

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN FORESTAL CON FOTOGRAFÍAS AÉREAS DIGITALES DE ALTA RESOLUCIÓN

J. López-García.

*Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria.
C. P. 04510. Coyoacán. México D. F. jlopez@servidor.unam.mx*

RESUMEN

Se han realizado evaluaciones sistemáticas de la degradación de los bosques por tala ilegal e incendios realizados entre 2003 y 2008 en la Reserva de la Biosfera Mariposa, en los estados de México y Michoacán, México. Se desarrolló una metodología confiable que permitiera su aplicación en estudios sucesivos, basado en el uso de fotografías aéreas digitales de alta resolución. El método consiste en la interpretación de estereo-pares de diferente año para determinar cambios en la densidad de cobertura. Los resultados son vectorizados sobre orto-mosaicos digitales en un GIS, donde se comparan contra la fotointerpretación del año anterior, se cuantifican los cambios y se analiza su distribución.

ABSTRACT

Systematic evaluations of forest degradation by illegal logging and fires were performed between 2003 and 2008 in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, in the states of México and Michoacán, in México. A standard methodology was devised and equally applied in successive studies, based in the use of images produced by small-format digital cameras. Visual interpretation of stereo-pairs of different years is used to detect changes in vegetation coverage to assign areas to discrete degradation classes. The results are then vectorized over a base orthomosaic and incorporated in a GIS, where they are compared against the results of previous years, in order to measure areas and analyze their distribution.

Palabras clave: degradación forestal, reserva de la biosfera, fotointerpretación, densidad de cobertura, dinámica de cambio.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los bosques se encuentran bajo la influencia humana por diferentes motivos y factores, lo que ha propiciado en primera instancia la degradación y deforestación de zonas boscosas, aún en Áreas Naturales Protegidas, como es el caso de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM), donde la tala clandestina es el principal problema de conservación para el proceso de hibernación de la mariposa monarca. Por tanto se diseñó una metodología que permitiera evaluar los cambios en la densidad de cobertura forestal entre 2003 y 2008. Para este estudio la deforestación es considerada como la disminución de la cobertura forestal a menos del 10% (FAO, 1995). En cambio la degradación forestal incluye cambios dentro del bosque que afectan negativamente la estructura y función del bosque (FRA, 2005). La RBMM, se localiza en el centro de México, entre los estados de México y Michoacán (Figura 1) tiene una superficie de 56,259 ha, dividida en zona de amortiguamiento (42,679 ha) y zona núcleo (13,580 ha). Está integrada por 93 predios: 59 ejidos, 13 comunidades indígenas y 21 pequeñas propiedades. Para la zona núcleo se tienen 21

ejidos, 7 comunidades indígenas y 3 pequeñas propiedades (SEMARNAT, 2001).

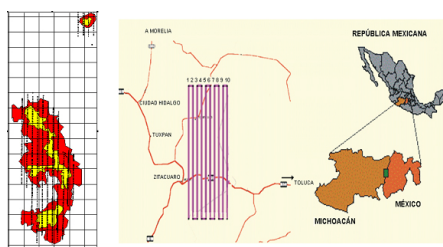


Figura 1. Ubicación de las líneas de vuelo en el área en estudio, entre los estados de México y Michoacán, México.

DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

Actualmente el uso de fotografías aéreas digitales ha adquirido relevancia, toda vez que reviste ventajas, en su bajo costo, resolución espacial y temporal. Además tienen la posibilidad de observación estereoscópica. Normalmente se evalúa el cambio de uso del suelo, pero no la degradación forestal.

PLANEACIÓN DEL LEVANTAMIENTO

Se han realizado varios levantamientos aerofotográficos entre 1999 y 2008 en la RBMM, entre enero y marzo de cada año. El plan de vuelo se mantuvo para todos las campañas aéreas realizadas, utilizando las técnicas convencionales para la toma de imágenes fotográficas, garantizando la sobreposición lateral y longitudinal. Las fotografías se van almacenando en un disco duro que se encuentra acoplada con la cámara y registra las coordenadas geográficas de cada escena mediante un sistema de posicionamiento global.

TIPO DE CÁMARAS UTILIZADAS

Las cámaras utilizadas en las tomas de las fotografías aéreas han variado aumentando su resolución espacial en función de la mejora tecnológica de las cámaras durante los últimos años, manifestada a través del aumento en el número de píxeles del sensor, en la sensibilidad, en la consistencia del color, en niveles de ruido más bajos y en el diseño optimizado de lentes y sitios fotosensibles en el sensor (Tabla 1).

Tabla 1. Comparación de cámaras y resolución espacial. 1. Más píxeles útiles que Kodak DCS 14nPro. 2. Se mejoró la calidad del lente).

Cámara	Año de vuelo	Cantidad de píxeles del sensor	Resolución aproximada en el terreno con una cobertura de 1700 x 1140 metros por imagen
Kodak DCS 420	1999	1.5	1.12
Nikon D1	2001	2.6	0.85
Nikon D1x	2003	5.3	0.6
Kodak DCS 14nPro	2005	13.7	0.4
Nikon D2x	2006	12.4	0.4
Nikon D2x (1)	2008	12.4 (2)	0.4

PROCESAMIENTO DE LAS FOTOGRAFÍAS

Una vez realizado el levantamiento, se hace un respaldo y con apoyo del software Adobe Photoshop, se procede a corregir las fotografías, rotando, si es necesario, para etiquetar al norte y renombrando las imágenes, se uniformizan los niveles de color, contraste y brillo, procurando que en cada uno de los ajuste no se exageraran las características del terreno mostradas en la imagen. Posteriormente se imprimen a una escala promedio de 1:10,000, tomando como base la misma zona para los diferentes años en el ajuste de escala (Figura 2). Se usa un macro para estas acciones.

MOSAICO ORTOCORREGIDO

Se elaboraron mosaicos ortocorregidos a partir de las fotografías aéreas digitales, con apoyo de ortofotos de 2 metros por pixel (INEGI, 1994) y

el modelo digital del terreno con curvas de nivel cada 20 metros en NAD 27. Los mosaicos fueron elaborados con ERDAS, con un error medio cuadrático de 7 metros. Fue utilizado como mapa base, con una resolución de 1 m X 1 m por píxel, para transferir la información resultado de la fotointerpretación de los diferentes años, también sirvió de referencia cualitativa y visual del estado de la cubierta forestal.

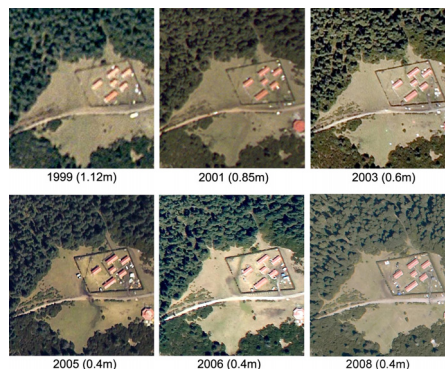


Figura 2. A partir de 0.60 m/píxel (imagen de 2003) pueden distinguirse inequívocamente árboles individuales y con 0.40 m/píxel se aprecia la estructura de los árboles individuales y se facilita la interpretación de rasgos como matorrales, árboles pequeños, vehículos, árboles derribados, restos en sitios de corte de madera y senderos pequeños bajo el dosel vegetal.

LÍNEA DE BASE

Se utilizó como línea de base el análisis de 2003, que contiene los tipos de vegetación y densidad de cobertura y sobre éste se realizan la resta de cambios de 2003-2005. De esta manera se van actualizando las coberturas en cada análisis. Los polígonos resultantes se asocian a las zonas núcleo y amortiguamiento y a la tenencia de la tierra para completar el análisis. Los datos de la tabla fueron exportados a una base de datos en Excel, donde se creo una tabla dinámica y se analizaron los datos.

INTERPRETACIÓN Y COMPARACIÓN DE LAS SERIES FOTOGRÁFICAS.

Se distinguen dos procesos en esta etapa de la metodología: la fotointerpretación convencional realizada para 2003 y la comparación entre series de fotografías 2003-2005, 2005-2006, 2006-2007 y 2007-2008 de estos dos se deriva la interpretación comparativa. Para 2007, no se

completo el levantamiento, por lo que se utilizó una imagen SPOT5, llevada a color natural y a una resolución de 3m/píxel. El análisis comparativo se realizó con fotografías 2006 contra la imagen SPOT5 2007 y se corroboró con fotointerpretación comparativa 2006-2008, detectándose pequeños falsos cambios y la delimitación mas precisa con las fotografías digitales.

FOTOINTERPRETACIÓN DE VEGETACIÓN Y DENSIDAD DE COBERTURA FORESTAL

Se elaboró una leyenda de los tipos de vegetación forestal presentes en la zona, separando en Bosques de Oyamel, Pino, Encino y sus asociaciones en función de su dominancia (Figura 3). Se les asignó 5 niveles de coberturas arbóreas: Cerrada >80%; Semicerrada 55-79%; Semiabierta 30-54%, Abierta 10-29%, y Deforestado <10% (Brower et al. 2002).

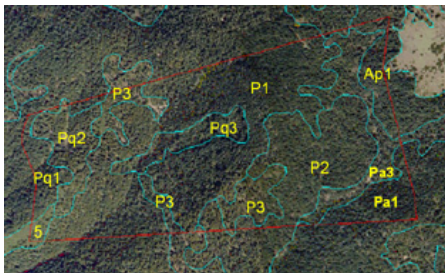


Figura 3. Área fotointerpretable y separación de tipos de vegetación (P= Pino, A= Oyamel, q= Encino) y densidad de cobertura forestal (1= Cerrada, 2= Semicerrada, 3= Semiabierta, 4= Abierta y 5 Deforestado).

El muestreo de campo determinó una densidad promedio de 500 árboles por hectárea. Se delimitaron otras unidades como uso del suelo, en donde se incluyen: matorral, pastizal, áreas agrícolas e infraestructura.

FOTOINTERPRETACIÓN COMPARATIVA

Considerando que en todos los levantamientos aéreos se ha utilizado el mismo plan de vuelo, las líneas de vuelo son coincidentes, es posible hacer una fotointerpretación comparativa, que consiste en formar un par estereoscópico con fotografías de diferente año, pero de la misma zona, logrando que exista paralaje, condición para la estereoscopia. Las fotografías son impresas en papel opalina a la misma escala (1:10,000), utilizando la misma zona para el cálculo de la escala, con lo cual se obtiene una escala promedio

(Figura 4). Mediante este procedimiento se pudo detectar las zonas de cambios al observar los pares estereoscópicos y delimitar en forma detallada sobre la fotografía los cambios, asignándole el nivel de cambio.

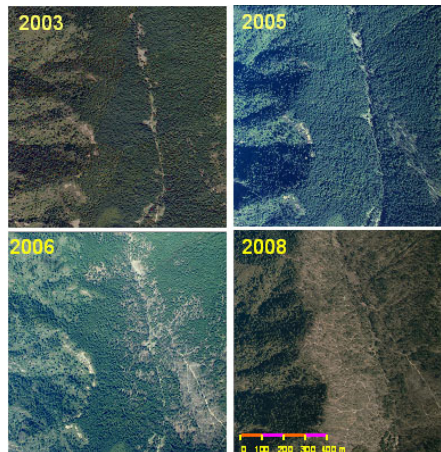


Figura 4. Comparación de cambios entre 2003-2005-2006 y 2008.

RESTITUCIÓN POR TRIANGULACIÓN RADIAL

La restitución normalmente se realiza con aparatos fotogramétricos como el Stereosketch, instrumentos de tercer orden. Pero considerando la cartografía básica a escala 1:50,000 con la que se cuenta y la escala de las fotografías 1:10,000 no procedía usar este método. Como un aporte a los procesos de restitución se diseñó la transferencia de la información en digital, esta fase consistió en transferir la interpretación realizada en acetatos sobre una pantalla plana de una computadora, escala 1:10 000, utilizando como mapa base un mosaico ortocorregido (elaborado a partir de fotografías aéreas digitales), igualando la escala promedio para cada fotografía y empleando el método de triangulación radial. Esto se logra, ya que como el mosaico se despliega en ArcGis, se ajusta la escala y se hacen coincidir los detalles de la fotografía a transferir con los rasgos del mosaico, como son del mismo año es muy sencillo ubicar los detalles en el mosaico respecto a la fotografía, ya que se tienen tantos puntos de apoyo como píxeles hay. Todo el espacio del mosaico está ocupado por detalles fotográficos del terreno en forma georeferenciada y por tanto en una maqueta del terreno con gran potencial. En algunos casos fue necesaria la utilización de fotografías en infrarrojo

para hacer el análisis comparativo, permitiendo la correcta separación de los cambios en la densidad de cobertura forestal (Figura 5).

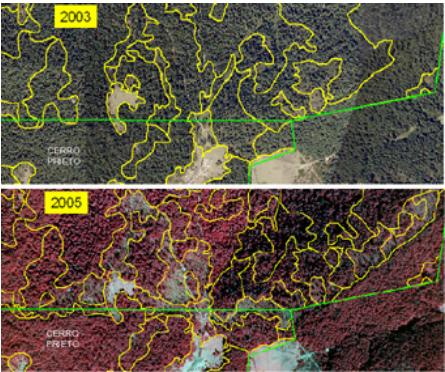


Figura 5. Cambios en la densidad de cobertura forestal entre 2003 y 2005, utilizando fotografías aéreas digitales, 2003 en color y 2005 en infrarrojo.

ANÁLISIS COMPARATIVO

El mapa de vegetación y cobertura de 2003 sirvió como mapa base, ya que se determinaron los cambios entre 2003 y 2005, mismos que fueron restados al de 2003, con lo que se obtuvo el mapa de 2005, la ventaja de usar de base 2003, permite reducir falsos cambios en las zonas sin cambios al hacer el cruce. Posteriormente se determinaron los cambios 2005-2006 y estos fueron restados al mapa de 2005, obteniendo el mapa de coberturas y vegetación 2006; para evaluar los cambios 2006-2007 (López-García, 2007), fue necesario el uso de una imagen de satélite SPOT5, a la que se le realizaron mejoras al aplicarle un algoritmo para llevarla a color natural y a 3 metros por píxel (Figura 6). La imagen de 2007 permitió hacer la comparación visual y obtener los cambios en este periodo, que fueron restados la cobertura de 2006 y se obtuvo las coberturas y vegetación de 2007; para tener los cambios de 2007-2008, se utilizó nuevamente la imagen SPOT5 para hacer la comparación, pero los resultados no eran muy confiables, por lo que se procedió a realizar los cambios aerofotográficos entre 2006-2008, separando los cambios entre estos dos años, para después validar los cambios de 2006-2007 y restar éstos a los cambios de 2006-2008, resultando los cambios de 2007-2008, para este último análisis se hicieron mas cruces, pero fue satisfactorio, toda vez que se obtuvo la cobertura de 2008.

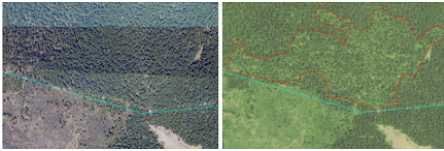


Figura 6. Comparación de cambios en densidad (Cerrada a Semiabierta) entre una fotografía (2006) y la imagen SPOT5 de 2007.

El resultado es la cuantificación de los cambios de densidad de cobertura forestal de diferentes años. Esto es utilizado por el Fondo Monarca para el pago por servicios ambientales, logrando reducir la tala en los predios que participan con el Fondo.

SUPERFICIE DE CAMBIOS EN LA ZONA NUCEO (ha)				
CAMBIO DE COBERTURA	2003-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008
Cerrada-Semicerrada	62	44	5	18
Cerrada-Semiabierta	70	70	25	21
Cerrada-Abierta	32	44	43	23
Cerrada-Deforestado	46	61	73	29
Semicerrada-Semiabierta	40	41	9	15
Semicerrada-Abierta	23	44	13	9
Semicerrada-Deforestado	21	38	26	10
Semiabierta-Abierta	22	50	26	22
Semiabierta-Deforestado	56	79	12	25
Abierta-Deforestado	101	67	21	26
Total	474	538	253	198

Tomando en cuenta que los cambios son dinámicos es necesario establecer una nueva línea de base en 2009, ya que hay cambios acumulativos que se detectan con más de 5 años, tanto positivos como negativos.

BIBLIOGRAFÍA

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.

FRA, 2005. *Term and definitions. Global Forest Resources Assessment Update*. Forestry Department. Food and Agriculture ONU, 33 pp.

FAO, 1995. *Evaluación de recursos forestales. Síntesis mundial*. Roma, Italia 48p

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*. Agosto, 2007. México, D.F.