

Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973-2000

Humberto Reyes Hernández*
Miguel Aguilar Robledo*
Juan Rogelio Aguirre Rivera**
Irma Trejo Vázquez***

Recibido: 30 de agosto de 2004
Aceptado en versión final: 8 de septiembre de 2005

Resumen. El objetivo de este trabajo es identificar los cambios en la cobertura y uso del suelo derivados de la puesta en marcha del proyecto de riego Pujal-Coy, en el oriente del estado de San Luis Potosí, México. El estudio se basa en la interpretación y análisis de imágenes de satélite Landsat MSS y ETM+, documentos oficiales e históricos del proyecto de riego y trabajo de campo. Los resultados indican que durante la etapa inicial del proyecto más de 73 000 ha de selva baja espinosa, selva baja caducifolia y selva mediana subperennifolia fueron desmontadas. La tasa de deforestación calculada para este período fue del 11% anual. Actualmente, sólo persisten poco menos de 11 000 ha de selva en fragmentos con diferente grado de perturbación, dispersos en los tres municipios potosinos incluidos en el proyecto. La proporción del área ocupada por praderas pasó del 21% en 1973 a más del 64% en el 2000, mientras que las áreas cultivadas mantienen prácticamente la misma superficie marginal que tenían al inicio del proyecto. Estos datos evidencian el retorno inequívoco de la ganadería extensiva, que se pretendía sustituir con agricultura intensiva, y los altos costos ambientales que tuvo el proyecto.

Palabras clave: Proyecto Pujal-Coy, deforestación, cambios del uso del suelo, Huasteca Potosina.

Land cover and land use change in the Pujal-Coy project area, San Luis Potosí, Mexico, 1973-2000

Abstract. The objective of the present work is to identify the land-cover and land-use changes derived from irrigation project Pujal-Coy setting, east of San Luis Potosí state, Mexico. The study is based on the interpretation and analysis of satellite images Landsat MSS and ETM+, official and historical documents of the irrigation project and field work. The results indicate that during the initial stage of the project, more than 73 000 ha of deciduous tropical low forest, tropical dry forest and semi evergreen forest were cut down. The deforestation annual rate

* Coordinación de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Avenida Industrias # 101, Frac. Talleres, San Luis Potosí. E-mail: hreyes@uaslp.mx

** Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí. E-mail: iizd@uaslp.mx

*** Instituto de Geografía, UNAM, Circuito Exterior, Cd. Universitaria, 004510, Coyoacán, México, D. F. E-mail: itrejo@igg.unam.mx

calculated for this period was 11%. At the moment, just 10 200 ha of dispersed fragments of forest persist in the three municipalities, as well as 64 remainders of arboreal vegetation with different disturb level. The proportion of the area occupied by grasslands growth from 21% in 1973 to more than 64% in the year 2000, while the cultivated areas maintain the same marginal surface that they had to the beginning of the project. These data evidence the unequivocal return of the extensive cattle raising that was sought to substitute with intensive agriculture, and the high environmental costs that of the project.

Key words: Pujal-Coy project, deforestation, land cover and land use change, Huasteca Potosina.

INTRODUCCIÓN

La cobertura y uso del suelo son dos de los elementos que mejor evidencian la transformación de la superficie terrestre por parte de la acción humana a través del tiempo. La cobertura del suelo se define como la cubierta biofísica observada sobre la superficie terrestre; mientras que el uso del suelo se caracteriza por el arreglo, actividad y producción que hace la gente en un cierto tipo de cubierta para producir, cambiar o mantener esta cobertura del suelo. A través del uso del suelo se produce lo necesario para la supervivencia de la humanidad; sin embargo, el impacto derivado de este proceso ordinariamente se relaciona con la deforestación y fragmentación de los ecosistemas, la desertización, la alteración de los ciclos hidrológicos, la pérdida de la diversidad biológica y el incremento de la vulnerabilidad de los grupos humanos. Si bien existen eventos naturales como las inundaciones, sequías, etc. que propician, en mayor o menor medida, alteraciones en la cobertura natural, en las últimas décadas el impacto de las actividades humanas se ha convertido en uno de los principales agentes transformadores de los ecosistemas. Se estima, por ejemplo, que en el 2000, los bosques y selvas de América Latina se habían reducido en más de un 50% de su cobertura original; en particular, países como Brasil, México y Costa Rica fueron el centro de las mayores alteraciones (Velázquez *et al.*, 2002a; 2002b; Bocco *et al.*, 2001; Lambin *et al.*, 2001; Vitousek *et al.*, 1997).

No obstante que los factores asociados con estas transformaciones son múltiples y muy variados (Geist y Lambin, 2002; Lambin *et al.*, 2001), varios autores sugieren que la creación

de infraestructura, la presión demográfica, la tenencia de la tierra, la intensificación del uso del suelo y el acceso a los mercados son algunas de sus causas más significativas. Cabe añadir que algunas políticas oficiales de subsidio agropecuario y de colonización también han jugado un papel importante en la transformación de los ecosistemas, particularmente en las regiones tropicales (Munroe *et al.*, 2002; Turner II *et al.*, 2001; Steininger *et al.*, 2001; Cropper *et al.*, 1997; Repetto, 1988). En este sentido, se debe mencionar que durante las décadas de 1960 y 1970, varios gobiernos de Latinoamérica instrumentaron políticas de desarrollo agropecuario basadas en el financiamiento al sector rural (la mayoría auspiciadas por organismos como el Banco Mundial). Estas acciones pretendían conformar regiones económicas a partir de la colonización y la expansión de la frontera agropecuaria en las regiones tropicales, generalmente, a través del desmonte de selvas, para poner en marcha proyectos de agricultura mecanizada y ganadería intensiva. Los programas de colonización de Santo Domingo de los Colorados, en Ecuador y Tingo María-Tocache, en Perú; el Plan de Desarrollo de la Amazonía (PDAM) en Brasil y los proyectos de desarrollo regional por cuencas hidrológicas (PDCH) en México, son ejemplo de ello (Aguilar-Robledo, 1995; Hecht, 1993; 1985).

El proyecto de riego Pujal-Coy

En el extremo noreste del estado de San Luis Potosí, el sur de Tamaulipas y el norte de Veracruz, se conformó el escenario del enorme plan de irrigación de la cuenca baja del río Pánuco que se presumía sería el distrito de

riego más grande de Latinoamérica, con una superficie total de 720 000 ha de tierras irrigadas, de las cuales, cerca del 40%, corresponderían al proyecto conocido como Pujal-Coy. Este proyecto, previsto en dos fases, fue puesto en marcha en 1973 en una superficie cercana a las 300 000 ha ubicadas en las márgenes de los ríos Tampoán, Moctezuma y Tamesí (Figura 1). En esencia, el Pujal-Coy se planteó como un proyecto de cambio de uso de suelo, que transitaría de la ganadería extensiva predominante hasta entonces a una producción agrícola intensiva basada en el riego. Sus objetivos eran redistribuir la tierra, construir grandes obras civiles e hidráulicas, aumentar la producción y elevar la productividad de la zona y fomentar la inmigración de cam-

pesinos demandantes de tierras de otras regiones de México (SARH, 1980).

La primera fase del proyecto se inició en los municipios de Ébano y Tamuín, S. L. P., y Pánuco, Ver., en una superficie de 72 200 ha. Del área que abarcaba esta primera fase casi la mitad se encontraba cubierta por selva baja espinosa y selva baja caducifolia, vegetación que fue eliminada para sustituirla por los campos de cultivo y las obras hidráulicas programadas. En 1978 se dio por concluida esta fase, aunque de la superficie planeada sólo 34 000 ha se podían irrigar efectivamente. La segunda fase, puesta en operación el mismo año, abarcaría 230 000 ha y añadiría, además, tierras de los municipios de San Vicente Tancuayalab, S. L. P. y de Pánuco, Ver. (Figura 1). Entre sus metas estaba cons-

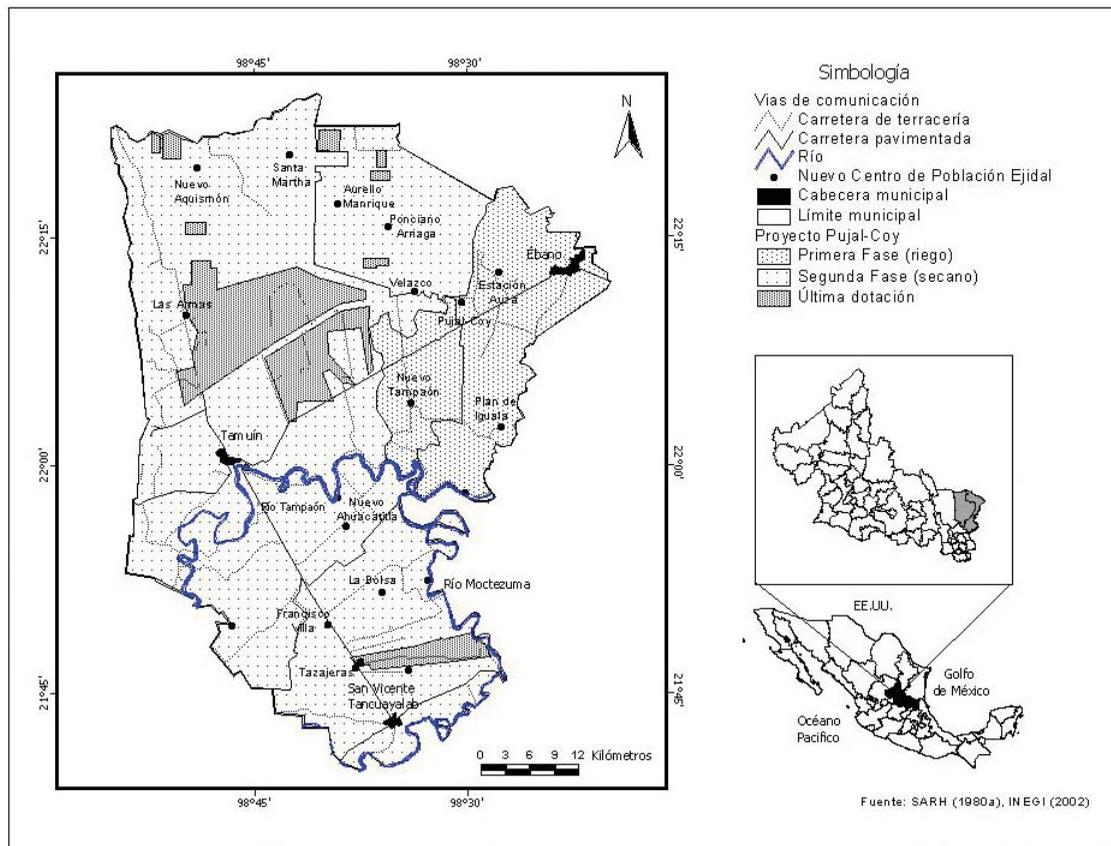


Figura 1. Área del proyecto Pujal-Coy, oriente de San Luis Potosí, sur de Tamaulipas y norte de Veracruz, México.

truir las presas "Pujal" y "Coy" sobre los ríos que dan nombre a este proyecto. En los terrenos de esta segunda fase, además de la presencia de las selvas bajas, existía la selva mediana subperennifolia. A pesar de que lo programado en materia de desmontes, caminos y drenes tuvo avances significativos, más del 60% de los terrenos de esta fase continúan siendo de secano y ambas presas están aún en proyecto (CNA, 2001). Aguilar-Robledo (1995) señala que durante la primera y segunda fase del proyecto 110 000 ha de selvas fueron transformadas en áreas agrícolas y ganaderas.

En este contexto, este trabajo documenta los cambios en la cobertura y uso de suelo derivados de la puesta en marcha del proyecto Pujal-Coy. Sus objetivos son evaluar el impacto de este proyecto en la vegetación preexistente, identificar y cuantificar los cambios del uso del suelo derivados de su implementación e identificar la tendencia de uso del suelo.

MÉTODOS

Localización y descripción del área en estudio

El área en estudio se localiza entre las coordenadas geográficas 21°40' a 22°25' latitud norte y 98°20' a 98°55' latitud oeste, sobre una superficie de 3 056 km², en los municipios potosinos de Ébano, Tamuín y San Vicente Tancuayalab. La zona de Pujal-Coy está dominada por una topografía plana con un suave declive hacia el mar, y por pequeñas áreas de lomerío suave, ubicadas hacia el norte del área en el municipio de Tamuín (INEGI, 2002).

El clima predominante en el norte del área en los municipios de Ébano y Tamuín, corresponde al tipo cálido subhúmedo $Aw_0(e)gw''$, que se distingue por un período marcado de lluvias en los meses de julio a octubre y de sequía en los meses de noviembre a junio, una temperatura media anual de 24.5° C y una precipitación de 870 mm por

año. Comparativamente ésta es la zona más seca de Pujal-Coy. Hacia el sur, en el municipio de San Vicente Tancuayalab, el clima tiende a ser más húmedo $Aw_1(e)w''$, con una precipitación de 1 350 mm y una temperatura media anual de 25° C. En toda la región existe una marcada estacionalidad, presencia de la canícula o sequía intraestival durante los meses de julio y agosto asociada con un notable incremento de plagas y enfermedades particularmente en la zona más seca del área; ciclones en los meses de septiembre y octubre y "nortes" en los meses de diciembre y enero (INEGI, 2002).

Los suelos presentes son los leptosoles y regosoles localizados en las partes más altas; los gleysoles que se distribuyen en las áreas sujetas a inundaciones; los feozems que están presentes en los pequeños lomeríos del área; y los vertisoles que se localizan en las planicies. Estos últimos destacan por su extensión debido a que ocupan más de 260 000 ha y se distribuyen, casi por completo, en los tres municipios del proyecto. A pesar de tener una fertilidad alta y media, los vertisoles presentan serias dificultades para su manejo debido a que su labranza adecuada sólo se puede realizar dentro de límites muy estrechos del óptimo de humedad. Estos suelos presentan problemas de saturación y encharcamiento de agua cuando están húmedos y de endurecimiento y agrietamiento cuando están secos, debido a la presencia de una arcilla muy expandible (Brady y Well, 2002; ISRIC, 1994).

Análisis del espacial

Para estimar e identificar los cambios en la cobertura y el uso del suelo a través del tiempo se utilizaron cuatro imágenes de satélite *Landsat* georreferenciadas; tres imágenes MSS (mayo de 1973, octubre de 1985 y octubre de 1990) de 60 m de resolución espacial y una imagen ETM+ de abril de 2000 de 30 m de resolución. Para el análisis se consideró una subescena de 1 099 x 1 459 píxeles, en el caso de las imágenes MSS, y de 2 521 x 3 161 píxeles

para la imagen ETM+ (aproximadamente 5 770 km²). Para el proceso digital y clasificación de las imágenes se utilizó el programa IDRISI 32,2 y las bandas 2, 3, y 4 de las imágenes MSS, además de la bandas 5 y 7 en el caso de la imagen ETM+.

La clasificación incluyó, en primera instancia, la delimitación de campos de entrenamiento para diferentes tipos de cobertura del suelo (selva baja espinosa, selva baja caducifolia, selva mediana subperennifolia, agricultura de riego, agricultura de secano, praderas, vegetación secundaria arbustiva, vegetación secundaria herbácea, cuerpos de agua y asentamientos humanos), sobre compuestos en falso color de la imagen. Para determinar la respuesta espectral de cada cobertura en cada una de las bandas se analizaron los histogramas correspondientes; cuando éstos no mostraron una distribución normal se procedió a redefinir los límites de los campos de entrenamiento, con el apoyo de la cartografía existente y con base en el conocimiento del área en estudio.

Debido a la dificultad para separar espectralmente los tres tipos de selva, se optó por agruparlos en una sola clase. Una vez que fueron cotejados y corregidos, los campos de entrenamiento se utilizaron en una clasificación supervisada mediante el algoritmo de máxima verosimilitud (Lillesand *et al.*, 2004; Mas y Ramírez, 1996). De esta manera se obtuvieron tres mapas de cobertura y uso del suelo con las siguientes clases: *i*) áreas cubiertas con selva, *ii*) áreas dedicadas a praderas, *iii*) áreas dedicadas al cultivo, *iv*) áreas cubiertas con vegetación secundaria arbustiva, *v*) áreas cubiertas con vegetación secundaria leñosa, y *vi*) cuerpos de agua. Se trabajó con la proyección UTM y la escala de los mapas finales fue de 1:125 000, con un área mínima mapeable de 43 ha.

Para contrastar la exactitud de la clasificación se compararon los mapas resultantes con la cartografía de INEGI (1985), COTECOCA (1974) y Puig (1991); posteriormente, se reali-

zaron diversos recorridos de campo para verificar el uso y cobertura actual del suelo, las condiciones físicas del terreno y el uso de la tierra asociado a estas condiciones físicas. De la verificación en campo se obtuvieron 230 puntos de control correspondientes a diferentes clases de cobertura del suelo. Los errores encontrados en la clasificación fueron corregidos reasignando los píxeles erróneamente clasificados a la clase correspondiente. Finalmente, se midió la exactitud global y se obtuvo un 79% de píxeles correctamente clasificados (Mas y Ramírez, 1996).

La localización y cuantificación de las áreas deforestadas y superficies que cambiaron de uso se logró a través de la comparación de los mapas de cobertura del terreno para los períodos de 1973-1985, 1985-1990 y 1990-2000, por medio de una sobreposición cartográfica y una tabulación cruzada (Bocco *et al.*, 2001; Eastman *et al.*, 1994). Así, se generaron mapas y tablas de cambio para cada período de estudio, con lo cual se pudieron identificar las superficies con cambios y las que no lo tuvieron. La tasa de deforestación anual fue calculada con la fórmula propuesta por la FAO (Velázquez *et al.*, 2002a; Velázquez *et al.*, 2002c).

Ante las dificultades para separar espectralmente los tres tipos de selva, se digitizó la carta de vegetación y uso del suelo de INEGI escala 1:250 000. Para precisar sus límites, los polígonos correspondientes a cada tipo de selva fueron cotejados y, en su caso, corregidos con base en la cartografía e información de campo de Puig (1991), COTECOCA (1974) y Rzedowski (1961). La información en formato *vectorial* fue transformada a formato *raster* tomando como base las dimensiones de las imágenes; por medio de una sobreposición cartográfica se obtuvo la superficie para cada tipo de selva y el área deforestada para cada período.

Para analizar la evolución de la cubierta vegetal e identificar los remanentes de vegetación arbórea, las cuatro imágenes originales se imprimieron en compuestos de falso color (MSS en escala 1:125 000 y ETM+ en es-

cala 1:50 000). En la imagen más reciente se delimitaron los remanentes de vegetación arbórea, se calculó su superficie y posición geográfica. A partir de su situación actual, el análisis retrospectivo del resto de las imágenes permitió establecer el origen, modificación o alteración de los remanentes identificados. También se constató el surgimiento y evolución de nuevos remanentes y el uso de suelo que les antecedió; de esta manera se identificaron los remanentes de vegetación arbórea con más de 30 años y menores de 20 años de edad. Para detallar las características de estos remanentes se empleó, además, una imagen ETM+ pancromática de 16 m de resolución de febrero de 2002. Luego, por medio de los recorridos de campo se reconocieron las condiciones y características de los

relictos, la continuidad entre ellos, su estructura vegetal, el grado de perturbación, el tipo de tenencia de la tierra y el aprovechamiento de sus recursos.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos indican que en 1973, las selvas ocupaban el 32% del área (98 270 ha), las praderas el 21% (66 700 ha), la vegetación secundaria el 20% (61 513 ha), las áreas de cultivo el 14% (44 960 ha) y los cuerpos de agua (lagunas y pantanos) el 1.8% (5 430 ha; Figura 2). Para 1985, la superficie de selva se había reducido en 73 100 ha y los cuerpos de agua tuvieron un descenso de 2 300 ha. Las áreas dedicadas al cultivo se expandieron en 25 900 ha, al igual que las áreas cubiertas con

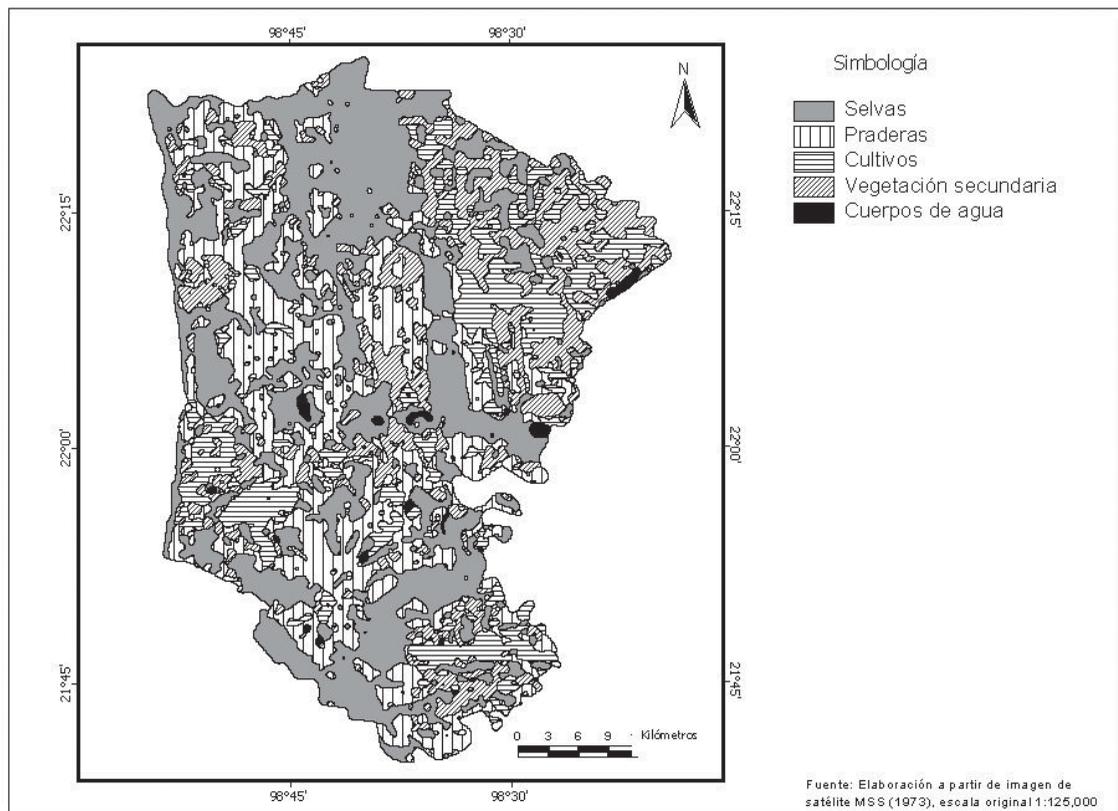


Figura 2. Cobertura y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973.

vegetación secundaria arbustiva que se incrementaron en 41 800 ha, mientras las praderas mostraron un ligero descenso con respecto a 1973. Para 1990, las selvas cubrían menos del 6% de la superficie total, mientras que las praderas ocupaban el 38%, más del doble de las áreas dedicadas al cultivo, que cubrían apenas el 17%. Las áreas cubiertas por vegetación secundaria (arbustiva y arbórea) ocupaban, en conjunto, el 36% de la superficie. Para el 2000, las selvas se habían reducido a menos del 4% de la superficie que ocupaban al inicio del proyecto, mientras que las áreas agrícolas registraron un descenso del 28% con respecto a 1985; al igual que la vegetación secundaria arbustiva y arbórea que también redujo su superficie, en particular, la vegetación arbustiva. Las praderas, por su parte, tuvieron un incremento de 80 000 ha al pasar de 117 500 ha en 1990 a 196 800 ha en 2000 (Cuadro 1; Figuras 3 y 4).

Durante los primeros años del proyecto, la transformación de los agostaderos (áreas con vegetación espontánea fuertemente perturbada por el ganado) y las “tierras ociosas” (denominación oficial de las tierras cubiertas con vegetación primaria) en grandes superficies irrigadas productoras de oleaginosas, hortalizas y granos básicos, derivó en una expansión acelerada de la frontera agrícola. No obstante, la planeada transición de una

ganadería extensiva a una agricultura intensiva basada en el riego sólo fue consumada de manera limitada. Esto se hizo evidente por el considerable incremento de las áreas cubiertas por vegetación secundaria (Cuadro 1; Figura 3). En su mayoría, terrenos desmontados al inicio del proyecto, fueron cultivados durante un tiempo y, posteriormente, abandonados.

Aunque desde 1978 se avizoraba el retorno de la ganadería extensiva, fue hasta después de 1986 cuando ocurrió un apresurado giro en las actividades productivas del Pujal-Coy. Durante el período 1985-1990 cerca de 51 200 ha de terrenos dedicados al cultivo y áreas cubiertas con vegetación secundaria arbustiva fueron reconvertidas a praderas, mientras que las áreas cultivadas tuvieron un descenso de 18 500 ha (Cuadro 1). Lo anterior evidenciaba una clara tendencia hacia la recuperación del anterior uso del suelo, que se fortaleció en la siguiente década cuando registró un incremento espectacular. Durante el período 1990-2000 las praderas se extendieron por toda el área hasta ocupar casi por completo el norte y sur del municipio de Tamuín, así como el noroeste de San Vicente Tancuayalab. Después de 1990, a la superficie de praderas se sumaron casi 80 000 ha, hasta incrementar su cobertura a poco más del 64% de la superficie total (Figura 3). Este creci-

Cuadro 1. Cambios en la cobertura y uso del suelo (ha) en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973-2000

Clase	Superficie en 1973		Superficie en 1985		Cambio (ha) (tasa)		Superficie en 1990		Cambio (ha) (tasa)		Superficie en 2000		Cambio (ha) (tasa)	
	Superficie	%	Superficie	%	(ha)	(tasa)	Superficie	%	(ha)	(tasa)	Superficie	%	(ha)	(tasa)
Selvas	98 272	32.16	25 164	8.23	-73 108	11.12	17 842	5.84	-7 322	6.65	10 216	3.34	-7 625	5.42
Praderas	66 710	21.83	66 328	21.70	-381	0.05	117 545	38.46	51 216	12.12	196 823	64.40	79 278	5.30
Cultivos	44 962	14.71	70 906	23.20	25 943	3.97	52 337	17.13	-18 569	5.89	51 033	16.70	-1 303	0.24
Vegetación secundaria arbustiva	61 513	20.13	103 283	33.80	41 770	4.57	53 656	17.56	-49 626	12.28	18 944	6.20	-34 712	9.85
Vegetación secundaria arbórea	28 716	9.40	36 822	12.05	8 106	1.87	57 668	18.87	20 846	9.39	24 911	8.15	-32 756	11.31
Cuerpos de agua	5 432	1.78	3 101	1.01	-2 329	-4.60	6 557	2.15	3 456	16.15	3 681	1.20	-2 876	6.36
Total	305 605	100	305 605	100			305 605	100			305 605	100		

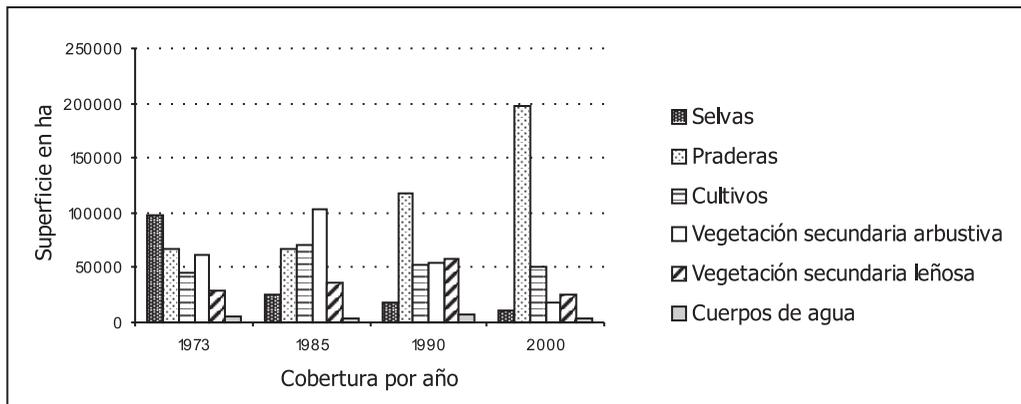


Figura 3. Evolución de la cobertura y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973-2000.

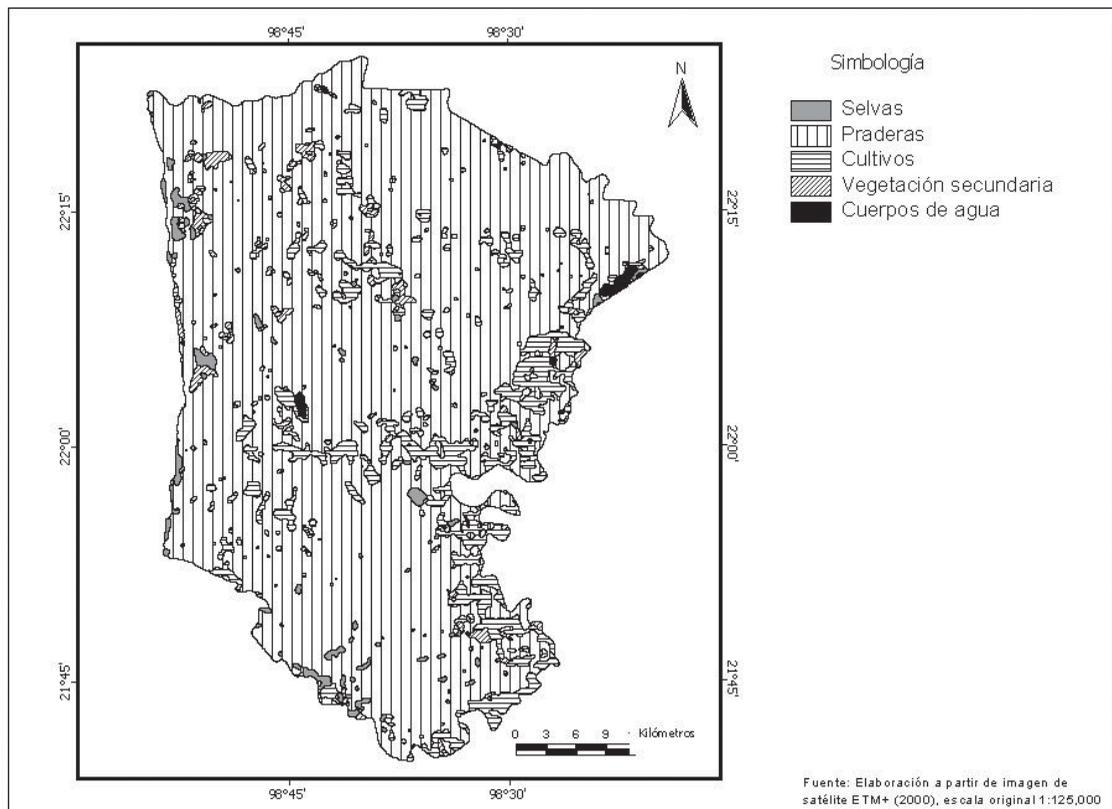


Figura 4. Cobertura y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 2000.

miento se aprecia particularmente en el norte de Tamiún y el centro de San Vicente Tancuayalab; las áreas dedicadas al cultivo, por su parte, se concentraron en la zona de riego, en las márgenes de los ríos Tampaón y Moctezuma y en las cercanías de las cabeceras municipales (Figura 4).

A la fecha sólo cuentan con infraestructura de riego cerca de 67 000 ha, de las cuales se irrigan 42 000 ha localizadas principalmente en el municipio de Ébano (primera fase); en los terrenos de la segunda fase gran parte de la infraestructura construida ha sido inoperante o está en ruinas. De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CNA), en 2002, en total se irrigaban únicamente 22 000 ha de cultivos y 19 600 de praderas en toda el área del proyecto Pujal-Coy.

Desde sus inicios y hasta 1985, un año antes de que oficialmente se retirara el financiamiento para construir la infraestructura del Pujal-Coy, 73 100 ha de selvas fueron convertidas en campos de cultivo y praderas. De la superficie total deforestada el 13% era selva baja espinosa, el 68% selva baja caducifolia y el 19% selva mediana subperennifolia. Las principales transformaciones ocurrieron al norte y suroeste de Tamiún, noroeste de Ébano y norte de San Vicente, en su mayoría, en terrenos pertenecientes a la segunda fase del proyecto (Figura 5). De las 25 100 ha de selvas que aún quedaban en 1985, se redujeron a 17 800 ha en 1990 y en 2000 sólo existían unas 10 200 ha de selvas fragmentadas con diferentes grados de perturbación (Cuadro 1). Dispersos en el centro y norte de Tamiún, oeste de San Vicen-

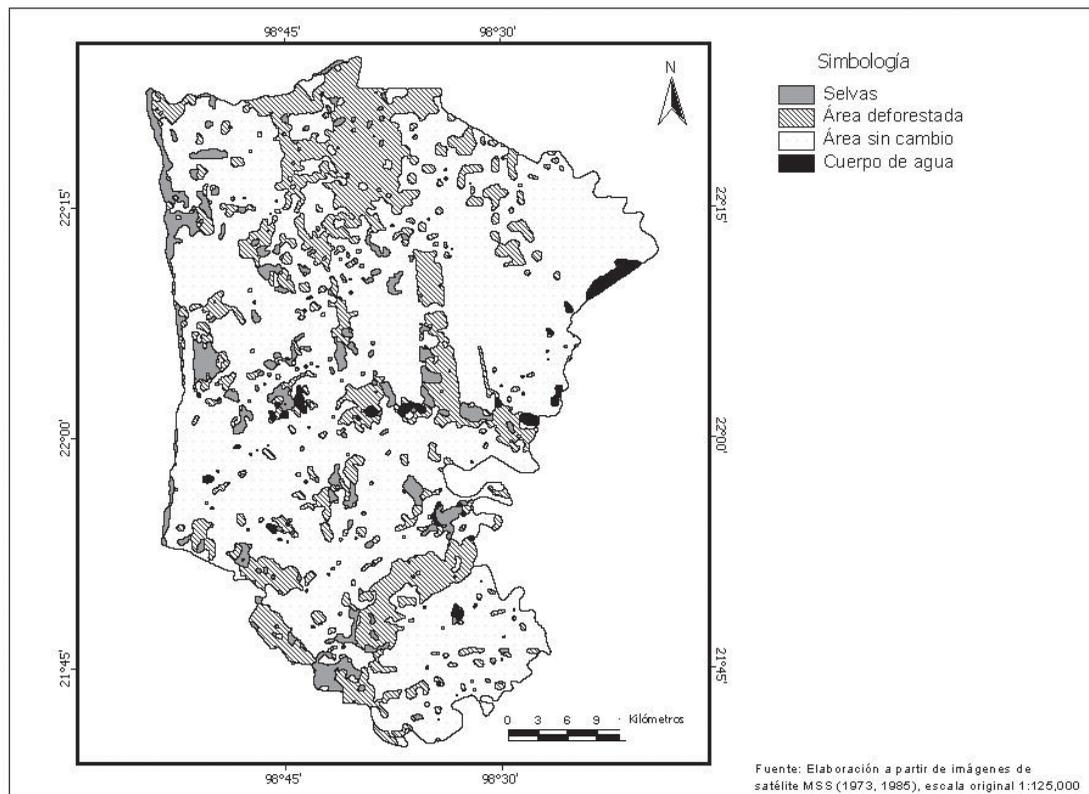


Figura 5. Áreas deforestadas en el período 1973-1985 del área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México.

te Tancuayalab y sur de Ébano, se localizaron 44 relictos de selva mayores a 10 ha correspondientes a esta cobertura de selva. Al mismo tiempo se ubicaron 27 fragmentos de vegetación arbórea con más de 20 años de existencia, diseminados en el norte de Tamuín y este de San Vicente Tancuayalab. Estos fragmentos son áreas desmontadas al inicio del proyecto y que sólo se cultivaron unos cuantos años o nunca fueron cultivadas (Figura 6).

DISCUSIÓN

Los cambios en el uso del suelo

El planteamiento original del proyecto que transformaría los agostaderos y “tierras ocio-

sas” en grandes superficies irrigadas productoras de oleaginosas, hortalizas y cultivos básicos, no obstante que entre 1973 y 1985 las áreas de cultivo se había incrementado en un 9% y, junto con ello, se percibía una disminución de la superficie dedicada a la ganadería (Cuadro 1), la transición de una ganadería extensiva a una agricultura irrigada no fue consumada plenamente. Aunque inicialmente la expansión de la agricultura fue vertiginosa, debido a que los productores fueron motivados a sembrar cultivos rentables con apoyo del BANRURAL (Banco de Crédito Rural), el desconocimiento del manejo de los suelos tropicales (vertisoles, principalmente) y de la infraestructura de riego, la alta frecuencia de

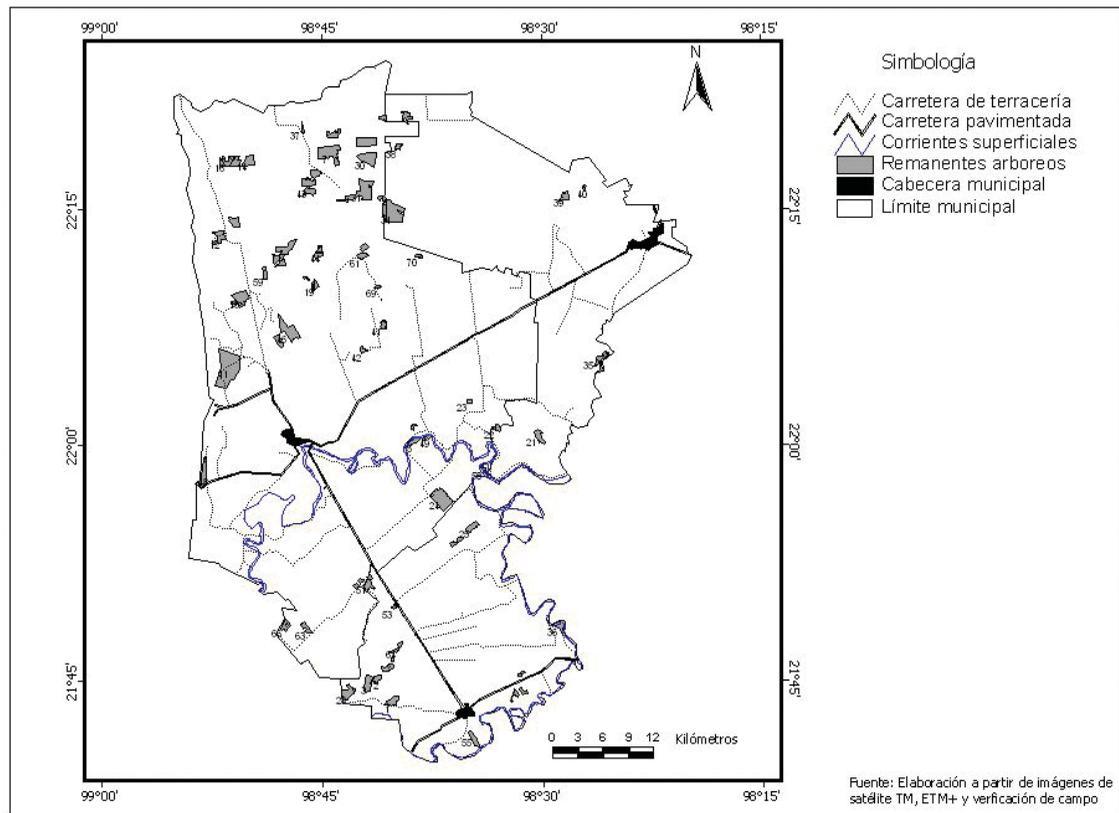


Figura 6. Remanentes de vegetación arbórea identificados en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México.

cultivadas a praderas (Reyes, 2005). La correlación entre la distribución espacial de las unidades edafológicas y las formas de aprovechamiento del suelo así parecen evidenciarlo. Como ya se mencionó, los vertisoles, no obstante su alta fertilidad, presentan serias dificultades para su labranza. Esta podría ser una de las razones del porqué entre 1985 y 2000, más del 66% de la superficie ocupada por estos suelos fue reconvertida a praderas (actividad que no requiere labranza). Por el contrario, las áreas cubiertas por gleysoles y fluvisoles, suelos cuyo manejo presenta menores inconvenientes, mantienen una actividad agrícola permanente desde el inicio del proyecto, destacando en la actualidad por su producción de hortalizas y oleaginosas (CNA, 2003; SAGARPA, 2003).

Aunque se elaboraron estudios agrológicos "detallados", donde se definen las características, potencial, estrategias de manejo, etc., de los suelos del área del proyecto (SARH, 1980), el factor edáfico aparentemente fue ignorado o subestimado, antes y durante la etapa de operación del proyecto. Una posible explicación al respecto se relaciona con la escasa planeación del aparato burocrático de la época y la urgencia de las dependencias involucradas por cumplir las metas programadas. Esta sería la razón principal por la cual la capacitación para el manejo de suelos tropicales y la implementación de estrategias para su utilización no fueron instrumentadas. Además, como se ha señalado anteriormente, los vertisoles requieren un punto óptimo de humedad para su labranza, el cual generalmente sólo se consigue mediante la aplicación regulada de agua a través de riego, meta que también fue incumplida.

El impacto sobre la cubierta vegetal

Los señalamientos iniciales de que 110 000 ha de selva habían sido deforestadas a consecuencia del proyecto (Aguilar-Robledo, 1995) no coinciden con las obtenidas en este estudio.

Parte de esta discrepancia se debería a que en este trabajo se considera como deforestación únicamente la remoción de vegetación primaria provocada por actividades humanas (Aguilar *et al.*, 2000). Si se acepta que al inicio del proyecto las selvas cubrían menos de 100 000 ha, la mencionada estimación no sería posible. Una explicación de esta sobreestimación podría ser que los cálculos iniciales incluyeron áreas cubiertas con vegetación secundaria arbustiva, además, de que la metodología empleada fue diferente a la aquí utilizada. Aunque autores, como Velázquez y colaboradores (2002a; 2002b), consideran también como deforestación la remoción de vegetación secundaria "leñosa"; no aportan suficientes detalles sobre las características estructurales y composición florística que debería tener esta vegetación deforestada.

De acuerdo con Puig (1991) y Rzedowski (1961), en el área en estudio la mayoría de las selvas difieren estructural y florísticamente de las comunidades vegetales secundarias; por este motivo no se incluye a la vegetación secundaria como parte del proceso de deforestación. Debe mencionarse, además, que uno de los impactos del cambio en la cobertura del suelo tiene que ver con la pérdida de la biodiversidad, la eliminación de la variabilidad genética de las poblaciones e incluso de especies (Meli, 2003) y no sólo con la disminución de la cubierta arbórea; por ello, el impacto de la deforestación será aún mayor cuando se trata de una vegetación primaria. Empero, más allá de las discrepancias numéricas, la magnitud de los cambios ambientales provocados por el proyecto es algo en que éste y otros estudios coinciden.

El desmonte de más de 73 000 ha de selva entre 1973 y 1985 significó una tasa anual de deforestación del 11%, una cifra muy superior a las tasas estimadas para otras regiones del país en la misma época y similares tipos de vegetación (Cuadro 2). No obstante, este porcentaje concuerda con el estimado por

Masera (1996) para la región de Palenque, Chiapas y Tenosique, Tabasco. Esta coincidencia, la inversión de cuantiosos recursos públicos para deforestar superficies extensas en poco tiempo, parece una constante de los proyectos de desarrollo impulsados por el Estado, algo también documentado en otros países latinoamericanos. Así, el proyecto Pujal-Coy también muestra con elocuencia que algunas acciones del Estado son responsables en gran medida del proceso de deforestación en México y en otros países, como Brasil (Geist y Lambin, 2002; Hecht, 1993; 1985).

Comparativamente con las tasas de deforestación promedio por *tipo de vegetación* (selvas caducifolias y subcaducifolias) y *formación* (selvas indistintamente) estimadas a nivel nacional por Velázquez y colaboradores (2002a; 2002b; 2002c) en 0.65 y 0.76%, respectivamente, durante el período 1976 a 2000, la tasa estimada en el área en estudio parecería una exagerada sobreestimación. No obstante, las propias estadísticas oficiales de los avances registrados en materia de desmontes y trabajos efectuados con maquinaria pesada validan los resultados aquí expuestos (CNA, 2001).

En particular, el impacto ambiental del proyecto Pujal-Coy fue reducir en 75% la su-

perficie original cubierta por los tres tipos de selva y, con ello, la erradicación de la fauna asociada a esta vegetación. En gran medida, este impacto irreversible se debió a la rapidez con que el Estado, a través de contratos y empleando *bulldozers*, se encargó de desmontar, desenraizar y quemar los considerables volúmenes de madera con el objeto de entregar los terrenos completamente limpios a los colonos (SARH, 1980a). El drenaje de las áreas inundadas que, irónicamente, después tendrían que ser irrigadas y la nivelación con maquinaria pesada complementaron estas modificaciones. Cabe señalar que para 1985 el área ocupada por los cuerpos de agua se había reducido en un 50%, principalmente en el sistema lagunar del oriente de San Luis Potosí, norte de Veracruz y sur de Tamaulipas, con el impacto irreversible sobre la biota correspondiente. Las diferencias entre los tipos de vegetación, sugieren que el proyecto podría haber afectado de modo distinto a estas selvas y aunque se requieren mayores investigaciones al respecto a manera de hipótesis se postula que, en términos de pérdida de biodiversidad y biomasa vegetal, el desmonte de una menor superficie de selva mediana tuvo similares repercusiones que el desmonte de mayor superficie de selva baja caducifolia.

Cuadro 2. Tasas de deforestación en algunas regiones de México en períodos y tipos de vegetación similares

Región	Tipo de vegetación	Tasa de deforestación %/año	Período	Fuente
Los Tuxtlas, Veracruz	Selva alta y mediana perennifolia	4.3	1976-1986	Dirzo y García (1992)
Calakmul, Campeche	Selva mediana subperennifolia	2.0	1975-1985	Cortina <i>et al.</i> (1999)
Tenosique, Tabasco Palenque Chiapas	Selva alta y mediana perennifolia	11.0	1970-1980	Masera (1996)
Calakmul, Campeche	Selva mediana subperennifolia	4.5	1970-1996	Díaz <i>et al.</i> (2001)
Morelos	Selva baja caducifolia	2.7	1986-1990	Trejo y Dirzo (2000)

Si bien existen eventos naturales como los ciclones, por ejemplo, que propician algún tipo de alteración en la cobertura natural, las modificaciones humanas como la descrita indudablemente provocaron la fragmentación de los ecosistemas, la degradación de los suelos aceleraron la pérdida de hábitat de la fauna y la reducción de la diversidad biológica. Aunque habría que ampliar la investigación al respecto, puede suponerse que los cambios referidos modificaron los ciclos hídricos y los regímenes locales de temperatura y, de alguna manera, contribuirían al calentamiento global (Meli, 2003; Lambin *et al.*, 2001; Vitousek *et al.*, 1997).

Durante el proceso de retorno al anterior uso del suelo, la propia inercia generada por el proyecto influyó para que la deforestación continuara, aunque a un menor ritmo (6.6% para el período 1985-1990 y 5.4% para el período 1990-2000), con destino principal hacia la ganadería y realizada directamente por los colonos y ganaderos. Al respecto se postula que en los desmontes efectuados después de 1986, casi no se empleó maquinaria pesada, es decir, gran parte de la deforestación se efectuó manualmente; la inclusión de la vegetación secundaria arbustiva (acción que representa menor costo y esfuerzo que el desmonte de vegetación arbórea), cuya tasa anual de cambio es superior al 12% en el segundo período y de casi 10% en el tercero; y, finalmente porque los terrenos con selva son cada vez más escasos, se encuentran en áreas con topografía accidentada o carecen de los incentivos mínimos para invertir en su desmonte. En este sentido, Trejo y Dirzo (2000) y Maass (1995) señalan que, generalmente, en terrenos con pendientes moderadas y fuertes no se establecen áreas agrícolas ni pecuarias, debido a su inaccesibilidad; además, que al eliminar su cubierta vegetal los suelos se pierden a causa de la erosión, volviéndose improductivos. Ésta parece ser la razón de porqué la mayoría de los relictos de vegetación se encuentran en las áreas más abruptas y suelos pobres y poco

profundos como los regosoles y leptosoles (Brady, 2002).

A pesar de que las selvas baja espinosa y baja caducifolia de la planicie Huasteca se consideraban extintas a causa de la deforestación ocasionada por el Estado al poner en marcha el proyecto Pujal-Coy (Torres y Sierra 2003), con este trabajo se ha identificado la presencia de relictos de estos tipos de vegetación. Otro aspecto alentador es que algunos remanentes localizados en terrenos inicialmente deforestados, pero posteriormente abandonados, están en un proceso de recuperación y algunos de ellos presentan ya características parecidas a las de una selva primaria (Puig, 1991; Rzedowski, 1961). Aunque en varios ejidos estos remanentes son conservados *ex profeso* (lo cual refleja cierto interés de los productores por mantener los últimos relictos de selva y áreas en proceso de recuperación), la amenaza del desmonte está latente, sobre todo en los terrenos que presentan menores restricciones para el uso agropecuario, debido a la presión por ampliar la frontera agropecuaria.

CONCLUSIONES

Desde la puesta en marcha del proyecto Pujal-Coy, en 1973, la tasa anual de deforestación del 11% se mantuvo constante hasta 1985, período durante el cual las actividades productivas en el proyecto fueron financiadas por el Estado mexicano. La cuantificación directa de la superficie transformada, sobreestimada anteriormente, permite dimensionar con mayor precisión el impacto ambiental del proyecto, cuyo saldo más notorio fue haber reducido en más de un 75% la superficie cubierta por selvas. A pesar de los avances logrados en los desmontes, la transición planeada de una ganadería extensiva hacia una agricultura intensiva de riego se logró parcialmente. Por el contrario, existe una recuperación del predominio de la ganadería extensiva, pero con un enorme costo ambiental.

Actualmente, las áreas destinadas al cultivo ocupan sólo el 16% del área total, apenas 7 300 ha más que en 1973, mientras que la superficie ocupada por las praderas rebasa las 195 000 ha. Ante este escenario, es urgente la conservación de los fragmentos de vegetación arbórea que aún permanecen y aquéllos que se encuentran en proceso de recuperación. Estudiar sus atributos estructurales y analizar las razones de su permanencia es básico para proteger los relictos que persisten en el área de Pujal-Coy. Finalmente, se requiere analizar el impacto del desmonte en los remanentes en recuperación, el ocasionado por el Estado y por los colonos y la relación con su estructura y composición vegetal.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Geografía de la UNAM y al Dr. Paul F. Hudson, del Departamento de Geografía de la Universidad de Texas en Austin, que generosamente proporcionaron las subescenas de las imágenes de satélite. La Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental del Gobierno del Estado de San Luis Potosí por facilitar algunas de las coberturas digitales empleadas; la SAGARPA y CNA que proporcionaron información sumamente valiosa. Los Fondos Mixtos CONACYT-Gobierno del Estado de San Luis Potosí por otorgar el financiamiento para la realización del proyecto (FMSLP-2002-5715). El primer autor agradece al Instituto de Investigación de Zonas Desérticas y la Coordinación de Ciencias Sociales de la UASLP por las facilidades para efectuar la investigación, a CONACYT por la beca-crédito otorgada y a la UNAM por la beca complementaria.

REFERENCIAS

Aguilar, C., E. Martínez y L. Arriaga (2000), "Deforestación y fragmentación de ecosistemas: ¿qué tan grave es el problema en México?", *Biodiversitas*, 30:7-11.

Aguilar-Robledo, M. (1995), *Autopsia de un fracaso: el caso del proyecto Pujal-Coy de la Huasteca Potosina*, Ponciano Arriaga, San Luis Potosí, México.

Baca del Moral, J. (1992), "El sector campesino de Pujal-Coy: situación y alternativas", en Aguilar-Robledo, M. y M. Muñoz (eds.), *El proyecto de riego Pujal-Coy de la Huasteca Potosina. Problemática y alternativas*, UACH y UASLP, San Luis Potosí, México, pp. 136-148.

Baca del Moral, J. (1997), "Tendencias de la agricultura en la Huasteca Potosina", *Geografía Agrícola*, núm. 24-25, pp. 85-97.

Bocco, G., M. Mendoza y O. Masera (2001), "La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 44, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 18-38.

Brady, N. and R. Well (2002), *The nature and properties of soils*, 3rd. Edition Prentice Hall, New Jersey, USA.

CNA (2001), *Informe interno del Distrito de Riego 092 Río Pánuco Unidad Pujal-Coy 1*, Subdirección General de Operación, Gerencia de Distritos y Unidades de Riego, Gerencia Regional Golfo Norte y Gerencial Estatal en San Luis Potosí, Comisión Nacional del Agua, San Luis Potosí, México.

CNA (2003), *Estadísticas agropecuarias de distrito*, Subdirección General de Operación, Gerencia Regional Golfo Norte, Gerencia de Distrito de Temporal Tecnificado 005, Pujal-Coy II Fase, Comisión Nacional del Agua, San Luis Potosí, México.

Cortina-Villar, H., P. Macario-Mendoza y Y. Ogneva-Himmelberger (1999), "Cambios en el uso del suelo y deforestación en el sur del estado de Campeche y Quintana Roo, México", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 38, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 41-50.

COTECOCA (1974), *Coefficientes de agostadero, capítulo San Luis Potosí*, SAG, Comisión Técnica Consultiva para la Determinación de Coeficientes de Agostadero, México, pp. 4-23.

- Cropper, M., C. Griffiths and M. Mani (1997), "Roads population pressure and deforestation in Thailand, 1976-1989", The World Bank, Policy Research Working Paper, no.1726.
- Díaz, C. H. y P. E. Valtierra (1992), "Impacto del proyecto de la cuenca baja del río Pánuco", en Aguilar-Robledo, M. y M. Muñoz (ed.), *El proyecto de riego Pujal-Coy de la Huasteca Potosina. Problemática y alternativas*, UACH y UASLP, San Luis Potosí, México, pp. 52-82.
- Díaz, J. R. G. García, O. Castillo e I. March (2001), "Uso de suelo y transformación de selvas en un ejido de la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche, México", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 44, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 39-53.
- Dirzo, R. and M. C. García (1991), "Rates of deforestation in Los Tuxtlas a neotropical area in southeast Mexico", *Conservation Biology*, 6, pp. 84-90.
- Eastman, J. R., J. E. McKendry and M. A. Fulk (1994), "Change and time series analysis", 2nd ed. United Nations Institute for Training and Research, *Exploration in Geographic System Technology*, vol 1. Geneva, Switzerland, pp. 21-24.
- Geist, H. J. and E. F. Lambin (2002), "Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation", *BioScience* 52, pp. 143-150.
- Hecht, S. B. (1993), "The logic of livestock and deforestation in Amazonia", *BioScience*, 10, pp. 687-695.
- Hecht, S. B. (1985), "Environment, development and politics: capital accumulation and livestock sector in eastern Amazonia", *World development*, 13, pp. 663-684.
- INEGI (2002), *Síntesis Geográfica del Estado de San Luis Potosí*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- ISRIC (1994), *World reference base for soil resources*, FAO, International Soil Reference and Information Centre, Rome Italy.
- Lambin, E. F., B. L. Turner, J. G. Helmut, S. B. Agbola, A. Angelsen, J. W. Bruce, O. T. Coomes, R. Dirzo, G. Fischer, C. Folke, P. S. George, K. Homewood, J. Imbernon, R. Leemans, X. Li, E. F. Mora, M. Mortimore, P. S. Ramkrishnan, J. Richards, A. Skånes, W. Steffen, G. D. Stone, U. Svedin, T. A. Veldkamp, C. Vogel and J. Xu (2001), "The causes of land cover change: moving beyond the myths", *Global Environmental Change*, 11, pp. 261-269.
- Lillesand, T. M., R. W. Keiffer and J. W. Chipman (2004), *Remote sensing and image interpretation*, 5th ed., John Wiley & Sons Inc., New York, USA, pp. 491-624.
- Maass, M. J. (1995), "Conversion of tropical dry forest to pasture and agriculture", en Bullock S., H. Money y E. Medina (eds.), *Seasonally dry tropical forests*, Cambridge University Press, pp. 399-422.
- Mas, J. F. e I. Ramírez (1996), "Mejoramiento de las clasificaciones espectrales de cubiertas de suelo por medio de un sistema de información geográfica", *Boletín*, núm. especial 4, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 111-122.
- Masera, O. (1996), *Deforestación y degradación forestal en México*, Documento de Trabajo núm. 19, Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, Pátzcuaro, Michoacán, México.
- Meli, P. (2003), "Restauración ecológica de bosques tropicales. Veinte años de investigación académica", *Interciencia*, 8, pp. 581-589.
- Munroe, D. K., J. Soutworth y C. M. Tucker (2002), "The dynamics of land-cover change in western Honduras: exploring spatial and temporal complexity", *Agriculture Economic*, 27, pp. 355-369.
- Muñoz, R. M. (1992), "Desintegración, descapitalización y rentismo ejidal en la Huasteca Potosina: estudio de caso del proyecto Pula-Coy", en Aguilar-Robledo M. y M. Muñoz (eds.), *El proyecto de riego Pujal-Coy de la Huasteca Potosina. Problemática y alternativas*, UACH y UASLP, San Luis Potosí, México, pp. 52-82.
- Puig, E. (1991), *Vegetación de la Huasteca (México)*, Institut Français de Recherche Scientifique pour

le Développement en Coopération (ORSTOM) e Instituto de Ecología, México.

Repetto, R. (1988), *The forest for the trees? Government Policies and the Misuse of Forest Resources*, World Resources Institute, Cambridge University Press.

Reyes, H., (2005), *Evolución y caracterización de la cobertura del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí México, 1973-2005*, tesis de doctorado, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.

Rzedowski, J. (1961), *La vegetación del estado de San Luis Potosí*, tesis doctoral, Facultad de Ciencias, UNAM, México.

SAGARPA (2003), *Avance de siembras y cosechas*, Centro de Estadística Agropecuaria, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, San Luis Potosí, México.

SARH (1980), *Proyecto de riego y control de avenidas Pujal-Coy Segunda Fase, SLP, Tamps y Ver. Vol. I Memoria del proyecto y III Agrología*, Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica, Dirección General de Grande Irrigación, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México.

Steininger, M. K., C. J. Tucker, P. Ersts, J. Killeen, Z. Villegas and B. Hecht (2001), "Clearance and fragmentation of tropical deciduous forest in the tierras bajas, Santa Cruz, Bolivia", *Conservation Biology*, 4, pp. 856-866.

Torres, G. y S. Sierra (2003), *Las áreas naturales protegidas del estado de San Luis Potosí*, Secretaría

de Ecología y Gestión Ambiental (SEGAM), Gobierno del Estado de San Luis Potosí, México, pp. 3-13.

Trejo, I. and R. Dirzo (2000), "Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico", *Biological Conservation*, 94, pp. 133-142.

Turner II, B. L., S. Cortina Villar, D. Foster, J. Geoghegan, E. Keys E, P. Klepeis, D. Lawrence, P. Macario-Mendoza, S. Manson, Y. Ogneva-Himmelberge, A. B. Plotkin, D. Pérez-Salicrup, R. Roy Chowdhury, B. Avitsky, L. Schneider, B. Schmook and C. Vance (2001), "Deforestation in the southern Yucatán peninsular region: an Integrative approach", *Forest Ecology & Management*, 3, pp. 353-370.

Velázquez, A., J. F. Mas, J. R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, P. C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra y J. L. Palacio (2002a), "Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México", *Gaceta Ecológica*, 62, pp. 21-37.

Velázquez, A., J. F. Mas, J. L. Palacio-Prieto y G. Bocco (2002b), "Land cover mapping to obtain a current profile of deforestation in Mexico", *Unasylva*, 210, pp. 7-11.

Velázquez, A., J. F. Mas, J. L. Palacio-Prieto (2002c), *Análisis del cambio de uso del suelo*, Convenio INE-Instituto de Geografía, UNAM, México.

Vitousek, P. M., H. A. Money, J. Lubchenco and J. M. Melillo (1997), "Human domination of earth's ecosystems", *Science*, 277, pp. 494-499.