redujo en los predios sujetos a pago por servicios ambientales y fue recurrente en algunos ejidos como el de Crescencio Morales, quien manifestó las mayores afectaciones en zona núcleo, los cambios detectados en zona de amortiguamiento son en lo general aprovechamientos autorizados, por lo que se puede aseverar que los programas de conservación y pago por servicios ambientales has prosperado.

6.1 Lecciones aprendidas

El análisis multitemporal con imágenes de satélite SPOT5 por sus respuestas espectrales son útiles para detectar cambios en densidad de cobertura forestal, pero las imágenes deben ser de la misma época, con el mismo nivel de procesamiento y libres de nubes y sombras de nubes para un correcto co-registro. La creación de un algoritmo para llevar la imagen SPOT5 a una resolución de 3 m/píxel (originalmente en 10m/píxel) y una composición en color natural (originalmente sólo con tres bandas), fue de gran ayuda para finalizar con éxito este estudio.

El análisis multitemporal de las imágenes SPOT5 con las fotografías aéreas digitales permitió determinar con precisión los cambios en cobertura forestal ya que se utiliza una comparación por interpretación visual, a diferencia de las imágenes cuando son interpretadas espectralmente, lo cual está en función de varios parámetros. Por tanto, es recomendable la combinación de materiales, bajo el mismo método comparativo de cambios, siendo lo más apropiado para los fines que se persiguen es estos estudios.

6.2 Limitaciones u obstáculos al proyecto:

Para el análisis con SPOT5, la mayor limitante estuvo en los materiales entregados al consultor para realizar el análisis comparativo: imágenes de épocas del año diferentes y se requerían dos escenas para cubrir la zona en estudio. La imagen de 2007 presentaba bruma y nubosidad, lo que hizo necesario la aplicación de filtros, pero aún así presentó dificultad para su interpretación visual.

Este inconveniente fue solucionado con las escasas fotografías aéreas del 2007 que coincidían con esta sección de nubes en las imágenes SPOT5. Estos procedimientos generaron que el tiempo para el procesamiento fuera muy corto y se dificultaran las entregas parciales. Pese a ello, las cifras de cambios en los predios sujetos a pago por No aprovechamiento forestal 2007 estuvieron antes de la sesión del Comité Técnico del Fondo Monarca para apoyar la toma de decisiones.

Para el análisis con fotografías aéreas digitales, el problema central fue la complejidad para la realización del vuelo. A pesar de que en años previos se habían tenido problemas, este año, con la entrada en funcionamiento de la terminal número 2 del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, las posibilidades de realizar el vuelo se restringieron en exceso. Afortunadamente, una de las veces que la oficina de Tráfico Aéreo permitió volar al equipo, se tomó una línea de vuelo en la zona con los mayores cambios detectados y que en las imágenes SPOT5 presentaba nubosidad. Esto fue un elemento crucial para el análisis de cambios 2006-2007.

Este tipo de estudios no son de carácter mecánico, son verdaderas investigaciones, que muchas veces son minimizadas por carecer de bases para su entendimiento y que nunca es igual una a la siguiente, por tanto se requiere creatividad y una mente amplia para entender el problema y tratar de resolverlo.

Continuidad

Para un siguiente análisis sería conveniente que la época del año de las imágenes SPOT5 fuera similar en 2007 y 2008, con el mismo nivel de corrección y libre de nubes, para garantizar una buena comparación. La planeación del vuelo debiera ser asegurado y la contratación del proyecto con mayor antelación, al menos en diciembre, para que se realice el vuelo en enero o febrero y se tengan resultados en abril o mayo. Es recomendable validar el análisis de cambios con las imágenes SPOT5, utilizando un método combinado a partir de fotografías aéreas digitales.

Agradecimientos

Biólogo: Armando Peralta Higuera, quien realizó el vuelo aéreo.
Técnico Forestal: Valdemar Coria Tapia, por la interpretación de fotografías aéreas.
Maestro en Geomática: Ramiro Luis Cartagena Chávez, por el procesamiento de las imágenes SPOT5 y la creación del algoritmo para procesar la imagen SPOT5 a color natural.
Geógrafo: Gabriel Sánchez Rivera, por manejo del Sistema de Información Geográfica.

Referencias

Brower, L.P; G. Castilleja; A. Peralta; J. López-García; L. Bojórquez-Tapia; S. Díaz; D. Marmolejo y M. Missrie. 2002. Quantitative Changes in Forest Quality in a Principal Overwintering Area of the Monarch Butterfly in México, 1971-1999. Conservation Biology.2: 346-359.

Diario Oficial. 2000. “Decreto de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM).” Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. México, D.F., 10 de noviembre de 2000.

Fay & Olander, 2004. Ikonos satellite change analysis 2003-2004 Monarch Butterfly Reserve. Report compiled for WWF-Mexico.

Honey-Rosés, J., E. Rendón, J. López, A. Peralta, P. Ángeles, I. Contreras C., Galindo-Leal 2004. "Monitoreo Forestal del Fondo Monarca 2003" WWF Programa México. (Informe)

Jensen, J.R., 2004. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective, 2nd Ed., Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 592 pages.

Lillesand, T.M. y Kiefer, R.W. 2000. Remote Sensing and Imagen Interpretation, 4ª. edition, New York, John Wiley and Sons.

López-García, J. 2003. Informe técnico para World Wildlife Fund-México (WWF) inédito.

López-García, J. 2005. Informe técnico para World Wildlife Fund-México (WWF) inédito.

López-García, J. 2006. Informe técnico para World Wildlife Fund-México (WWF) inédito.

Ramírez, M. I. y Zubieta R., 2005. Informe técnico para World Wildlife Fund-México (WWF) inédito.