

## **Estructura y densidad de la red de caminos en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca**

María Isabel Ramírez Ramírez\*  
Margarita Jiménez Cruz\*\*  
Anuar Iram Martínez Pacheco\*

Recibido: 12 de agosto de 2004  
Aceptado en versión final: 10 de junio de 2005

**Resumen.** Por ser parte fundamental de uno de los fenómenos de migración e hibernación más sorprendentes y llamativos del mundo, la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM) se ha convertido en una de las áreas naturales protegidas más emblemáticas de nuestro país. Sin embargo, sigue enfrentándose a serios problemas de fragmentación, perturbación y pérdida de sus bosques.

Uno de los elementos del paisaje que más se ha reconocido como causa y efecto de la perturbación y pérdida de espacios forestales son los caminos. Utilizando mosaicos elaborados con fotografías aéreas digitales de marzo de 2003, escala 1:20 000, y recorridos en campo registrados con GPS, se identificaron 20 574 km de caminos dentro de los límites de la RBMM; 55% del ellos son brechas y 37% veredas, ambos abiertos específicamente para el aprovechamiento forestal. Las carreteras pavimentadas y las terracerías representan, respectivamente, 2 y 6% de la red.

Esos 2 574 km de caminos se traducen en una densidad promedio de 4.7 km/km<sup>2</sup>. No obstante, el análisis a nivel de predio revela valores de densidad aún más altos, especialmente en el lado michoacano, que alcanzan hasta 13.6 km/km<sup>2</sup>. Asimismo, multiplicando los respectivos tipos de caminos por su ancho promedio de lecho, se encontró que 880 ha de la Reserva están ocupadas por caminos, lo cual tiene serias repercusiones sobre la vegetación, el suelo, la red de drenaje y la accesibilidad a los recursos.

**Palabras clave:** Ecología de caminos, densidad de caminos, áreas naturales protegidas, mariposa monarca.

## **Road structure and road density in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico**

**Abstract.** As an internationally known example of the phenomena of migration and hibernation, the Monarch Butterfly Biosphere Reserve (MBBR) has become one of the most emblematic Protected Natural Areas of Mexico. Nevertheless, the MBBR is still facing severe fragmentation, disturbance and loss of forest cover.

---

\*Instituto de Geografía, UNAM, Circuito Exterior, Cd. Universitaria, 04510, Coyoacán, México, D. F. E-mail: isabelrr@correo.unam.mx

\*\*CONABIO, Av. Liga Periférico Insurgentes Sur 4903, Parques del Pedregal, 14010, Tlalpan, México, D. F.

Roads are landscape elements well known as a cause of disturbance and deforestation. Using digital aerial photographs mosaics at 1:20 000 from March 2003, and GPS georeferenced tracks, we identified 2 574 kilometers of roads inside the MBBR limits; 55% are earthen roads and 37% are foot paths, both opened for firewood collection and utilization of wood products, whereas paved and gravel roads represent only 2% and 6%, respectively, of the road network.

These 2 256.3 kilometers of roads yield an average road density of 4.7 km/km<sup>2</sup>, but analysis at the scale of individual land holdings, particularly in Michoacan state, revealed even higher density values, up to 13.6 km/km<sup>2</sup>. Also, taking into account the average width of each roadbed type, we estimate that 880 hectares of the Reserve are covered by roads. That has consequences over the vegetation, soil, drainage and accessibility to resources.

**Key words:** Road ecology, road density, protected natural areas, monarch butterfly, Mexico.

## INTRODUCCIÓN

La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM) se rediseñó a finales del 2000 con la finalidad de proteger los sitios de hibernación de la mariposa monarca (*Danaus plexippus* L.) en México. No obstante, a pesar de ser un área natural protegida (ANP) desde 1980, esta reserva enfrenta serios problemas de fragmentación, perturbación y pérdida de sus bosques, debido principalmente a actividades forestales y agropecuarias, que pueden amenazar el fenómeno de hibernación de dicha mariposa (Brower *et al.*, 2002, Ramírez *et al.*, 2003).

Dichas actividades forestales y agropecuarias requieren necesariamente de vías de acceso y de transporte para sus productos, lo que ha dado lugar a la apertura de caminos. Además, los caminos forestales también se requieren para otras actividades, entre las que se encuentran el manejo silvícola, el control de incendios, plagas y otros elementos patógenos, la recreación y la conservación de la vida silvestre (Tchikoué, 2002; Buckley *et al.*, 2003). De tal manera, los caminos traen consigo diversos beneficios económicos, en relación con los costos de transportación; sociales, al ser vías de comunicación entre localidades; e, incluso, de conservación, como en la prevención y control de incendios.

Sin embargo, la apertura de caminos también provoca perturbaciones sobre los ecosistemas que atraviesan, las cuales suceden tanto al momento de su construcción como a corto y largo plazo. Algunos de los efectos ecológicos inmediatos provocados por la construcción de

caminos son: *a)* pérdida directa de hábitat y biota; *b)* cambios en la red hidrográfica; *c)* extracción y compactación de la capa edáfica, y *d)* modificaciones en los patrones de infiltración. Por su parte, entre los efectos a corto plazo destacan: *i)* cambio en las condiciones microclimáticas a lo largo del camino, en función de las dimensiones de éste; *ii)* cambios en la composición florística de las comunidades vegetales, dada tanto por la invasión de plantas exóticas como por la mortandad de especies nativas sensibles a la perturbación y a la expansión de las más adaptables; *iii)* pérdida y cambio de hábitos de la fauna por alteraciones en su hábitat, así como incremento de la probabilidad de muerte directa o captura; *iv)* desencadenamiento de procesos geomorfológicos destructivos o de riesgo; *v)* facilidad de acceso a actividades humanas destructivas, como provocación de incendios y extracción excesiva o ilegal de recursos. Por último, como cambios a largo plazo se pueden señalar la continuación e incremento de todos los procesos anteriores (Gutman, 1986; Reid, 1997; Spellerberg, 1998; Peñaranda, 2000; Dajoz, 2002; Spellerberg, 2002).

A pesar de que existe una relación histórica bien documentada entre la existencia de los caminos y la perturbación de los bosques (Nepstad *et al.*, 2001), son apenas recientes los estudios que profundizan, cuantifican y señalan los efectos espaciales de esa relación (Spellerberg, 1998). El conocimiento de la estructura, densidad y funcionalidad de la red de caminos está cobrando cada vez más fuerza

en estudios ambientales. Dicho conocimiento es de primordial importancia en la aplicación de tareas de planeación, conservación, gestión, diseño y política ambiental; labores que se han convertido en el gran reto actual para la ciencia y la sociedad (Forman and Alexander, 1998).

Estudios en la línea del que aquí se proponen son muy escasos en México. Hay algunos pocos relacionados con cuestiones de planificación e ingeniería de la construcción de los caminos forestales, según los tipos y objetivos de éstos (Dal-Rene, 1996; Alcántara, 1999 y Tchikoué, 2002). Específicamente para la RBMM se carece de cualquier tipo de estudios relacionados con la red de caminos. Además la cartografía más detallada y reciente con que se cuenta, escala 1:50 000, actualizada a 1995 con fotografías aéreas 1:75 000 (INEGI, 2000), no es suficiente para explicar la accesibilidad a los recursos ni la fragmentación del bosque.

Por ello, el objetivo de este trabajo ha sido cartografiar, a escala detallada (1:25 000), los caminos actuales de la RBMM y los predios involucrados con ella, así como identificar su estructura y calcular su densidad. Todo ello como un primer paso para reconocer el papel que juega la red de caminos en el grado de conservación-perturbación de los bosques de la RBMM y las propiedades que la rodean.

## ÁREA EN ESTUDIO

El primer nivel de análisis está definido por los límites de la zona de amortiguamiento del bloque principal de la RBMM, decretados en noviembre de 2000. Esto corresponde a 54 498 ha (12 963 de zona núcleo más 41 527 de amortiguamiento) que representan el 97% de la superficie total de la reserva (56 259 ha). El 3% de la reserva que no se analizó se ubica en el área aislada del Cerro Altamirano. Para el segundo nivel de análisis se incluyeron los límites de 112 predios (ejidos, comunidades indígenas, propiedades privadas y terrenos en litigio) involucrados con dicho bloque

principal, 92 pertenecientes a la reserva y 20 más fuera de ella. Con esto se incrementó a 71 295 ha la superficie analizada, cuyas coordenadas extremas son de 19°18' a 19° 45' de latitud norte y de 100° 08' a 100° 24' de longitud oeste. En el área en estudio intervienen parcialmente cinco municipios de Michoacán: Angangueo, Aporo, Ocampo, Senguio y Zitácuaro; así como tres del Estado de México: Donato Guerra, San José del Rincón y Villa de Allende (Figura 1).

De manera general, el paisaje se caracteriza por un conjunto montañoso cubierto por bosques, que conforme descienden ladera abajo van siendo remplazados por cubiertas de uso agropecuario, hasta desaparecer por completo en las partes más bajas, de menor pendiente y llanas. Esta región, incluida en el Sistema Volcánico Transversal, se formó por la actividad volcánica del Terciario y Cuaternario. Su litología está compuesta mayoritariamente por materiales andesíticos y basálticos. A partir de esas rocas se han formado, principalmente, andosoles, acrisoles y luvisoles. Suelos ligeramente ácidos y con bajo contenido de nitrógeno, por lo que son poco favorables para el desarrollo agrícola y adecuados para sustentar vegetación leñosa. Sobre estos suelos se desarrolla un ecosistema templado-húmedo, compuesto por bosques de coníferas (*Abies*, *Pinus* y *Cupressus*) y bosques mixtos de coníferas y latifoliadas (*Quercus*, *Alnus*, *Arbutus*, etc.; Madrigal, 1994; Ramírez, 2001; Azcárate *et al.*, 2003).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo el trabajo se utilizó el siguiente material:

- Cartas topográficas 1:50 000 de INEGI, en formato digital. Hojas E14A25, E14A26, E14A35 y E14A36
- Conjuntos de datos vectoriales 1:50 000 de INEGI. Archivos E14A15, E14A16, E14A25, E14A26, E14A35 y E14A36
- Ortofotos de 1994 de INEGI, escala 1:20 000,

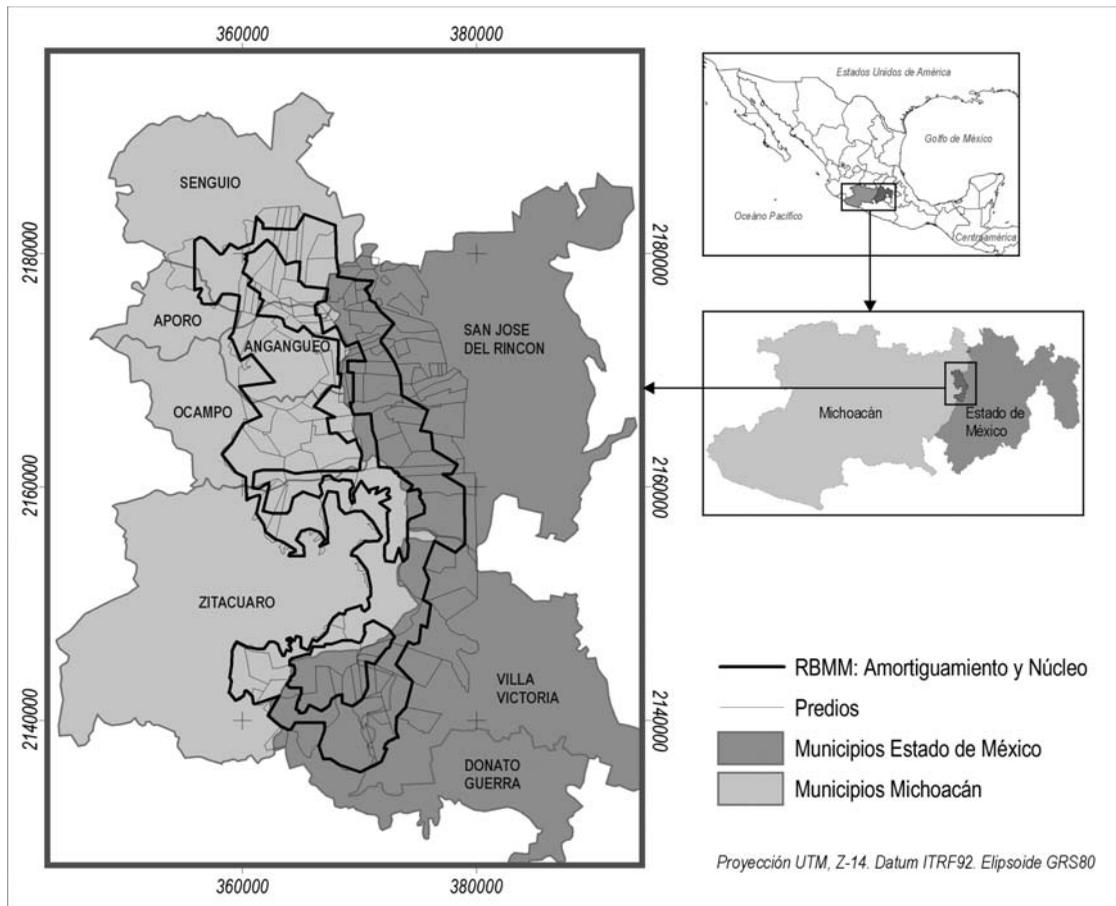


Figura 1. Área en estudio.

en formato digital. Archivos E14A26 (A), (B), (D) y (E); y E14A36 (A), (B), (D) y (E)

- Mosaicos digitales, elaborados con fotografías aéreas digitales de marzo 2003, de un metro de resolución y georreferenciados con base en las ortofotos del INEGI, proporcionados por WWF-México

- Imagen Ikonos de marzo 2004 georreferenciada, de 4 m de resolución, proporcionada también por WWF-México

Para la actualización de la red de caminos, en primer término se procedió a la recopilación, importación y homogeneización de sistemas de coordenadas de la información

digital correspondiente (proyección UTM, zona 14, datum ITRF92 y elipsiode GRS80 ). Tomando como base los archivos de vías de comunicación de los conjuntos vectoriales de INEGI y su tipología, se llevó a cabo la interpretación visual en pantalla de los mosaicos y de la imagen Ikonos.

De acuerdo con dicha clasificación de INEGI, la red de caminos se divide en carreteras, caminos y calles. A su vez, las carreteras pueden ser *pavimentadas*, cuando están cubiertas por un revestimiento de asfalto o concreto, o *terracerías*, cuando las cubre una capa de grava y arena compactadas. Los caminos pueden ser *brechas*, generadas con maquinaria pesada,

pero sin ningún tipo de cubierta, o *veredas*, abiertas con herramientas manuales y mantenidas por el paso continuo de personas o ganado. Las *calle*s son vías al interior de los núcleos poblacionales, que pueden tener, o no, cualquier tipo de cubierta.

A partir de lo anterior, se generó un mapa previo que luego fue verificado en campo. Se visitaron 48 propiedades, 39 incluidas en el área protegida y siete más fuera de ella. Se recorrió el 12.5% de los caminos fotointerpretados, donde se verificó el 57% de las carreteras pavimentadas, 37% de las terracerías, 10% de las brechas y 6% de las veredas interpretadas (Figura 2). Para ello se utilizaron equipos GPS

(*Global Positioning System*), Garmin III+, eTrex Legend y eTrex Vista. Los tres modelos son capaces de tomar sólo lecturas normales (no corregidas con estaciones en campo) con un nivel de exactitud entre 5 y 20 m, según las condiciones de pendiente del terreno y visión despejada del cielo.

Una vez verificado y corregido el mapa, y con la ayuda de un sistema de información geográfica (SIG; ArcView 3.2), se realizó el análisis de la estructura y de la densidad de la red caminos. Esta última definida como el promedio de la longitud total de caminos por unidad de área ( $\text{km}/\text{km}^2$ ; Forman, 2003).

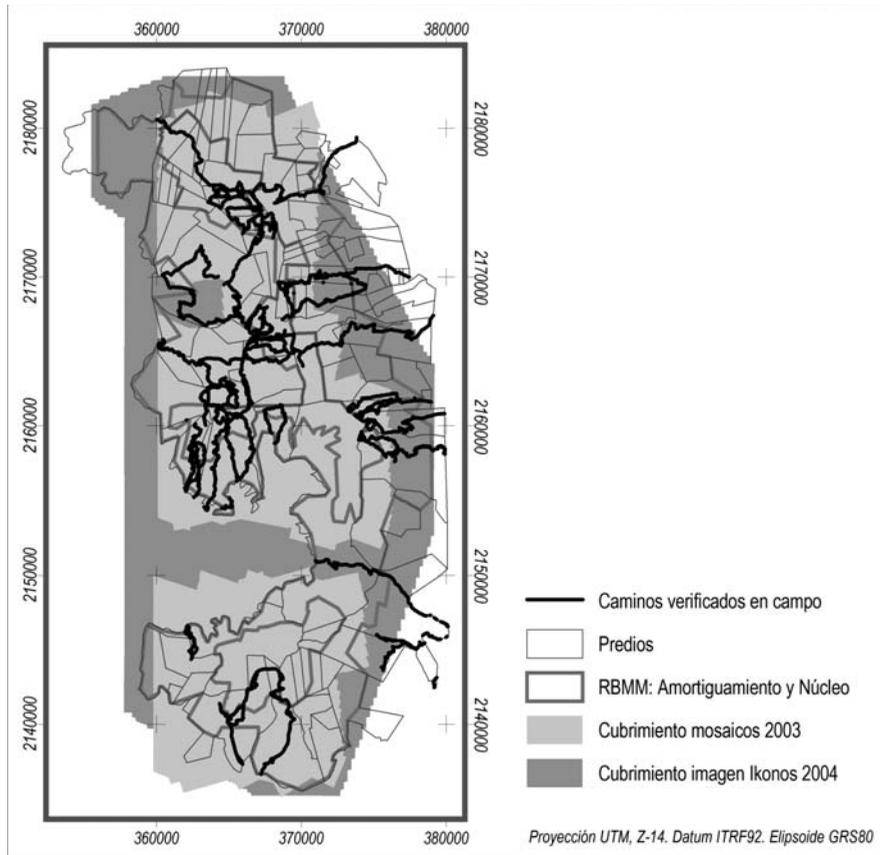


Figura 2. Cubrimiento de mosaicos de fotografías aéreas e imágenes Ikonos y verificación en campo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estructura de la red de caminos

Los caminos pueden ser clasificados de acuerdo con diversos criterios, legales o funcionales, aunque para analizar el papel que tienen en la Ecología del paisaje regularmente se requiere considerar más de uno a la vez (Forman, 2003). En este caso, se observó una estrecha relación entre el tipo de cubierta del camino y su funcionalidad. Así, las carreteras pavimentadas, que forman la red primaria, tienen como función primordial comunicar a las principales localidades y servir como vías para el intercambio de personas, bienes y servicios, dentro y fuera de la región. Los caminos de terracería, son vías secundarias de funciones similares a las anteriores, pero de flujos menores, que comunican a pequeñas localidades con la red primaria. Por su parte, las brechas representan vías de tercer orden, en nuestro caso caminos forestales, ya que en su gran mayoría han sido abiertas para el aprovechamiento comercial del bosque. En este mismo sentido, las veredas sirven para la extracción de recursos forestales, pero de consumo local o autocosumo (com. pers.).

De acuerdo con la red de caminos de los conjuntos vectoriales del INEGI, escala 1:50 000, dentro de los límites del bloque principal de la RBMM hay una red de 628 km, de los cuales 75% corresponden a veredas, 13% a brechas y el 12% restante a carreteras pavimentadas y de terracería. Según los resultados

arrojados por la fotointerpretación de los mosaicos digitales, escala 1:20 000, dicha longitud total se incrementa a 2 574 km. En este caso, las brechas son las más numerosas, con el 55% de la red registrada, con una longitud 17 veces mayor que lo mostrado por INEGI. Las veredas identificadas representan 37% de la red, mientras que las carreteras, pavimentadas y de terracería juntas, apenas alcanzan el 8% (Tabla 1 y Figura 3).

Esos 2 574 km de caminos, multiplicados por el ancho promedio de sus respectivos tipos, dan como resultado una superficie acumulada de 880 ha ocupadas. Como la superficie estimada guarda relación con la longitud por tipo de vía, son las brechas las que ocupan una mayor superficie del suelo con 568 ha, seguidas por veredas con 193, hasta terracerías y pavimentadas con 72 y 48 ha, respectivamente (Tabla 2). El 20% de esa superficie estimada (176 ha) se encuentra dentro de la zona núcleo. Por lo que, si se considera que dicha zona representa el 24% de la parte de reserva analizada (12 963 de 54 489 ha), no existe ningún patrón espacial en la red de caminos que diferencie entre el área núcleo y de amortiguamiento.

### Densidad de la red de caminos

La actualización de la red de caminos permitió calcular su densidad, la cual es una medida muy general pero importante para estimar el impacto potencial que pueden tener los caminos sobre los ambientes locales. Esto, de-

Tabla 1. Longitud por tipo de camino dentro de la RBMM, en kilómetros

Tipo de camino	1995		2003	
	Escala 1:50 000 INEGI		Escala 1:20 000 Identificación propia	
Pavimentado	28	(5%)	48	(2%)
Terracería	45	(7%)	143	(6%)
Brecha	82	(13%)	1 419	(55%)
Vereda	473	(75%)	963	(37%)
Total	628	(100%)	2 574	(100%)

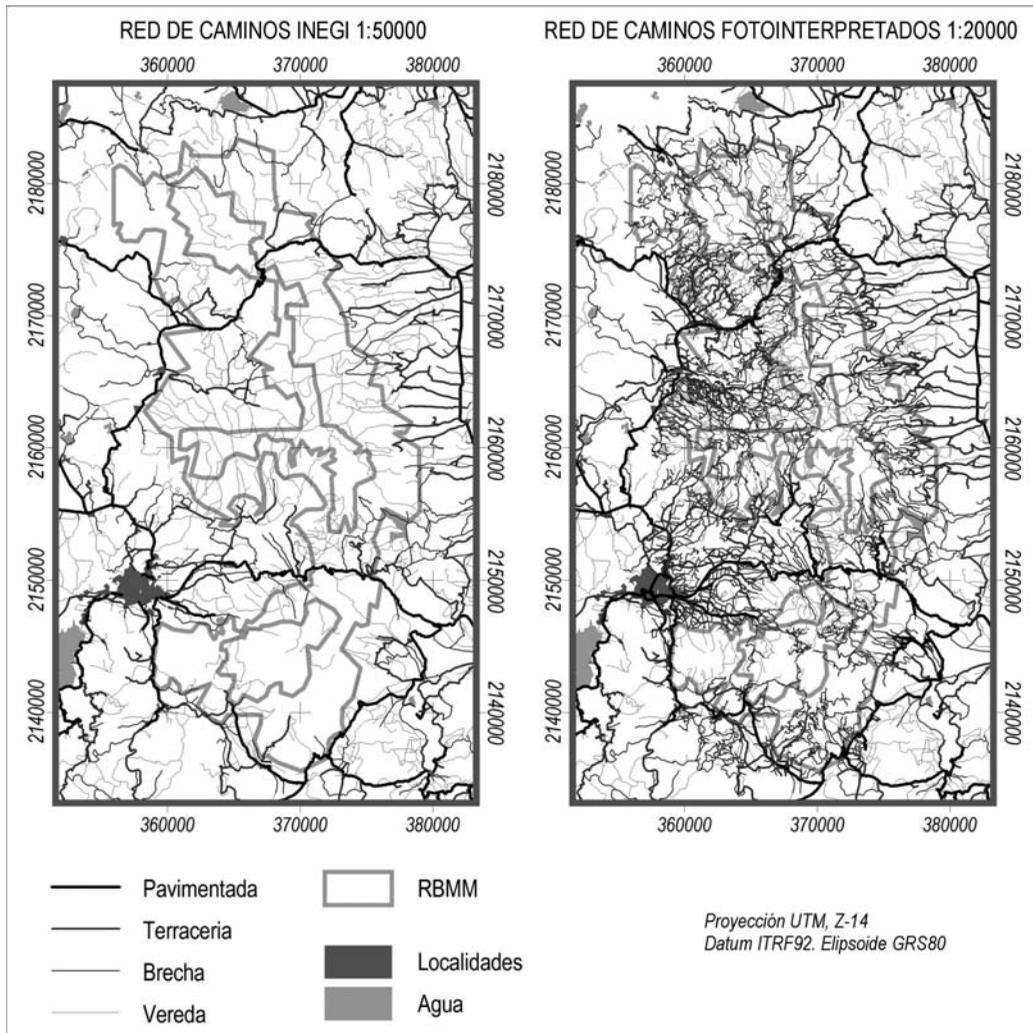


Figura 3. Red de caminos de INEGI (2000), escala 1:50 000, y red de caminos fotointerpretada, escala 1:20 000 (2004).

Tabla 2. Longitud y superficie estimada por tipo de camino por zona de la RBMM

Tipo de camino	Ancho promedio (metros)*	Zona Amortiguamiento		Zona Núcleo		Total	
		km	ha	km	ha	km	ha
		Pavimentado	45	45	3	3	48
Terracería	134	67	9	4	143	72	
Brecha	1 129	452	290	116	1 419	568	
Vereda	699	140	265	53	963	193	
<b>Total</b>		<b>2 008</b>	<b>704</b>	<b>566</b>	<b>176</b>	<b>2 574</b>	<b>880</b>

\* Según observaciones de campo.

bido a que los diversos efectos ecológicos causados por estas vías son sensibles al tamaño de la malla formada por la red y a la variabilidad de ella. Diferencias muy altas en las medidas de densidad implican, por una parte, la presencia de áreas extensas sin caminos, importantes para el mantenimiento de condiciones ecológicas clave y, por la otra, áreas muy perturbadas (Forman *et al.*, 2003). En este mismo sentido, Tchikoué (2002) menciona que en un área forestal es importante mantener una adecuada densidad de caminos para evitar impactos negativos al ambiente.

De acuerdo con los resultados, la densidad promedio de la red de caminos dentro de los límites del bloque principal de la RBMM es de 4.7 km/km<sup>2</sup>. Cifra muy elevada para el área protegida si se considera que, según Tchikoué (*Ibid.*), en áreas de aprovechamiento forestal, una densidad mayor de 4 km/km<sup>2</sup> (40 m/ha) en ambientes montañosos puede desencadenar procesos erosivos severos.

Esa cifra de 4.7 km/km<sup>2</sup> se debe básicamente a la abundancia de brechas y veredas, las cuales presentan valores de 2.6 y 1.8 km/km<sup>2</sup>, respectivamente. En el caso de las brechas, la densidad es más alta en la zona de amortiguamiento, llegando a los 2.7 km/km<sup>2</sup>. No así las veredas, que son ligeramente más abundantes en la zona núcleo, con un valor de densidad de 2.2 km/km<sup>2</sup>. Por su parte, la presencia de carreteras pavimentadas y de terracería dentro de los límites del área protegida es relativamente escasa, con un promedio de 0.1 y 0.3 km/km<sup>2</sup>, en cada caso, la mayor parte de

ellas ubicadas en la zona de amortiguamiento (Tabla 3).

Además, si se analiza la red de caminos en unidades espaciales de menores dimensiones, destaca la heterogeneidad tan amplia en los valores de densidad (Figura 4a). Haciendo los cálculos por predio, encontramos diferencias y patrones espaciales muy significativos. Aunque a este nivel la superficie analizada incluye más laderas de menor pendiente, el promedio de la densidad de la red general incluso disminuye un poco, quedándose en 3.9 km/km<sup>2</sup>. Según la clasificación de los valores, en relación con unidades de desviación estándar, se tiene que poco más de la mitad de los predios (68) se encuentran por debajo de la media. Del resto, que está por encima de ese valor, destaca la predominancia de valores muy altos del lado de Michoacán, especialmente en las cercanías de Ocampo y Anganguero, donde con frecuencia se alcanzan densidades en torno a los 10 km/km<sup>2</sup>. Asimismo, esos valores en pocos casos son homogéneos dentro de una misma propiedad, ya que incluso se llegan a encontrar desde densidades muy bajas hasta muy altas en un mismo predio, especialmente en los de mayores dimensiones (Figura 4b).

Existen también diferencias en la distribución de la densidad según el tipo de camino. Así, en los predios por los que pasan las carreteras, éstas alcanzan densidades de 0.1 hasta 1.1 km/km<sup>2</sup>, con excepción de una propiedad menor de 120 ha donde se alcanzan 2.4 km/km<sup>2</sup> (Figura 5a). Dada la conexión entre carreteras de primero y segundo grado, el caso de

Tabla 3. Densidad de la red por tipo de camino en la RBMM, km/km<sup>2</sup>

Tipo de camino	Zona Amortiguamiento	Zona Núcleo	Total
Pavimentadas	0.1	0.02	0.1
Terracerías	0.3	0.1	0.3
Brechas	2.7	2.2	2.6
Veredas	1.7	2.0	1.8
Total	4.8	4.4	4.7

las terracerías es similar al anterior, tanto en sus valores de densidad como en su distribución (Figura 5b). No así las brechas y veredas, que, debido a su abundancia, presentan un patrón espacial muy parecido al de la red general: predominancia de valores altos y muy altos del lado de Michoacán y mayoría de densidades por debajo de la media del lado del Estado de México. Estos valores oscilan de 0.5 a 11.5 km/km<sup>2</sup> en el caso de la brechas, y de 0.3 a 4.8 km/km<sup>2</sup> para las veredas (Figura 4c y d).

Lo anterior refleja, por una parte, la escasa infraestructura de comunicación en la mayoría de las localidades de la zona y, por la otra, la elevada presión que puede existir sobre la vegetación y el suelo de buena parte de la reserva. Además de que los patrones espaciales de la densidad de caminos están más relacio-

nados con la división política que con las zonas núcleo y de amortiguamiento de la reserva.

### Caminos y perturbación del bosque

Tchikoué (2002) menciona que la construcción de los caminos forestales debe tener una planificación cuidadosa e integrada, planes de desmonte, alternativas de extracción y construcción esmerada. También sugiere una densidad de la red caminera menor de 40 m/ha (4 km/km<sup>2</sup>) en terrenos montañosos, y en caso de que sea mayor, realizar las cortas en pequeñas superficies, para evitar una erosión generalizada en la zona. Condiciones que no parecen haberse tenido en cuenta en la mayoría de los predios con densidades de cami-

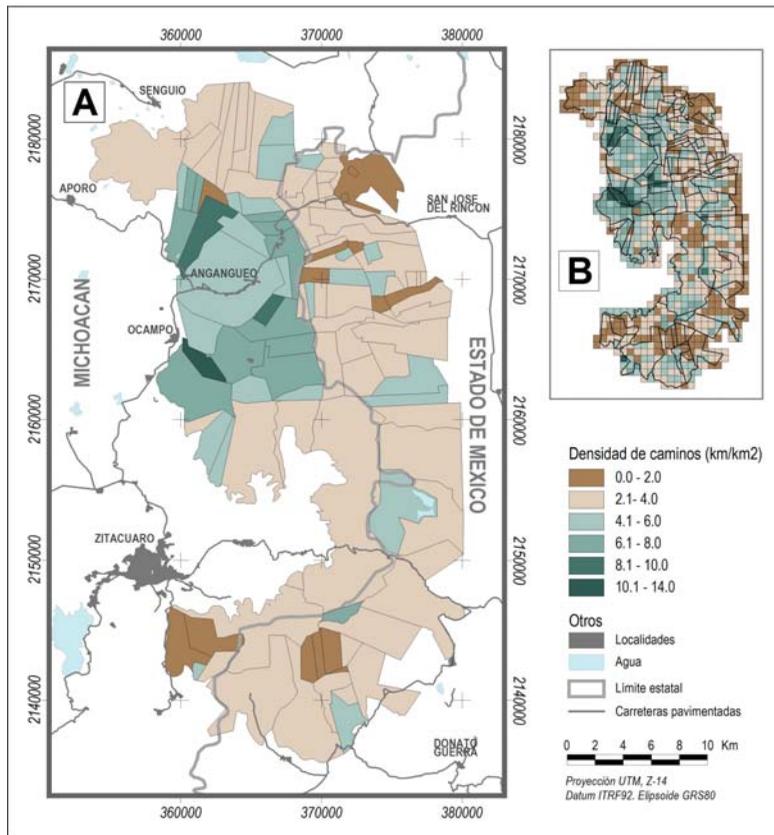


Figura 4. Densidad de caminos (km/km<sup>2</sup>) por predio (A) y por kilómetro cuadrado (B).

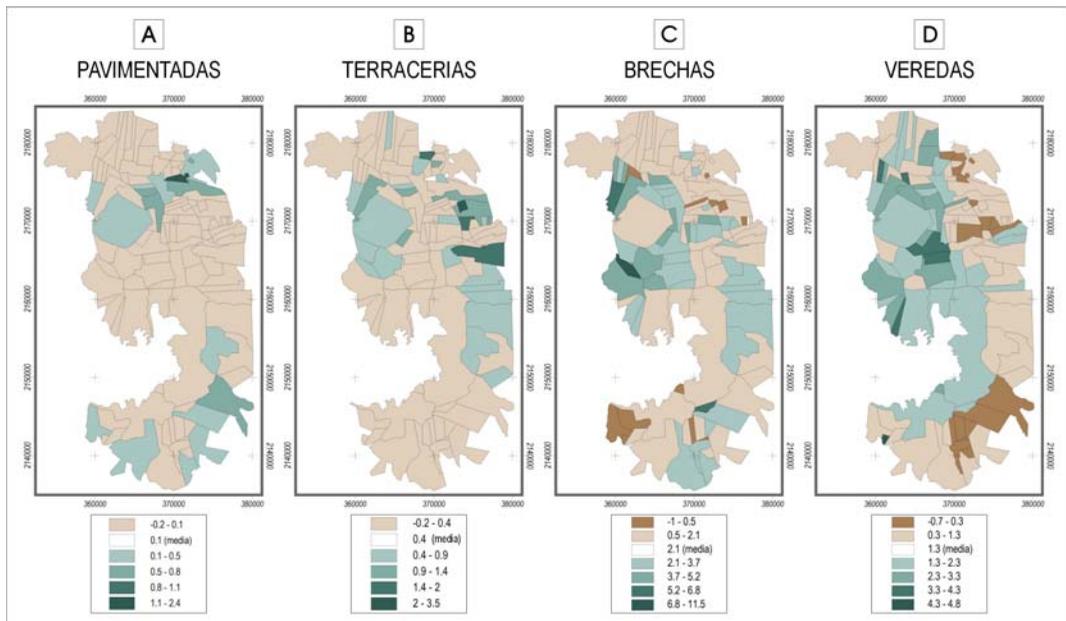


Figura 5. Densidad por predio según tipo de camino (km/km²).

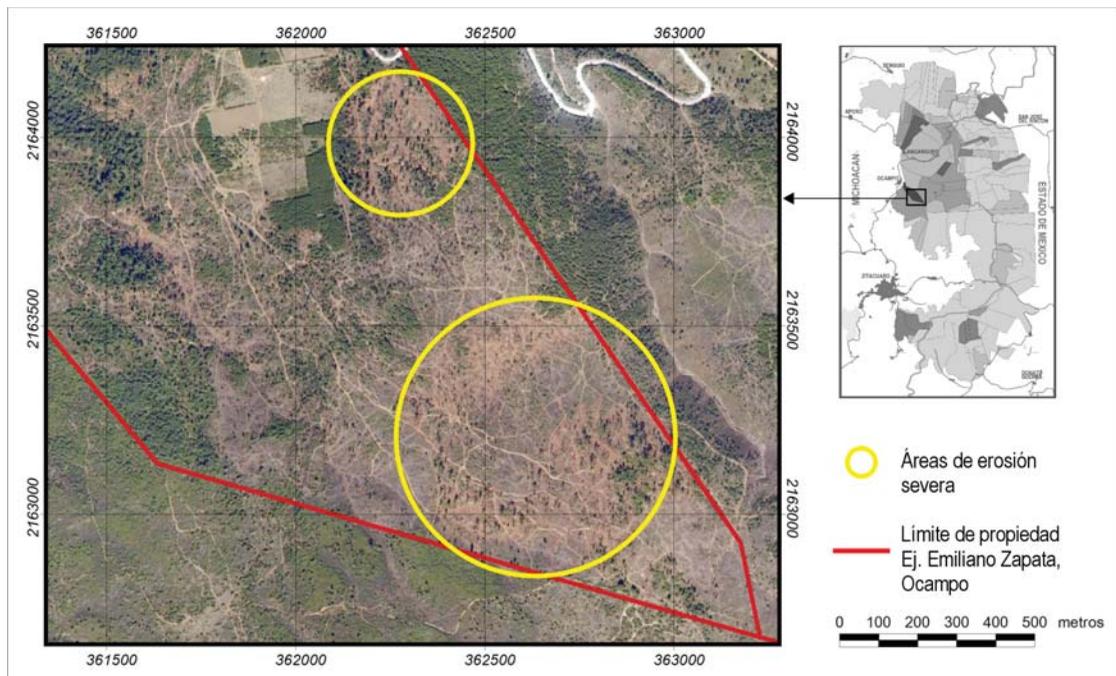


Figura 6. Ejemplo de erosión severa causada por métodos de manejo inadecuado a las condiciones del terreno.

nos altas, por lo que en muchos de ellos existen serios problemas de erosión (Figura 6). Por su parte, Forman *et al.* (2003) señalan que, en áreas con manejo forestal de territorios montañosos de Estados Unidos y Canadá, la densidad típica de la red de caminos es de 1.2 a 2.5 km/km<sup>2</sup>, tanto en bosques privados como federales.

Lo anterior confirma como muy elevados los valores de densidad que se encuentran en buena parte de los predios involucrados en esta parte de la reserva. Aunque se trata de un área protegida, los valores obtenidos corresponden más a su condición de área con elevada presión poblacional sobre los recursos (Ramírez, 2005), donde, además del manejo autorizado, se extrae gran cantidad de productos forestales de forma ilegal (WWF-México, 2004).

Si se analiza el mapa de densidad de la red de caminos junto con la cartografía de cubiertas del suelo (Ramírez, 2001, actualizado a 2003) se puede observar que son los mismos predios cercanos a Angangueo y Ocampo, con densidades muy altas de brechas y veredas, los que tienen una mayor superficie de bosques perturbados o sin él. Ello revela un proceso de aprovechamiento intensivo en estos bosques de Michoacán. Por el lado del Estado de México, su infraestructura vial más desarrollada y la separación más clara entre usos del suelo, sugieren que la transformación de las cubiertas forestales debe haberse consumado varias décadas antes.

Además de la superficie ocupada por caminos y de las áreas evidentes de pérdida y aclarado del arbolado, la red encontrada puede representar una superficie de alteración mucho mayor. Ya que se ha demostrado que los caminos forestales representan un corredor de perturbación que afecta a la vegetación nativa y al suelo y que penetra varios metros hacia el interior del bosque. Por ejemplo, trabajos realizados en Wisconsin y Michigan, EUA, encontraron, respectivamente, que la afectación alcanza hasta 15 m de distancia a

cada lado del camino y que el grado de perturbación es mayor en caminos de segundo orden que en aquéllos de tercer orden (Watkins *et al.*, 2003; Buckley *et al.*, 2003).

## CONCLUSIONES

La cartografía generada, escala 1:20 000, permitió observar patrones espaciales que no se apreciaban en la cartografía 1:50 000 existente. Se encontró una red de caminos de 2 574 km dentro de los límites del bloque principal de la RBMM, cuatro veces mayor que la reportada por INEGI (628 km), lo cual representa una superficie estimada de 880 ha cubiertas por caminos. Además, este trabajo permitió identificar valores de densidad para una zona de aprovechamiento forestal, lo cual supone un aporte en el conocimiento de la red de caminos en ambientes rurales de nuestro país. Por ello, los resultados obtenidos justifican la importancia de analizar los caminos forestales en escalas detalladas, especialmente cuando se trata de áreas prioritarias para la conservación, como es nuestro caso.

La densidad de caminos dentro de la reserva, 4.7 km/km<sup>2</sup>, es un valor muy elevado para un área destinada a la conservación, incluso para una zona de aprovechamiento forestal. Dicho valor se incrementa notablemente en predios cercanos a Ocampo y Angangueo, Michoacán, y en algunos del Estado de México. Esto los hace muy vulnerables tanto a la erosión de sus suelos como a la perturbación de sus bosques. Por lo cual, convendría poner especial interés en ellos y buscar, junto con los propietarios de los terrenos, mecanismos para rediseñar la red y restaurar la vegetación en parte de los caminos, hasta alcanzar densidades más acordes con la conservación. Esto la haría más eficiente para sus respectivos fines y menos perjudicial para el bosque.

## AGRADECIMIENTOS

A WWF-Programa México, por el financiamiento de este trabajo (Convenio QR29). A la

dirección de la RBMM por las facilidades para la realización del trabajo de campo. A las autoridades de los 46 ejidos y comunidades indígenas visitadas, en especial a los habitantes que sirvieron de guía y fuente de información. A Raúl Zubieta, Carmen Luz y Sergio Cano por su apoyo en diversas tareas de este trabajo. Al Dr. Luis Chias por sus sugerencias y al Dr. Lincoln Brower por ceder parte del material digital. A los revisores anónimos por sus acertados comentarios.

## REFERENCIAS

- Azcárate, J. G., M. I. Ramírez y M. Pinto (2003), "Las comunidades vegetales de la Sierra de Angangueo (estados de Michoacán y México): clasificación, composición y distribución", *Lazaroa*, núm 24, pp. 87-111.
- Alcántara, A. (1999), *Bosques, caminos y los incendios forestales*, Cuadernos Fica, México.
- Brower, L., G. Castilleja, A. Peralta, J. Lopez, L. Borjórquez, S. Diaz, D. Melgarejo and M. Missrie (2002), "Quantitative changes in forest quality in a principal overwintering area of the Monarch Butterfly in Mexico, 1971-1999", *Conservation Biology*, no. 16 (2), pp. 346-359.
- Buckley, D. S., T. R. Crow, E. A. Nauertz and K. E. Schulz (2003), "Influence of skid trails and haul roads on understory plant richness and composition in managed forest landscapes in Upper Michigan, USA", *Forest Ecology and Management*, no. 175, pp. 509-520.
- Dal-Rene, R. (1996), *Caminos Rurales: Proyecto y Construcción*, Ediciones Mundi-Prensa, México.
- Forman, R. T. T. and L. E. Alexander (1998), "Roads and their major ecological effects", *Annual Review of Ecology and Systematics*, no. 29, pp. 207-231.
- Forman, R. T. T. (coord.; 2003), *Road Ecology. Science and Solutions*, Island Press, USA.
- Gutman, P. (1986), "Evaluación de impactos ambientales en Programas de Transporte", *Revista Interamericana de Planificación*, núm. 20, pp. 30-39.
- Nepstad, D., G. Carvalho, A. C. Barros, A. Alencar, J. P. Capobianco, J. Bishop, P. Moutinho, P. Lefebvre, U. Lopes and E. Prins (2001), "Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests", *Forest Ecology and Management*, no. 154, pp. 395-407.
- Madrigal S., X. (1994), *Características ecológicas generales de la región forestal oriental del estado de Michoacán, México*, UMSNH, Michoacán, México.
- Peñaranda, R. (2000), *Riesgos de la deforestación en el bosque de uso múltiple del Trópico de Cochabamba*, tesis de Maestría, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, Universidad Mayor de San Simón, Bolivia.
- Ramírez, M. I. (2001), "Cambios en las cubiertas del suelo en la Sierra de Angangueo, Michoacán y Estado de México, 1971-1994-2000", *Investigaciones Geográficas*, núm 45, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 39-55.
- Ramírez, I., J. G. Azcárate and L. Luna (2003), "Effects of human activities on Monarch Butterfly Habitat in Protected Mountain Forests, Mexico", *Forestry Chronicle*, no. 79 (2), pp. 242-246.
- Ramírez, M. I. (2004), *Los espacios forestales de la Sierra de Angangueo (estados de Michoacán y México), México. Una visión geográfica*, Servicio de Publicaciones Universidad Complutense de Madrid, España [cd-rom].
- Reid, J. (1997), "Consecuencias económicas y biológicas de la construcción de caminos en las tierras bajas de Bolivia: un método de evaluación rápida", Documento técnico núm. 53, mayo [http://bolfor.chemonics.net/DOCUMENT/dt53e.pdf: 08 Mayo 2005].
- Spellerberg, I. F. (1998), "Ecological effects of roads and traffic: a literature review", *Global Ecology and Biogeography Letters*, no. 7, pp. 317-333.
- Spellerberg, I. F. (2002), *Ecological Effects of Roads*, Science Publishers, USA.
- Tchikoué, H. (2002), *Taller Teórico-Práctico: Planeación, proyección, diseño, construcción, mantenimiento y rehabilitación de los caminos forestales*, Comisión Nacional Forestal-Universidad Autó-

noma Chapingo-División de Ciencias Forestales, inédito.

Watkins, R. Z., J. Chen, J. Pickens and K. D. Brososke (2003), "Effects of forest roads on understory plants in a managed hardwood landscape", *Conservation Biology*, no. 17(2), pp. 411-419.

WWF-México (2004), "La tala ilegal y su impacto en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca", Informe interno, mayo [[http://www.wwf.org.mx/wwf/mex/archivos/bm/040601\\_documentoTalaMonrca.php](http://www.wwf.org.mx/wwf/mex/archivos/bm/040601_documentoTalaMonrca.php): 01 junio 2005].