

Reemplazo de áreas arboladas por chaparrales y comunidades herbáceas en el período 1970-2000 en una microcuenca de Durango, México

Marco Antonio Márquez-Linares*
Eduardo J. Treviño Garza**
Enrique Jurado**

Recibido: 28 de octubre de 2003
Aceptado en versión final: 22 de agosto de 2005

Resumen. Se realizó una comparación entre la cobertura de la vegetación existente en la microcuenca del arroyo "El Carpintero" cercana a la ciudad de Durango, México, en 1970 y 2000. Las áreas dominadas por chaparrales y por especies herbáceas aumentaron su extensión de 9 571 a 11 754 ha y de 2 188 a 6 774 ha, respectivamente, a costa de la superficie dominada por arbóreas que disminuyó de 12 952 a 6 193 ha. La tasa de deforestación anual fue de -2.43%. Las principales fuerzas que provocaron este cambio fueron: el manejo de recursos basado en la ganadería extensiva, la agricultura de temporal, la extracción de leña como principal fuente de energía y los incendios forestales.

Palabras clave: Deforestación, bosques semisecos, chaparrales, Sierra Madre Occidental.

Replacement of forested areas by chaparral and herbaceous communities during 1970-2000 at a microbasin in Durango, Mexico

Abstract. A comparative study from 1970 to 2000 was made on vegetation cover present in the micro watershed "El Carpintero", near Durango City, in Durango State, Mexico. Areas with predominant chaparral shrubs and herbaceous species expanded from 9 571 ha to 11 754 ha and from 2 188 ha to 6 774 ha, respectively, replacing forested areas, which were reduced from 12 952 ha to 6 193 ha. Annual deforestation rate was -2.43%. Main forces that caused this change were: resource management based in extensive livestock, non-irrigated agriculture, wood extraction as main energy source and forest fires.

Key words: Deforestation, semi-dry forest, chaparral, Sierra Madre Occidental.

*CIIDIR-IPN, Unidad Durango, Sigma s/n, F. 20 de Noviembre II, Durango, Dgo. y FCF-UANL.
E-mail: marco_dgo@yahoo.com

** Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Km. 120 Carretera Panamericana, Linares, Nuevo León, México. e-mail: ejterv01@prodigy.net.mx

INTRODUCCIÓN

El análisis de los cambios que ocurren en la vegetación a través del tiempo y del espacio permite entender cómo operan los procesos de regeneración, sucesión o degradación de los ecosistemas. Los resultados de este análisis indican que el ser humano es sin duda el principal agente transformador de los ecosistemas (Vitousek *et al.*, 1997). El impacto de sus actividades ha generado a escala mundial la pérdida de biodiversidad y el calentamiento global, a escala regional alteración de los ciclos hidrológicos, deforestación, pérdida de hábitat y cambio en la distribución y abundancia de la vida silvestre.

En particular, en el estado de Durango en los flancos orientales de la Sierra Madre Occidental, se han observado cambios en la vegetación en altitudes que van de 1 900 a 2 400 m. En muchas de estas áreas, normalmente ocupadas por bosques bajos abiertos de clima semiseco, donde las principales especies arbóreas son *Quercus grisea*, *Q. arizonica*, *Q. hartwegii*, *Q. chihuahuensis*, *Q. emoryi* y *Q. eduardii* asociados con *Pinus cembroides*, *P. chihuahuana* y *P. engelmannii* (González, 1992), son substituidas por chaparrales y matorrales secundarios. Casas *et al.* (1995) indicaron que en sitios cercanos a la ciudad de Durango los bosques de *Pinus-Quercus* fueron desplazados por *Arctostaphylos pungens*, mientras que los de *Q. eduardii* substituidos por *Dodonea viscosa*. González *et al.* (2000) reportaron que en el municipio de Canatlán, Durango, algunos bosques de encino y de encino-pino de las áreas de transición entre los pastizales y los bosques templados, fueron substituidos por chaparrales de *A. pungens*, *Q. depressipes* y *Q. striatula*. Fulé *et al.* (2000) indicaron que en la reserva de la biosfera La Michilía, *A. pungens* y *Quercus* sp se regeneraron en altas densidades como consecuencia de incendios forestales de alta intensidad. La substitución de bosques por chaparrales tiene consecuencias ecológicas importantes como la disminución de la cobertura y la

biomasa, además, las actividades económicas en los chaparrales se reducen a la producción de leña para consumo doméstico.

Algunas de las preguntas que surgen al observar el reemplazo de bosque de encino-pino por chaparrales son: a) ¿cuál es su importancia en términos de superficie?, b) ¿persistirán como comunidades secundarias relativamente estables? y c) ¿cuál es la causa de estos cambios?

En este trabajo se tiene por objetivo evaluar los cambios de la vegetación en el período comprendido entre 1970 y 2000 en una microcuenca de los municipios de Canatlán y Durango, y relacionarlos con la información existente sobre su manejo. Las hipótesis que se proponen son: a) los chaparrales están desplazando a los bosques, por lo tanto su superficie en el 2000 es mayor que en 1970, y b) los chaparrales son comunidades estables a largo plazo por lo que los chaparrales existentes en 1970 continúan siéndolo en el 2000.

MÉTODO

El trabajo se realizó en la microcuenca del arroyo "El Carpintero", el cual es uno de los principales afluentes de la presa Peña del Águila, importante abastecedora de agua para amplias regiones agrícolas del valle del Guadiana. Se localiza entre los 24° 05' y 24° 20' N, y 104° 41' y 105° 00' W (Figura 4), y tiene una superficie de 40 803.5 ha; la altitud varía de 1 900 a 2 820 msnm. En la parte alta de la cuenca se encuentran mesetas, en la parte media mesetas, lomeríos y cañadas profundas, y en la parte baja existen áreas planas donde se realizan actividades agrícolas.

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García para México, el clima en las partes bajas de la microcuenca corresponde a C(W₀), templado subhúmedo, con lluvias en verano, mientras que en la más alta corresponde a C(E)(w₂), semifrío subhúmedo con lluvias en verano. En la estación climatológica "El Pino", cercana a la parte

alta de la cuenca, la precipitación promedio anual es de 634 mm y la temperatura media anual de 16.2° C (INEGI, 1995).

En el área se desarrollan bosques templados secos y semisecos de pino, pino-encino, encino, chaparrales, matorral crasicaule, pastizal inducido, vegetación secundaria, así como áreas erosionadas con escasa vegetación. Las especies arbóreas de mayor relevancia en el área son *Pinus cooperi*, *P. leiophylla* y *P. teocote*, *Quercus grisea*, *Q. chihuahuensis* y *Q. sideroxyla*, *Juniperus deppeana* y *Arbutus sp.* Las arbustivas más comunes son *Arctostaphylos pungens*, *Quercus depressipes*, *Q. striatula* y *Ceanothus sp.*, mientras que las herbáceas pertenecen a los géneros *Stipa*, *Agrostis*, *Andropogon* y *Bouteloua*, así como otras especies de herbáceas ruderales.

La parte alta de la micro-cuenca incluye seis ejidos y dos propiedades particulares, en ella se localizan dos poblados donde habitan 139 personas (INEGI 2000), aunque la mayor parte de la población económicamente activa ha emigrado de la región. La economía se basa en la agricultura de temporal y la ganadería extensiva.

Para determinar los cambios en la vegetación ocurridos en la superficie de la cuenca en el período 1970-2000 se comparó mediante un sistema de información geográfica (SIG) la distribución espacial existente en estos años. La distribución de la vegetación en 1970 fue obtenida de las cartas de uso de suelo y vegetación editadas por DETENAL en 1980 (claves G13D61 y G13D71) escala 1:50 000 elaboradas con fotografías aéreas de 1970, mientras que la distribución de la vegetación en el 2000 se cartografió a partir de una imagen Landsat ETM+. Las fronteras de la cuenca fueron identificadas visualmente sobre las cartas topográficas haciendo uso de las curvas de nivel. Los límites así obtenidos, así como los polígonos de las cartas de uso de suelo, fueron capturados con una tableta digitalizadora con el programa Carta Linx (Hagan *et al.*, 1998). La captura fue evaluada y corregida mediante el

muestreo de 300 polígonos, en los cuales se checó el atributo.

Categorías empleadas. El análisis de los cambios en la cobertura de la vegetación ha sido estudiado mediante diferentes metodologías que incluyen la comparación de fotografías áreas o imágenes tomadas en diferentes fechas (Hart and Laycock 1996, Miller 1999); el uso de cartas de vegetación existentes para compararlas con cartas producidas mediante clasificación de imágenes digitales provenientes de satélite (Miller 1999, Treviño 2001, Velázquez *et al.*, 2002), o bien comparando cartografías producidas únicamente con imágenes de satélite (Velazquez *et al.*, 2002). La comparación de las unidades vegetales por cualquiera de los procedimientos descritos presenta problemas derivados de la diferencia en los criterios de los intérpretes, así como de las categorías y las escalas empleadas; por lo cual es necesario aplicar generalizaciones o un sistema de equivalencias para poder hacer comparaciones válidas. Este estudio utilizó el segundo método, simplificando la leyenda de la carta de uso de suelo y vegetación de 1970 mediante la agregación de categorías similares en clases más generales; el propósito de la agregación fue que las nuevas categorías pudieran ser compatibles con los resultados del análisis de la imagen multispectral. De este modo, se determinaron dos niveles de agregación: tres categorías al nivel de tipo de vegetación dominante (primer orden) y nueve al nivel de vegetación dominante y subdominante (segundo orden). Las categorías de segundo orden fueron:

- Bosques con dosel cerrado (B)
- Bosques abiertos con chaparral (B-ML)
- Bosques abiertos con pastizal (B-P)
- Chaparrales (de *A. pungens* o de *Quercus depressipes*) (ML)
- Chaparrales con elementos arbóreos dispersos (ML-arb)
- Chaparral con herbáceas y pastizales (ML-P)

- Pastizal, herbáceas y suelo desnudo (erosión) (P)
- Pastizal, herbáceas con árboles dispersos (P-arb)
- Pastizal, herbáceas con elementos de chaparral (P-ML)

A partir de éstas se formaron las categorías de primer orden:

- Bosque o áreas con árboles como elementos dominantes (B_1)
- Chaparrales, áreas donde las especies dominantes son arbustos (ML_1)
- Pastizales, áreas donde los elementos dominantes son gramíneas y herbáceas (P_1)

Los bosques incluyen comunidades de cualquier composición florística con dosel cerrado a semiabiertas en las cuales la cobertura arbórea es dominante, incluyen a las categorías B, B-ML y BP; los chaparrales comprenden manzanitales cerrados o abiertos en combinación con encinos arbustivos y gramíneas incluyen a las categorías ML, ML-arb y ML-P, los pastizales incluyen pastizales inducidos con herbáceas y suelo con algún grado de erosión, así como aquéllos con elementos arbóreos o arbustivos dispersos e incluyen a las categorías P, P-arb y p-ML.

La distribución de la vegetación actual se cartografió utilizando la imagen Landsat ETM+ de la órbita 31, hilera 43, del 3 de marzo del 2000, referenciada en el sistema de proyección UTM y datum horizontal NAD 27. La imagen se recortó teniendo como límite las coordenadas correspondientes a la cuenca del arroyo El Carpintero.

La clasificación se realizó en varias etapas. La primera consistió en discriminar las áreas no relevantes al estudio mediante el método de enmascaramiento propuesto por Treviño (2001). Las clases enmascaradas fueron: roqueríos, matorral crasicauale, cuerpos de agua y áreas agrícolas con base en la carta de 1970.

La siguiente etapa consistió en identificar zonas de homogeneidad espectral para localizar áreas de entrenamiento. Esto se realizó mediante el procedimiento de clasificación no supervisado ISOCLUST de ERDAS (Pouncey, 1999); este es un procedimiento iterativo para agrupar píxeles, el cual usa la mínima distancia espectral como criterio de agrupación, en cada iteración los grupos de píxeles formados se comparan con sus respectivas medias hasta que un número máximo de píxeles no cambian de categoría en dos iteraciones sucesivas. En campo se visitaron sitios que cumplieran con el requisito de tener más de 1.4 ha de la misma categoría, que en la imagen corresponde a 16 píxeles contiguos (4x4). Cada sitio se localizó mediante un receptor del sistema de posicionamiento global (GPS) y se registró la pendiente, exposición, composición florística, altura, cobertura de la vegetación e impactos a la comunidad. El procedimiento para ubicar las áreas de entrenamiento en el mapa digital se realizó con el módulo SEED de ERDAS; la distancia espectral euclidiana asignada para elegir los píxeles germinales fue menor a 15.

Las firmas espectrales de las áreas de entrenamiento fueron agrupadas mediante el procedimiento "join" de ERDAS para después analizar su separabilidad mediante el índice de la divergencia transformada. Si el índice es mayor a 1 900, entonces las firmas son claramente diferentes, un valor entre 1 700 y 1 900 indica una separabilidad regular, y un índice menor a 1 700 indica una separabilidad pobre (Puncey, 1999).

Una vez obtenidas las firmas espectrales, la imagen se clasificó por el método supervisado de ERDAS con la opción de máxima verosimilitud. La fiabilidad de la clasificación se evaluó mediante 53 sitios de verificación independientes tomados en campo y localizados al azar. Se aplicó un filtro de moda de 5x5 para poder compararla con la carta de 1970, ya que la unidad mínima

cartografiable en la carta del DETENAL de 1970 fue de aproximadamente de 22 500 m².

La comparación de superficies se realizó con el programa IDRISI (Eastman, 1999) mediante la función *crossstabulation*, la cual compara pixel a pixel las dos imágenes y presenta la comparación en forma tabular o geográfica. La imagen obtenida fue clasificada de acuerdo con el siguiente criterio: Áreas degradadas: la vegetación disminuyó en densidad o calidad. Áreas recuperadas: la vegetación aumentó en densidad y/o calidad. Áreas sin cambio: lugares que obtuvieron la misma categoría en 1970 y 2000. Áreas sin cambio significativo: la vegetación cambió de categoría, pero esto no representa un cambio en densidad o calidad de la vegetación. Cambios improbables: se presenta la apariencia de una recuperación de la cobertura, pero existe una alta probabilidad de error.

Para calcular la tasa de cambio anual de los diferentes tipos de cobertura se utilizó el índice utilizado por Velásquez *et al.* (2002),

como se muestra a continuación.

$$TC = \left(\left(\frac{S_1 - S_2}{S_1} \right)^{(1/N)} \right) - 1$$

donde TC es la tasa de cambio anual, S₁ es la superficie al inicio del período, S₂ la superficie al final, y N es el número de años del período.

RESULTADOS

La superficie total analizada después de enmascarar las áreas no relevantes fue de 24 721 ha. Las firmas espectrales de las áreas de entrenamiento para el procedimiento de clasificación supervisada de la imagen se presentan en la Figura 1, en ella se aprecia que la firma espectral de la categoría bosque se distingue claramente de las demás; las clases B-P, B-MLy ML-B se separan únicamente en la banda 7 (infrarrojo medio) aunque generalmente esta banda no se usa para distinguir

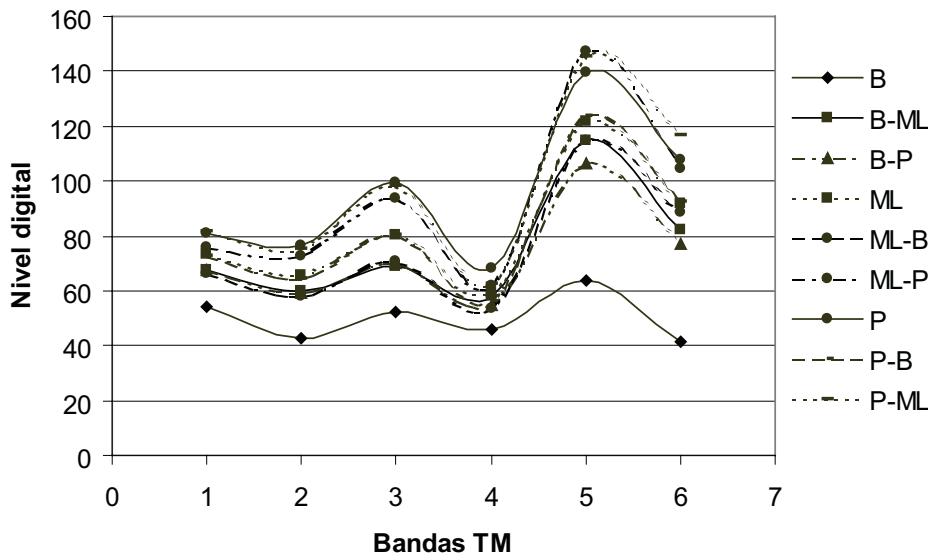


Figura 1. Firmas espectrales resumidas de las clases consideradas para el presente estudio. B = bosque; ML = chaparral, P = Pastizal inducido y herbáceas.

vegetación. Las categorías ML y P-B presentan prácticamente los mismos niveles digitales en todas las bandas. Las categorías P, ML-P y P-ML presentan los mayores niveles de reflectancia y tienen una mejor separabilidad entre ellas. Este resultado se refleja también en el índice de divergencia transformada, el cual presenta para estos casos valores inferiores a 1 700 (Cuadro 1). Esta confusión no fue posible subsanarla dado que en el campo se trata de vegetación con diferentes grados de cobertura entre elementos arbóreos, arbustivos y herbáceos, derivada de la heterogeneidad del paisaje.

La clasificación del nivel general obtuvo una fiabilidad de 78.4%, mientras que la de segundo nivel correspondió a 67.2%.

Los cambios en la superficie ocupada por cada tipo de vegetación en el nivel más general se muestran en el Cuadro 2. La superficie arbolada (B) disminuyó en un 27.0%, mientras que la superficie dominada por arbustivas (ML) y la dominada por herbáceas (P), aumentó en un 8.8 y 18.6%, respectivamente.

En la Figura 2 se presentan las tasas de cambio anual, así como los porcentajes de la superficie de 1970 que cambió o que continuó en la misma clase. El 28.5% de la superficie arbolada de 1970 persistió en el 2000, el 44.1%

se transformó en superficie dominada por arbustivas y 27.4% cambió a superficie dominada por herbáceas. De los chaparrales, 55.3% continuaron como chaparrales, el 19.8% se recuperó hacia bosques y el 24.9% se degradó a herbáceas. Por último, de la superficie dominada por herbáceas, 38.3% continuó en esta categoría, mientras que el 34.1% cambió hacia chaparrales y un 27.6% a superficie dominada por arbóreas.

La Figura 3 muestra los cambios de segundo orden ocurridos en el período considerado. Se observó una disminución en la superficies de los bosques con dosel cerrado (B), las áreas arboladas con chaparral (B-ML), las arboladas con herbáceas (B-P) y las de chaparral con herbáceas (ML-P), mientras que el chaparral (ML), chaparral con árboles (ML-árb), herbáceas (P), herbáceas con árboles (P-árb), y herbáceas con chaparral (P-ML) aumentaron.

El Cuadro 3 muestra la superficie que se degradó, se recuperó o no mostró cambio: 49.6% de la superficie en 2000 son áreas degradadas, es decir, donde se pasó de una mayor cobertura vegetal a una menor, 17.3%; son áreas que se recuperaron, ya que pasaron de una cobertura menor a una mayor, 26.2% son áreas en las que no hubo cambios o que pre-

Cuadro 1. Índice de divergencia transformado para evaluar la separabilidad de las firmas espectrales (Bandas TM usadas 1, 2, 3, 4, 5 y 7). Las celdas oscuras representan valores con pobre separabilidad espectral

Clase	B	B-ML	B P	ML B	ML	ML-P	P-B	P ML
B								
B-ML	2000							
B P	1997	1236						
ML B	1999	1387	1517					
ML	1983	1616	1458	1688				
ML-P	2000	2000	2000	2000	1995			
P-B	2000	1990	1997	1988	1998	2000		
P ML	2000	2000	2000	2000	1994	1984	2000	
P	2000	2000	2000	2000	1927	1991	2000	1927

Cuadro 2. Superficie ocupada por los tipos de vegetación en 1970 y 2000

clase	1970		2000		Cambio	
	ha	%	ha	%	ha	%
B ₁	12 952	52.4	6 193	25.0	-6 769	-27.0
ML ₁	9 571	38.7	11 754	47.5	2 183	8.8
P ₁	2 188	8.8	6 774	27.4	4 586	18.6

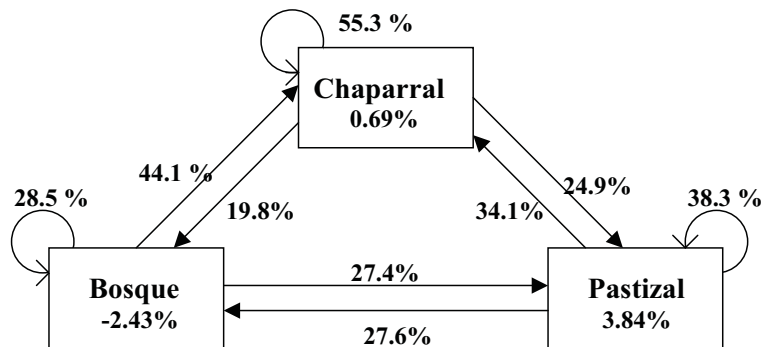


Figura 2. Cambios ocurridos en la microcuenca "El Carpintero" entre 1970 y 2000. Dentro del cuadro: tasas de cambio anual; en flechas: porcentaje de la superficie de cada categoría en 1970 por tipo de cambio.

sentan cambios no significativos en términos de cobertura, y 6.9% de la superficie corresponde a cambios improbables.

En la Figura 4 se observa la cartografía de los cambios ocurridos en la microcuenca en el período considerado. La superficie que sufrió deterioro ocurrió principalmente en la región norte y oeste, mientras que la recuperación ocurrió principalmente en la porción sur de la cuenca.

El Cuadro 4 muestra la superficie que en 1970 era de chaparrales y que en el 2000 tiene el mismo u otro tipo de vegetación. Se observa que el 57.9% de los chaparrales continúan siendo chaparrales en 2000, los cambios más importantes fueron hacia chaparral con herbáceas y recuperación hacia bosques (18.9 y 10.2%, respectivamente).

DISCUSIÓN

Los cambios ocurridos en la microcuenca del arroyo El Carpintero en el período 1970-2000 fueron en varias direcciones. La superficie dominada por árboles (B₁) disminuyó de 12 951 a 6 769 ha, lo que significa que en 1970 ocupaba 52.4% de la superficie estudiada, mientras que en el 2000 fue de 25.0% (Cuadro 2). No obstante, estos cambios fueron mayores en la superficie dominada por árboles con matorrales (B-ML) y la de árboles con herbáceas (B-P) que en la de bosques con dosel cerrado (B; Figura 3); esta última categoría se ubica principalmente en propiedades particulares al norte de la cuenca, las cuales no han sido usadas tan intensivamente como las propiedades ejidales. La clase B-ML cambió principalmente hacia ML (37.4%) y hacia B (18%).

La superficie dominada por arbustos (ML_1) aumentó en 2 183 ha, pasando del 38.7 al 47.5% de la superficie estudiada de la microcuenca (Cuadro 2). Sin embargo, los chaparrales cerrados (ML) aumentaron en 3 155 ha, mientras que los de arbustivas con pasto (ML-P) disminuyeron en 2 652, este cambio se debió a que una parte de estos últimos (1 405 ha) se transformó en matorrales cerrados, principalmente de manzanita (*Arctostaphylos pungens*). La proporción de matorrales cerrados en 1970 que continuaron así en el 2000 correspondió a 57.9%, lo que significa que al menos en los últimos 30 años no hubo cambios en el tipo de vegetación de esta superficie (Cuadro 4).

El área dominada por herbáceas (P_1) aumentó en 4 586 ha (8.8 a 27.4% de la super-

ficie estudiada), lo cual se debió a la disminución de la superficie dominada por árboles con pastos, (B-P), chaparrales (ML) y bosques cerrados (B). En la Figura 3 se aprecia que el área ocupada por pastos (P) aumentó 2 098 ha y la de herbáceas con árboles en 388, lo que significa que la superficie con menor cobertura, y por lo tanto con mayor probabilidad de erosionarse, aumentó considerablemente.

El Cuadro 3 muestra las superficies que sufrieron cambios, en general se aprecia que la superficie que disminuyó en cobertura vegetal y que por esta razón puede considerarse que sufrió degradación, representa casi el 50% del total, mientras que la que mostró recuperación corresponde al 17.3%.

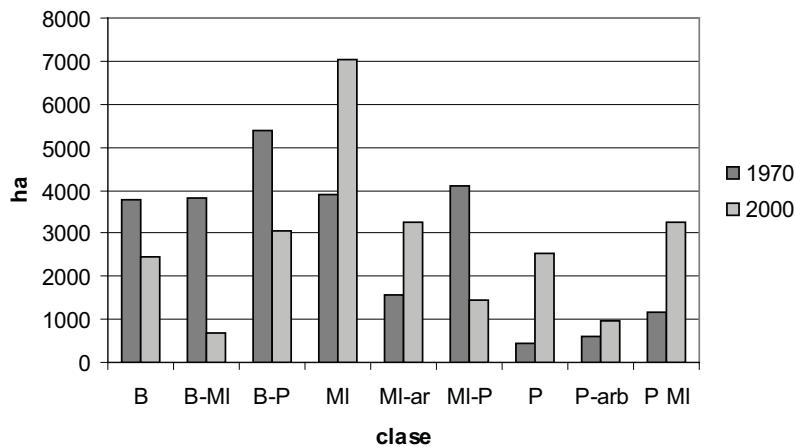


Figura 3. Cambios en la superficie ocupada por las diferentes clases de 2o. orden entre 1970 y 2000.

Cuadro 3. Cambios ocurridos de 1970 a 2000 en la microcuenca del Arroyo "El Carpintero" sobre la base del análisis de 2o. nivel

Categoría	ha	%
Degradación	12 256.8	49.6
Recuperación	4 268.1	17.3
Sin cambio	4 821.0	19.2
Cambio no significativo	1 675.4	7.0
Cambio improbable	1 700.0	6.9

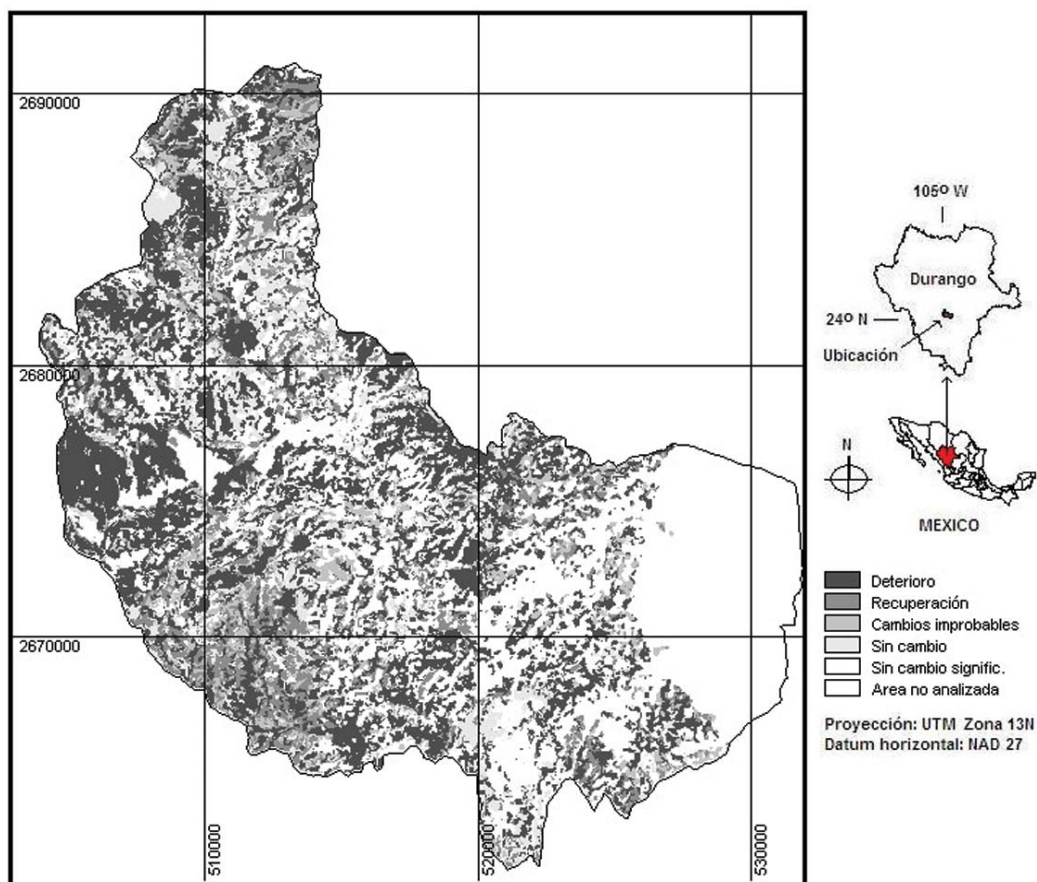


Figura 4. Cambio en la cobertura vegetal de 1970 a 2000 de la microcuenca del arroyo El Carpintero, Durango.

Cuadro 4. Superficie de chaparrales de 1970 y su vegetación en 2000

Clase	ha	%
B	397.0	10.2
B-ML	40.5	1.0
B-P	164.5	4.2
ML	2 254.2	57.9
ML-arb	111.4	2.9
ML-P	756.8	19.4
P	51.8	1.3
P-arb	118.8	3.1
P-ML	0.3	0.0

Si se considera la superficie deforestada como la que dejó de tener dominancia arbórea (análisis de primer orden), entonces la tasa anual de deforestación fue de -2.4% (Figura 2), pero si se considera sólo la que dejó de ser bosques con dosel cerrado, entonces la tasa de deforestación fue de -1.42%, ambas tasas son superiores a las reportadas a nivel nacional (entre -0.25 y -1.02%, respectivamente, según Velázquez *et al.*, 2002), y son comparables con las de los estados de Veracruz, Puebla y Oaxaca, las cuales se estima que oscilan entre 2.0 y 3.4% (Mas *et al.*, 1996). En el ámbito mundial se considera a México como uno de los países con mayor tasa de deforestación, ya que el promedio es de alrededor de 0.8% anual (FAO 1995). Para el estado de Durango, la SECOPE (2003) reporta una tasa de cambio anual de los bosques de -2.3%, mientras que los chaparrales registran una tasa de 1.7% y los pastizales de 1.4%. Sin embargo, en áreas forestales con cubierta arbórea comercial se estima que el problema no es de deforestación sino de disminución en los diámetros y alturas del arbolado (Hernández *et al.*, 1992).

Los cambios en la microcuenca hacia comunidades arbustivas y herbáceas tienen origen en los años cincuenta, década en la que se explotó el arbolado comercial, lo que condujo a la deforestación de la mayor parte de su superficie. En la actualidad aún se observan árboles relictos, tocones viejos y vestigios de las brechas de saca, producto de la explotación de los bosques de pino-encino de aquel entonces, como consecuencia también se observa en muchos lugares el suelo erosionado con la roca madre descubierta. Posterior a los años cincuenta, la economía de los ejidatarios se ha basado en la agricultura de temporal de subsistencia y el sobrepastoreo de ganado vacuno (Herrera *et al.*, 2000), lo cual, aunado a la extracción de leña como principal fuente de energía, ha provocado que el proceso de degradación de la vegetación y del suelo continúe durante el periodo considerado en este trabajo.

Otro factor que ha contribuido a la degradación de la cuenca son los incendios forestales. De acuerdo con los reportes de la SEMARNAT (com. per.), el último registrado en el área fue en 1998, afectó 1 285 ha y se transmitió a través de la vegetación arbustiva y arbórea alcanzando en algunos lugares las copas de los árboles, principalmente de encinos. Su origen fue la quema para inducir pastizales, pero su alta intensidad se debió a los restos de plantas muertas derivadas de las heladas de 1997 y la sequía de 1998, sin embargo, la acumulación de combustibles no sólo es producto de la helada, sino también de la política de supresión de incendios que se dio a partir de los años ochenta con la formación de las Unidades de Administración Forestal, a lo cual se atribuye que los incendios sean menos frecuentes pero de mayor intensidad (Fulé, 2000).

Es posible que estos chaparrales sean substituidos por procesos de sucesión por un bosque de *Quercus-Pinus*, como lo han observado Wangler y Minnich (1996) en bosques bajos de piñón-junípero; ellos observaron que después de un incendio de copa el terreno era invadido por especies arbustivas, las cuales en ausencia de incendios, eran substituidas por un bosque de *P. monophylla* después de 50 a 100 años. En la microcuenca del Carpintero, sólo el 11.2 % de los chaparrales existentes en 1970 han sido substituidos por comunidades dominadas por árboles (Cuadro 5). Sin embargo, es probable que las condiciones de manejo actual y los incendios recurrentes continúen en un futuro, lo cual podría resultar en una persistencia del chaparral. Las especies que forman el chaparral, *Arctostaphylos* sp. y *Quercus* sp, tienen adaptaciones para sobrevivir a los incendios, el primero con semillas refractarias y una corteza lisa protectora (Kauffman, 1991; Barrio, 1999) y el segundo con reproducción vegetativa. El follaje de ambos géneros no es forrajado por ganado y solo ocasionalmente por fauna silvestre (Berg, 1974), lo cual propicia la formación de comu-

nidades cada vez más densas y extensas, lo que coincide con los resultados de este trabajo. En una vegetación comparable, el chaparral Californiano, se encontraron evidencias de que los incendios son el factor principal que mantiene estas comunidades a largo plazo (Hanes, 1971; Keeley, 1992; Odion; Davis, 2000).

CONCLUSIONES

La hipótesis de la sustitución de bosques por chaparrales en las laderas orientales de la Sierra Madre Occidental del estado de Durango es respaldada por los resultados obtenidos para la microcuenca estudiada. Se determinó que de las 12 972 ha de superficie boscosa que existían en 1970 en el área, 5 712 se degradaron a chaparrales y 3 548 a pastizales inducidos, lo cual implica una tasa de deforestación anual de -2.34%. Por otro lado, el 55.3% de los chaparrales existentes en 1970 continuaron en 2000, mientras que 19.8% fueron substituidos por superficie dominada por arbóreas y 24.9% se degradaron a superficie dominada por herbáceas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a C. López González por sus valiosos comentarios y sugerencias, y a D. M. Aguilar por su colaboración en la digitalización de la cartografía, así como a los dos revisores anónimos.

REFERENCIAS

Barrio, J. del, E. Luis-Calabuig y R. Tárrega (1999), "Vegetative response of *Arctostaphylos uva-ursi* to experimental cutting and burning", *Plant Ecology*, 145:191-195.

Berg, A. R. (1974), "*Arctostaphylos* Adans., manzanita", in Schopmeyer C. S. (Tech. Coord.), *Seeds of woody plants in United States*, Agric. Handbook, Washington, D.C., USDA Forest Service, pp. 228-231.

Casas S., R., S. González E. y J. Tena F. (1995), "Estructura y tendencias sucesionales en vege-

tación de clima templado semi-seco en Durango, México", *Madroño* 42(4):501-515.

Eastman, J. R. (1999), *Idrisi32: Guide to GIS and Image Precessing*, Clark Labs. Clark University, Worcester, MA, USA.

FAO (1995), *Evaluación de los Recursos Forestales 1990*, Países tropicales, Estudios Forestales de FAO, núm. 112:1-41.

Fulé, P. Z., A. García-Arévalo y W. Covington (2000), "Effects of an intense wildfire in a Mexican Oak-Pine forest", *Forest Science* 46(1):52-61.

González E., M. S. (1992), "Los bosques templados semisecos en Durango, México", *Seminario Ecología de Ambientes Áridos y Semiáridos*, Memoria Instituto de Ecología, Xalapa, México.

González-Elizondo, M., Y. Herrera-Arrieta, M. S. González-Elizondo, M. A. Márquez-Linares y C. López-González (2000), "Canatlán: asociaciones vegetales", *Interciencia* 1(4):12-16.

Hannes, T. L. (1971), "Succession after fire in the chaparral of sourhern California", *Ecological Monographs*, 41:27-51.

Hagan J. E., J. R. Eastman y J. Auble (1998), *CartaLinx: the spatial data builder*, Clark labs, University, Worcester, MA, USA.

Hart, R. H. and W. A. Laycock (1996), "Repeat photography on range and forest lands in the western United States", *Journal of Range Management*, 49:60-67.

Herrera C., J., Y. Herrera-Arrieta y D. Pámanes G. (2000), "Canatlán: estado actual de la ganadería", *Interciencia*, 1(4):22-24.

Hernández D., J., A. Quiñónez C. y A. Delgado A. (1992), *Diagnóstico de la industria forestal de Durango*, Informe Técnico, INIFAP-Durango, México.

INEGI (1995), *Canatlán, estado de Durango*, Cuaderno Estadístico Municipal, Aguascalientes, México.

INEGI (2000), *Tabulados Básicos Nacionales y por Entidad Federativa. XII Censo General de Población y Vivienda* [CD].

- Kauffman, J. B. and R. E. Martin (1991), "Factors influencing the scarification and germination of three montane Sierra Nevada shrubs", *The George Fahnestock memorial fire symposium*, Northwest Science, 65(4):80-187.
- Keeley, J. E. (1992), "Demographic structure of Californian chaparral in the long-term absence of fire", *Ecology* 70(6):1619-1628.
- Mas, J. F., V. Sorani y R. Álvarez (1996), "Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. especial 5, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 43-57.
- Miller, M. E. (1999), "Use of historic aerial photography to study vegetation change in the Negro creek watershed, southwestern new Mexico", *Southwestern Naturalist*, 44(2):121-137.
- Odion D. C. and F. W. Davis (2000), "Fire, soil heating, and the formation of vegetation patterns in Chaparral", *Ecological Monographs*, 70(1):149-169.
- Pouncey, R., K. Swanson and K. Hart (1999), *ERDAS Field Guide*, Fifth Edition, ERDAS Inc., Atlanta Georgia.
- Treviño Garza, E. J. (2001), "Estratificación de la información en el procesamiento digital de imágenes de satélite aplicado a la cartografía de los bosques de *Pinus cembroides*", *Investigaciones Geográficas*, núm. 44, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 54-63.
- SECOPE (2003), *Programa de ordenamiento territorial del estado de Durango*, inédito.
- Velázquez, A., J. F. Mas y J. L. Palacio (2002), *Análisis del cambio de uso del suelo en México*, Convenio INE-IG (UNAM), www.semarnat.ine.gob.mx
- Viramontes, D. and L. Descroix (2003), "Changes in the surface water hydrologic characteristics of an endorheic basin of northern Mexico from 1970 to 1998", *Hidrological Processes*, 17:1291-1306.
- Vitousek, P. M., H. A. Mooney, J. Lubchenco and J. M. Melillo (1997), "Human domination of Earth's ecosystems", *Science*, 277:494-499.
- Wangler J. M. and R. A. Minnich (1996), "Fire and succession in Pinion-Juniper woodlands of the San Bernardino Mountains, California", *Madroño*, 43(4):493-514.