

2 Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas

AUTORES RESPONSABLES: Salvador Sánchez Colón • Arturo Flores Martínez •

I. Ahmed Cruz-Leyva • Alejandro Velázquez

AUTORES DE RECUADRO: mismos autores responsables

REVISORES: Gerardo Bocco Verdinelli • José Luis Palacio Prieto

CONTENIDO

- 2.1 Introducción / 76
- 2.2 Estado actual de los ecosistemas y paisajes terrestres del país / 80
- 2.3 Principales alteraciones y transformaciones que han experimentado los ecosistemas y paisajes terrestres en las últimas décadas / 92
- 2.4 Procesos responsables de las alteraciones y transformaciones que han experimentado los ecosistemas y paisajes terrestres en las últimas décadas / 95
 - 2.4.1 Selvas húmedas / 95
 - 2.4.2 Selvas subhúmedas / 96
 - 2.4.3 Bosques templados / 102
 - 2.4.4 Matorrales xerófilos / 106
 - 2.4.5 Pastizales / 110
 - 2.4.6 Prospectiva / 121
- 2.5 Conclusiones / 124

Referencias / 128

Recuadros

Recuadro 2.1. *Cartas de uso del suelo y vegetación del INEGI* / 78

Sánchez Colón, S., A. Flores Martínez, I.A. Cruz-Leyva y A. Velázquez. 2009. Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas, en *Capital natural de México*, vol. II: *Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO, México, pp. 75-129.

Resumen

Se examinó el estado actual y las principales alteraciones y transformaciones que los ecosistemas terrestres del país han experimentado en las últimas décadas, así como sus posibles factores causales, utilizando como base de información las tres ediciones de la *Carta de uso actual del suelo y vegetación* y la *Carta de vegetación primaria potencial* del INEGI.

En el año 2002, 72.5% del país aún estaba cubierto por comunidades naturales, pero solo 70% de estas eran comunidades relativamente poco alteradas. Los matorrales constituían la formación predominante (26.2%), mientras que bosques y selvas ocupaban 33.8%. Las cubiertas antrópicas cubrían 27.5% del territorio nacional siendo el uso agrícola (30.9 millones de hectáreas) y el pecuario (18.7 millones de hectáreas) las más importantes; los asentamientos humanos y áreas urbanas cubrían 1.27 millones de hectáreas.

Según la información disponible, hasta el año 2002 habría ocurrido una pérdida neta de hasta 103 289 km² de selvas húmedas, 94 223 km² de selvas subhúmedas, 129 000 km² de bosques templados, 91 000 km² de matorrales xerófilos y más de 59 000 km² de pastizales. La mayor parte de estas transformaciones ocurrió antes de los años setenta, pero en las últimas décadas se han seguido registrando pérdidas importantes. Las selvas han sido los ecosistemas terrestres que han sufrido las mayores transformaciones y afectaciones por las actividades humanas; en segundo lugar se encuentran los bosques templados y en tercero los matorrales xerófilos.

La expansión de las fronteras agrícola y pecuaria ha sido el proceso más importante de transformación de los ecosistemas

terrestres del país. La sustitución por pastizales para la actividad ganadera ha predominado en la zona de selvas húmedas, en tanto que la conversión a terrenos agrícolas ha sido más importante en las zonas de selvas subhúmedas, matorrales xerófilos y bosques templados. La creación y expansión de asentamientos humanos y zonas urbanas ha tenido un impacto cuantitativamente mucho menor. La expansión de la frontera agrícola y pecuaria ocurrió mayormente antes de la década de 1970, en tanto que la urbanización y expansión de ciudades ocurrió, sobre todo, de la década de 1970 a 1993. Otros procesos que han producido alteraciones y transformaciones en los ecosistemas terrestres del país son los desastres naturales (e.g., incendios forestales, huracanes, etc.), pero los datos disponibles no permiten evaluar su impacto.

De mantenerse constantes los procesos y ritmos de transformación observados durante el periodo 1993 a 2002, la superficie ocupada por los principales ecosistemas terrestres continuaría disminuyendo significativamente, en particular de manera severa en la zona de selvas (húmedas y subhúmedas) y de bosques templados.

A pesar de que la información acerca de las alteraciones y transformaciones que experimentan los ecosistemas terrestres del país —y de sus factores causales— es fundamental para la toma de decisiones, el análisis de estos procesos se ha visto limitado por la escasez y las deficiencias de la información disponible. Sin embargo, actualmente existen las condiciones para superar esas limitaciones, mediante el esfuerzo coordinado de las instituciones del país.

2.1 INTRODUCCIÓN

Durante miles de años, las actividades humanas han venido transformando y modificando la mayor parte de los ecosistemas del planeta. A lo largo de la historia, los cambios más importantes se han dado por la apertura de terrenos para cultivo y por la extracción de madera para construcción. Esos procesos se han acelerado en los últimos 150 años, de manera concomitante con el muy rápido crecimiento de la población humana. El estudio más reciente a escala global (MA 2005) concluye que, en los últimos 50 años, la población humana ha modificado los ecosistemas del planeta más rápida y extensivamente que en cualquier otro periodo de la historia para satisfacer la creciente demanda de alimentos, agua, madera, fibras y combustibles. En ese lapso se perdió la mitad de cubierta

forestal nativa del planeta, la extensión de las áreas de cultivo alcanzó 30% de la superficie terrestre, 35% de la extensión de manglares fue devastada, 20% de los arrecifes coralinos han sido perturbados y la demanda de uso de agua se cuadruplicó, entre otros cambios. Aunque la distribución de esos cambios no es homogénea —existen regiones y periodos donde alguno de ellos se concentra—, sus consecuencias pueden ser generales (por ejemplo, el calentamiento global y el adelgazamiento de la capa de ozono estratosférico) y en muchos casos irreversibles (como la extinción de especies).

México no ha escapado de esas tendencias mundiales. En sus casi dos millones de kilómetros cuadrados de superficie terrestre, se observa una gran cantidad de cambios que, en general, están por encima de la media mundial en cuanto a tasas de deforestación, incremento de las

áreas de cultivo y pastoreo, expansión urbana entre muchos otros problemas (Mas *et al.* 2004). En el presente capítulo se persiguen dos objetivos generales: en primer lugar, se busca describir la variedad, localización y extensión de los ecosistemas terrestres presentes en el país; en segundo, documenta los cambios que estos han experimentado a lo largo del tiempo, señalando la ubicación y extensión de esos cambios y, cuando la evidencia lo permite, explora las posibles causas que los desencadenaron y sus implicaciones.

Durante los últimos 50 años se han desarrollado tres diferentes —y, en su mayor parte, sin relación entre sí— tipos de esfuerzos para examinar el estado de los ecosistemas terrestres de México. Por una parte están los estudios realizados por botánicos para caracterizar la diversidad de tipos de vegetación que cubren el territorio nacional. El primer trabajo de este tipo, de carácter nacional, lo realizó A.S. Leopold (1950). A este siguieron, después de varios años, *Los tipos de vegetación de México y su clasificación* de Miranda y Hernández-Xolocotzi (1963), el *Mapa y descripción de los tipos de vegetación de la República Mexicana* de Flores Mata *et al.* (1971), los *Tipos de vegetación de México* de González Quintero (1974) y la *Vegetación de México* de Rzedowski (1978), hasta ahora, el trabajo más extenso e integrado del conocimiento de la vegetación del país. Finalmente, González Medrano (2003) hizo un amplio esfuerzo de síntesis y recapitulación de los esquemas previos en *Las comunidades vegetales de México. Propuesta para la unificación de la clasificación y nomenclatura de la vegetación de México*. En conjunto, esos trabajos fueron seminales en dos sentidos: por una parte, proporcionaron una visión general de la vegetación del país, de las comunidades vegetales que la constituyen, las principales especies que las componen, su ubicación ecológica y geográfica e, incluso, de algunos procesos antrópicos que les afectan; y por otra, igualmente importante, establecieron un marco de referencia para la ulterior descripción y análisis de las comunidades vegetales, la vegetación y los ecosistemas terrestres del país.

En otro orden de iniciativas se ubican los trabajos para evaluar las existencias forestales del país. De acuerdo con la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, el Inventario Nacional Forestal y de Suelos es el instrumento que debe proveer, entre otras cosas, la información relativa a los tipos de vegetación forestal, a la superficie y localización de terrenos forestales, así como a la dinámica de cambio de la vegetación forestal del país que permita evaluar las tasas de deforestación. A la fecha, en

México se han completado tres inventarios forestales de carácter nacional (el Primer Inventario Nacional Forestal [1961-1985], el Inventario Forestal de Gran Visión [1991] y el Inventario Nacional Forestal Periódico [1992-1994]) y uno más se encuentra en proceso, el cual se espera quede terminado en 2009; las principales características y resultados de esos inventarios están descritas en Semarnat (2005). Los primeros tres inventarios difieren sustancialmente entre sí en cuanto a la información básica empleada (fotografías aéreas e imágenes de distintos satélites, con diferentes niveles de muestreo de campo), las escalas de trabajo (desde 1:250 000 a 1:1 000 000) y, sobre todo, la clasificación que utilizan para la vegetación.

Mención aparte merece el esfuerzo realizado por la UNAM como parte del inconcluso Inventario Nacional Forestal 2000. En ese año, la entonces Semarnap comisionó al Instituto de Geografía de esta universidad la elaboración de una carta de vegetación y uso del suelo (escala 1:250 000) que serviría de base para dicho inventario (Palacio *et al.* 2000). La carta de vegetación se elaboró con base en imágenes de satélite Landsat ETM+ registradas entre noviembre de 1999 y abril de 2000 y adoptó un sistema de clasificación jerárquico con ocho formaciones de vegetación (bosque templado, bosque tropical, matorrales, pastizales, vegetación hidrófila, otros tipos de vegetación, cultivos y otros tipos de cobertura) subdivididas en 17 tipos, 47 comunidades y 28 subcomunidades, para un total de 75 categorías. Otro aspecto innovador de esa carta de vegetación fue el diseño e implementación de metodologías para evaluar y corregir errores de etiquetamiento, de incompatibilidad de polígonos vecinos y, en especial, de confiabilidad de los resultados, los cuales se evaluaron primero solo en una porción del territorio (Mas *et al.* 2003) y, muy recientemente, de forma más detallada y con métodos más precisos (Couturier 2007).

Finalmente, están los trabajos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) como parte de su programa de cartografía de los recursos naturales del país. De particular relevancia para el presente estudio son las tres ediciones de la *Carta de uso actual del suelo y vegetación* (escala 1:250 000) y la *Carta de vegetación primaria potencial* (escala 1:1 000 000; véase la descripción de estos materiales en el recuadro 2.1). Como se explica en este recuadro, las cartas de uso del suelo y vegetación del INEGI son directamente comparables entre sí y permiten examinar, de manera razonablemente consistente, el estado de los ecosistemas terrestres del país en diferentes momentos (década de 1970, 1993 y 2002). Por estas razones, y con las reservas que imponen

RECUADRO 2.1 CARTAS DE USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN DEL INEGI

A lo largo de más de 30 años, y bajo diferentes denominaciones (primero como Comisión de Estudios del Territorio Nacional y Planeación, Cetenap; luego como Comisión de Estudios del Territorio Nacional, Cetenal; después como Dirección de Estudios del Territorio Nacional, Detenal y actualmente como Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI), la institución federal a cargo de la información geográfica y estadística del país ha elaborado y actualizado la *Carta de uso actual del suelo y vegetación* en escalas 1:50 000, 1:250 000 y 1:1 000 000.

Para elaborar estas cartas se utilizaron los insumos y métodos de análisis más avanzados en su momento (fotografías aéreas e imágenes de satélite, interpretación visual y análisis digital de imágenes, verificación de campo, sistemas de información geográfica, etc.). Utilizando la clasificación basada principalmente en los esquemas de Miranda y Hernández-Xolocotzi (1963) y Rzedowski (1978), las cartas describen la localización y extensión de los diferentes tipos de vegetación y de uso del suelo (agricultura, uso pecuario y forestal, áreas urbanas, etc.), con 12 categorías principales: bosque de coníferas, bosque de encino, bosque mesófilo de montaña, matorral xerófilo, pastizal, selva perennifolia, selva caducifolia, selva subcaducifolia, selva espinosa, vegetación hidrófila, vegetación inducida y otros tipos. Las cartas también identifican las áreas sin vegetación aparente y proveen datos simples relativos al suelo y grado de erosión, prácticas agrícolas y cultivos, aspectos fisonómicos, sucesionales y del uso de las comunidades vegetales, etcétera.

La *Carta de uso actual del suelo y vegetación* en escala 1:50 000 se elaboró durante la década de 1970, pero por la laboriosidad que exige un trabajo como este, solo se completaron 806 de las 2 300 hojas que se requieren para cubrir la totalidad del territorio nacional. De la *Carta de uso actual del suelo y vegetación* en escala 1:1 000 000 se elaboraron dos ediciones completas: la primera (o Serie I en la notación del INEGI) entre 1978 y 1980; y la Serie II se hizo como una generalización de la correspondiente carta escala 1:250 000 (véase más adelante).

El más acabado de estos productos es la *Carta de uso actual del suelo y vegetación* en escala 1:250 000 de la que el INEGI elaboró tres series, las cuales cubren la totalidad del territorio del país. La Serie I se hizo con base en la interpretación de fotografías aéreas registradas en 1970, la Serie II se elaboró a partir de imágenes de satélite (Landsat ETM 5) tomadas en 1993 y la Serie III con imágenes (Landsat ETM7+) del año 2002.

Aun cuando las tres ediciones de esta carta se hicieron con insumos y tecnologías diferentes, en todas ellas se utiliza

esencialmente (con solo algunas diferencias menores entre la Serie I y las posteriores) el mismo esquema de clasificación de la vegetación: 60 categorías de cobertura que describen los tipos de vegetación (naturales o inducidos), cada una en sus diferentes condiciones de conservación de acuerdo con la presencia de especies secundarias y el grado de erosión *in situ*. Adicionalmente incluyen un número de categorías específicas para designar las coberturas antrópicas (terrenos utilizados con fines agrícolas, pecuarios, forestales, de asentamientos humanos, etc., donde se ha desplazado a las comunidades vegetales originales) o de otro tipo (e.g., cuerpos de agua, zonas desprovistas de vegetación, etc.). Este hecho hace que las *Cartas de uso actual del suelo y vegetación* se puedan comparar entre sí y permitan examinar, de manera razonablemente consistente, el estado (extensión y distribución geográfica) de los ecosistemas terrestres del país en distintos momentos (1970, 1993 y 2002). Además, a diferencia del mapa de Flores Mata *et al.* (1971), la escala (1:250 000) de estas cartas es suficientemente grande para permitir un análisis razonablemente detallado de todo el país y de zonas particulares de éste. Por último, las cartas del INEGI describen el estado actual de la cubierta vegetal y el uso del suelo del país, en contraste con los mapas incluidos en los trabajos de Leopold (1950) y Rzedowski (1978), que más bien representan la distribución potencial que tendrían los principales tipos de vegetación sin las transformaciones resultantes de las actividades humanas.

A pesar de esas ventajas evidentes, los datos de las cartas de uso actual del suelo y vegetación no siempre son totalmente consistentes entre sí. En algunos casos (e.g., señalados con n/a en el cuadro 2.1) se presentan inconsistencias derivadas de cambios menores en algunos conceptos del sistema de clasificación. En otros casos, sin embargo, parece que se deben más bien a inconsistencias en la aplicación de los conceptos y, probablemente también, a errores en la interpretación (Fig. 1). Problemas adicionales de comparación entre las tres cartas provienen del procedimiento de interpretación visual empleado para su elaboración, que involucra necesariamente algún grado de heterogeneidad entre fotointérpretes en cuanto al etiquetado y nivel de agregación de polígonos (tendencia en la que se consideran varios polígonos separados por áreas pequeñas como un solo polígono de gran tamaño *vs.* tomar a todos los polígonos con tamaño superior a la unidad mínima cartografiada como entidades separadas), como se ilustra en la figura 2.

Por otra parte, hace poco tiempo el mismo INEGI presentó la *Carta de vegetación primaria potencial* (escala 1:1 000 000),

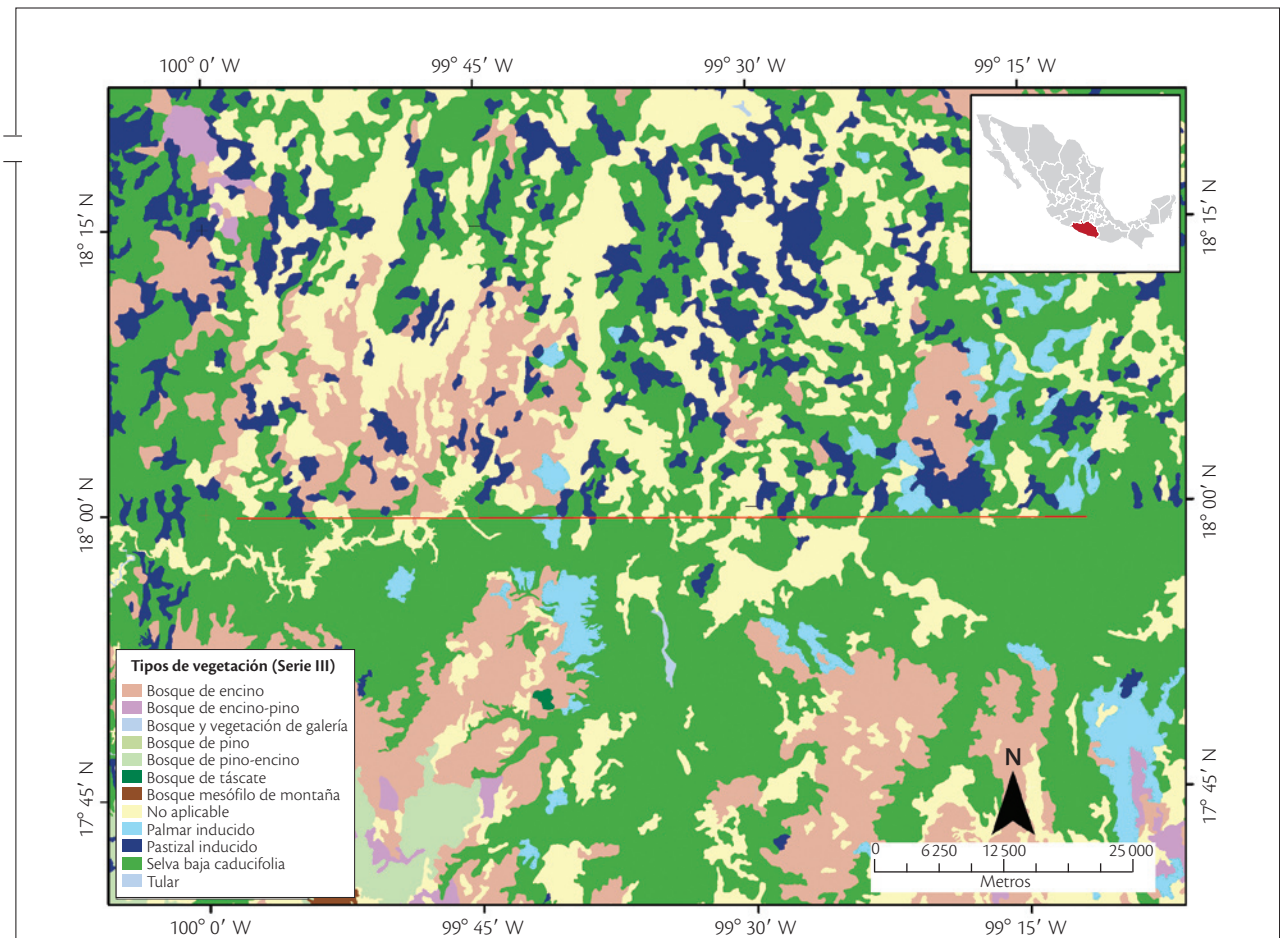


Figura 1 Segmento de la *Carta de uso actual del suelo y vegetación*, Serie III, que muestra algunas posibles inconsistencias resultantes del procedimiento de interpretación visual empleado para su elaboración. Ese procedimiento puede dar lugar a inconsistencias en la interpretación y etiquetado (e.g., entre los 99° 45' W y los 100° 0' W, porciones de un mismo polígono se han interpretado como bosque de encino, en tanto que las que se ubican al sur de la línea roja han sido identificadas como selva baja caducifolia) y en el nivel de agregación de los polígonos (al norte de la línea roja se identifican y delimitan un mayor número de polígonos más pequeños, en tanto que al sur de la línea parecen haberse agregado en un menor número de polígonos de mayor tamaño).

que describe la vegetación que probablemente cubría el territorio nacional antes de que fuera transformado por las actividades humanas. La información de la *Carta de vegetación primaria potencial* (INEGI 2003) provee un marco contextual para las cartas de uso actual del suelo y vegetación, con la cual debería ser posible hacer un seguimiento de los cambios experimentados en cada punto del territorio nacional a partir de su hipotética situación original (como se representa en la *Carta de vegetación primaria potencial*) hasta la década de 1970 (como se observaría en la *Carta de uso actual del suelo y vegetación*, Serie I), a 1993 (en la Serie II) y a 2002 (en la

Serie III) y así inferir los procesos que han producido las transformaciones observadas en los ecosistemas terrestres del país.

Desafortunadamente, las disparidades entre esas cartas también dificultan este tipo de análisis longitudinal. Por una parte, la diferencia de escalas entre la *Carta de vegetación primaria potencial* (1:1 000 000) y las cartas de uso actual del suelo y vegetación (1:250 000) complica la comparación, ya que elementos del paisaje que son relativamente pequeños no aparecen representados en la carta 1:1 000 000 pero sí en las cartas 1:250 000. Así, las diferencias observadas para un

RECUADRO 2.1 [concluye]

Figura 2 Comparación entre la *Carta de vegetación primaria potencial* (imagen superior izquierda) y las *Cartas de uso actual del suelo y vegetación*, Serie I (superior derecha), Serie II (inferior izquierda) y Serie III (inferior derecha) para la zona de Cancun, Quintana Roo. Nótese las diferencias por las escalas distintas (entre la *Carta de vegetación primaria potencial* y las otras), por el tipo de información y tecnología empleado (entre la Serie I y las series II y III) y por los cambios en el uso del suelo (en las zonas antrópicas).

las dificultades señaladas en el mismo recuadro, decidimos utilizar estas fuentes como la base fundamental de información para los análisis desarrollados en este capítulo.

2.2 ESTADO ACTUAL DE LOS ECOSISTEMAS Y PAISAJES TERRESTRES DEL PAÍS

La *Carta de uso actual del suelo y vegetación*, Serie III (INEGI 2005), describe el estado de la cubierta vegetal de

México en el año 2002 y constituye la evaluación más reciente disponible (Fig. 2.1). De acuerdo con esta carta, en ese año, 72.5% de la superficie aún estaba cubierta por comunidades naturales en diferentes grados de conservación; el restante 27.5% había sido convertido en terrenos agrícolas, ganaderos, urbanos y otras cubiertas antrópicas (véase “Otras coberturas” en el cuadro 2.1). El hecho de que casi tres cuartas partes del territorio nacional aún conservaran vegetación natural no significa que permanecieran inalteradas por el hombre. De hecho,

mismo punto del terreno entre la *Carta de vegetación primaria potencial* y las otras se deben a una combinación (imposible de discernir) de cambios reales en la composición de la cubierta vegetal y de artificios debidos a la diferencia en escalas (véase ejemplo en la Fig. 2).¹

Por otra parte, a pesar de que tienen una escala común, las diferentes fuentes de información y herramientas empleadas para elaborar las diversas ediciones de las cartas de uso actual del suelo y vegetación imponen dificultades adicionales para el análisis. La Serie I fue elaborada con base en la interpretación visual de fotografías aéreas impresas en papel; sobre esas fotografías, que contienen un grado de distorsión geométrica, se trazaron manualmente los polígonos que representan los diferentes ecosistemas, comunidades vegetales o usos del suelo, y finalmente estos se transfirieron por medios mecánicos, y usando procedimientos estándar de restitución, a un mapa topográfico (mapa base). Los polígonos de las cartas de las series II y III se trazaron sobre imágenes de satélite

ortorrectificadas, las cuales tienen un alto grado de exactitud geométrica. De hecho, para elaborar la Serie III sencillamente se actualizaron los mismos polígonos de la Serie II. Por esa razón, las diferencias observadas para un mismo punto del terreno entre la carta Serie I y la Serie II (o la Serie III) se deben a una combinación (imposible de discernir) de cambios reales en la composición de la cubierta vegetal y de artificios debidos a la fuente de origen de la Serie I (véase ejemplo en la Fig. 2). Esa distorsión no existe (o es la misma) en las series II y III, así que las diferencias entre estas sí reflejan (descontando posibles errores de interpretación de la imagen o de semántica), cambios en el paisaje ocurridos entre 1993 y 2002 (Fig. 2).

¹ El problema de comparación en el uso de las bases de datos de diferentes escalas se resuelve, al menos de manera parcial, utilizando los procesos de generalización conceptual y cartográfica y a partir del reconocimiento de los estándares en las unidades mínimas mapeables para cada escala (Gerardo Bocco, com. pers.).

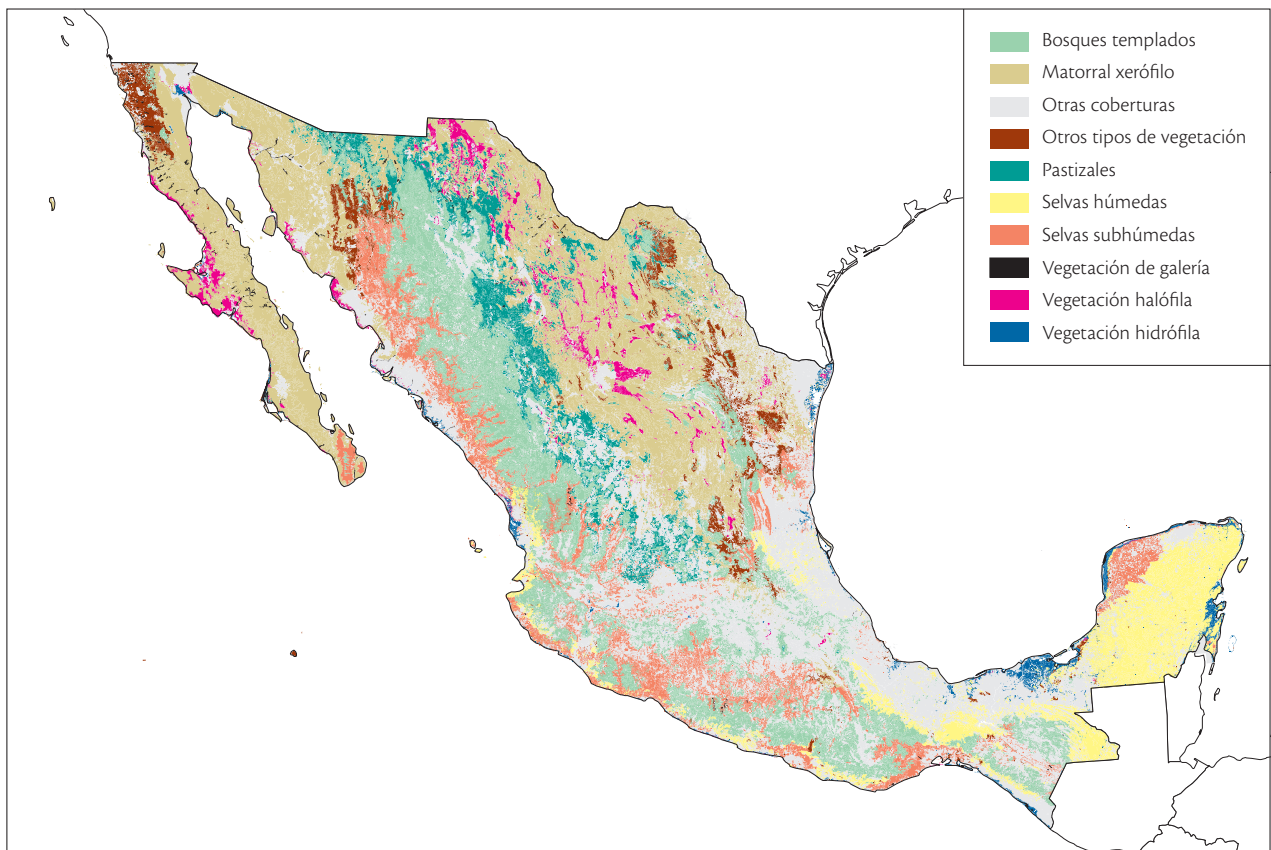


Figura 2.1 Distribución de las principales formaciones vegetales y tipos de uso del suelo en 2002, de acuerdo con la *Carta de uso actual del suelo y vegetación, Serie III* (INEGI 2005).

Cuadro 2.1 Probable superficie ocupada por la vegetación primaria original del país (de acuerdo con la *Carta de vegetación primaria potencial*) y en diferentes puntos en el tiempo (según las *Cartas de uso actual del suelo y vegetación*) (hectáreas)

Grupo	Tipo de vegetación	Vegetación primaria potencial			Serie I (1970-1979)			Serie II (1993)			Serie III (2002)			
		Potencial	Primaria	Secundaria	Total	Primaria	Secundaria	Total	Primaria	Secundaria	Total	Primaria	Secundaria	Total
SELVAS HÚMEDAS	Selva alta perennifolia	9 833 140	2 468 946	2 113 549	4 582 495	1 729 624	2 101 001	3 830 625	1 418 533	2 022 395	3 440 928			
	Selva alta subperennifolia	100 035	92 470	56 662	149 132	62 155	114 034	176 189	60 866	100 017	160 883			
	Selva baja perennifolia	78 306	61 335	200	61 535	55 452	529	55 981	42 398	4 376	46 774			
	Selva baja subperennifolia	1 432 078	1 321 965	86 320	1 408 285	431 976	602 471	1 034 447	438 360	597 325	1 035 685			
	Selva mediana perennifolia	n/a	1 182	346	1 528	285	814	1 099	285	351	636			
	Selva mediana subperennifolia	7 811 775	3 739 829	2 740 405	6 480 234	1 717 840	4 129 571	5 847 411	1 628 892	4 176 332	5 805 224			
SELVAS SUBHÚMEDAS	Selva mediana subcaducifolia	6 224 708	825 641	3 939 486	4 765 127	544 792	4 064 444	4 609 236	419 283	4 241 749	4 661 032			
		25 480 042	8 511 368	8 936 968	17 448 336	4 542 124	11 012 864	15 554 988	4 008 617	11 142 545	15 151 162			
	Selva baja caducifolia	20 540 764	8 218 153	8 193 872	16 412 025	6 962 039	8 503 633	15 465 672	6 649 422	7 856 605	14 506 027			
	Selva mediana caducifolia	975 425	85 398	35 533	120 931	143 081	965 736	1 108 817	138 378	971 260	1 109 638			
	Selva baja espinosa	4 292 140	345 411	549 651	895 062	220 832	484 180	705 012	243 456	505 839	749 295			
	Selva baja subcaducifolia	49 666	65 914	4 035	69 949	48 380	26 131	74 511	40 770	30 001	70 771			
BOSQUES TEMPLADOS		25 857 995	8 714 876	8 783 091	17 497 967	7 374 332	9 979 680	17 354 012	7 072 026	9 363 705	16 435 731			
	Bosque bajo abierto	n/a	1 200 838	148 510	1 349 348	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a			
	Bosque de ayarín	37 863	19 427	6 312	25 739	26 424	13 621	40 045	26 387	13 621	40 008			
	Bosque de cedro	868	2 501	0	2 501	2 521	0	2 521	2 314	0	2 314			
	Bosque de oyamel	402 462	156 560	8 288	164 848	137 787	9 733	147 520	125 387	16 882	142 269			
	Bosque de pino	10 310 430	6 747 350	828 300	7 575 650	5 761 533	1 776 530	7 538 063	5 219 975	2 233 262	7 453 237			
	Bosque de pino-encino	10 634 315	7 778 277	1 030 086	8 808 363	6 668 079	2 271 006	8 939 085	5 733 385	3 075 664	8 809 049			
	Bosque de táscate	378 835	209 090	134 746	343 836	162 068	164 349	326 417	158 908	174 988	333 896			
	Matarral de coníferas	1 445	0	70	70	649	262	911	649	326	975			
	Bosque de encino	16 544 438	8 582 984	2 343 847	10 926 831	7 670 979	3 723 712	11 394 691	6 879 472	4 362 799	11 242 271			
Bosque de encino-pino		5 644 967	3 510 709	5 157 29	4 026 438	3 273 611	1 048 474	4 322 085	3 048 470	1 258 021	4 306 491			
	Bosque mesófilo de montaña	3 088 256	1 188 413	650 110	1 838 523	1 002 038	811 908	1 813 946	869 507	955 698	1 825 205			
		47 043 879	29 396 148	5 665 998	35 062 147	24 705 689	9 819 595	34 525 284	22 064 454	12 091 261	34 155 715			

Cuadro 2.1 [continúa]

Grupo	Tipo de vegetación	Vegetación primaria potencial	Serie I (1970-1979)			Serie II (1993)			Serie III (2002)		
			Primaria	Secundaria	Total	Primaria	Secundaria	Total	Primaria	Secundaria	Total
	Mezquitil	7 464 372	3 209 407	430 887	3 640 294	2 651 274	436 237	3 087 511	2 516 461	423 760	2 940 221
	Matorral crasicaule	2 170 405	1 788 549	444 620	2 233 169	1 182 801	406 839	1 589 640	1 205 395	354 757	1 560 152
	Matorral desértico microfilo	22 852 473	21 023 819	1 786 309	22 810 128	20 033 714	1 991 129	22 024 843	19 596 592	1 979 372	21 575 964
	Matorral desértico rosetófilo	10 666 689	10 280 035	324 135	10 604 170	10 326 220	321 576	10 647 796	10 214 835	344 603	10 559 438
	Matorral espinoso tamaulipeco	5 152 485	3 476 977	771 936	4 248 913	2 589 681	866 623	3 456 304	2 556 969	856 753	3 413 722
	Matorral rosetófilo costero	561 387	448 673	33 676	482 349	463 240	26 875	490 115	450 906	24 160	475 066
	Matorral sarcocaule	5 681 886	6 236 462	125 685	6 362 147	5 283 063	142 510	5 425 573	5 215 508	98 135	5 313 643
	Matorral sarco-crasicaule	2 493 412	1 138 094	362	1 138 456	2 346 945	26 291	2 373 236	2 300 541	21 108	2 321 649
	Matorral sarco-crasicaule de neblina	758 616	537 246	0	537 246	577 591	2 925	580 516	565 774	3 198	568 972
	Vegetación de desiertos arenosos	2 207 778	2 273 118	1 159	2 274 277	2 171 568	1 392	2 172 960	2 165 607	1 465	2 167 072
	Huizachal	n/a	56 397	206	56 603	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	60 009 502	50 468 778	3 918 974	54 387 752	47 626 095	4 222 397	51 848 492	46 788 588	4 107 309	50 895 897	
	Pastizal-huizachal	n/a	440 302	166 251	606 553	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	Pastizal natural	16 257 438	6 855 313	2 505 304	9 360 617	6 366 841	4 045 528	10 412 369	6 324 685	3 974 661	10 299 346
	Pradera de alta montaña	21 643	17 873	0	17 873	17 069	0	17 069	16 587	0	16 587
	16 279 081	7 313 488	2 671 555	9 985 043	6 383 910	4 045 528	10 429 438	6 341 272	3 974 661	10 315 933	
	Manglar	1 450 899	1 040 734	4 594	1 045 328	904 900	9 711	914 611	859 221	65 586	924 807
	Popal	n/a	94 379	0	94 379	157 855	0	157 855	131 665	0	131 665
	Tular/vegetación subacuática	1 540 618	1 057 879	0	1 057 879	894 416	0	894 416	935 761	0	935 761
	Vegetación de petén	n/a	n/a	n/a	n/a	41 837	2 871	44 708	40 969	4 037	45 006
	Vegetación halófila (hidrófila)	389 259	n/a	n/a	n/a	462 529	319	462 848	399 049	319	399 368
	3 380 776	2 192 992	4 594	2 197 586	2 461 537	12 901	2 474 438	2 366 665	69 942	2 436 607	
	Vegetación gipsófila	37 211	56 546	0	56 546	46 149	0	46 149	46 035	0	46 035
	Vegetación halófila	2 892 371	2 957 741	135 604	3 093 345	2 512 490	163 370	2 675 860	2 383 848	187 987	2 571 835
	Pastizal gipsófilo	72 938	68 091	1 104	69 195	40 673	1 632	42 305	45 230	88	45 318
	Pastizal halófilo	1 944 666	1 678 362	128 320	1 806 682	1 798 094	124 546	1 922 640	1 826 223	148 927	1 975 150
	4 947 186	4 760 740	265 028	5 025 768	4 397 406	289 548	4 686 954	4 301 336	337 002	4 638 338	

Cuadro 2.1 [concluye]

Grupo	Tipo de vegetación	Vegetación primaria potencial	Serie I (1970-1979)			Serie II (1993)			Serie III (2002)		
			Primaria	Secundaria	Total	Primaria	Secundaria	Total	Primaria	Secundaria	Total
	Palmar	521	137 375	1 275	138 650	11 909	832	12 741	11 508	2 272	13 780
	Vegetación de dunas costeras	237 127	176 299	0	176 299	169 125	0	169 125	155 485	0	155 485
	Chaparral	2 205 736	2 838 284	309 064	3 147 348	1 869 390	271 762	2 141 152	1 808 493	288 705	2 097 198
	Matorral submontano	3 375 389	2 650 915	476 450	3 127 365	2 372 780	444 935	2 817 715	2 389 572	437 248	2 826 820
	Sabana	381 187	707 250	0	707 250	292 690	0	292 690	207 541	0	207 541
	Matorral subtropical	3 787 854	1 495 300	1 330 697	2 825 997	999 664	355 825	1 355 489	1 012 364	336 960	1 349 324
	Sabanoide	n/a	n/a	n/a	n/a	0	170 904	170 904	0	144 090	144 090
	OTROS TIPOS DE VEGETACIÓN	9 987 814	8 005 423	2 117 486	10 122 904	5 715 558	1 244 258	6 959 816	5 584 963	1 209 275	6 794 238
	Bosque de galería	n/a	36 182	0	36 182	24 722	258	24 980	20 768	719	21 487
	Selva de galería	n/a	3 348	0	3 348	1 689	1 093	2 782	3 781	1 159	4 940
	Vegetación de galería	189 465	217 923	0	217 923	175 515	0	175 515	138 031	0	138 031
	VEGETACIÓN DE GALERÍAS	189 465	257 453	0	257 453	201 926	1 351	203 277	162 580	1 878	164 458
	Sin vegetación aparente	734 929			834 741			957 282			954 378
	Bosque cultivado o inducido				30 622			290			36 701
	Pastizal cultivado				8 509 055			n/a*			12 421 552
	Pastizal inducido				5 810 142			6 218 119			6 335 703
	Palmar inducido				n/a			112 103			105 098
	Áreas agrícolas				26 032 618			40 525 011*			30 928 947
	Asentamientos humanos y zonas urbanas				199 948			1 114 263			1 273 583
	Cuerpos de agua	467 525			857 756			1 405 064			1 352 992
	OTRAS COBERTURAS	1 202 454			42 274 882			50 332 132			53 408 954

* En la Serie II (1993) no es posible distinguir los terrenos agrícolas de los pecuarios (véanse detalles en el texto).

solo 50.8% del territorio (70% de la vegetación remanente) conservaba en 2002 vegetación primaria o relativamente poco alterada. Las selvas húmedas contienen el tipo de vegetación que había experimentado la perturbación más extensiva en términos proporcionales, ya que solo 26.5% de estas (en superficie) se mantenían como selvas primarias. En términos absolutos, sin embargo, es en los bosques templados donde una mayor extensión había sido perturbada (más de 12 millones de hectáreas).

De la superficie del país que aún conservaba vegetación natural en 2002, los matorrales constituyen la formación predominante (26.2% del total); de ellos, al menos 8% son secundarios, cifra que podría ser mucho mayor si se considera que en muchos lugares los matorrales se ocupan para ganadería extensiva que frecuentemente modifica la composición por especies. Sin embargo, este tipo de perturbación solo se puede evaluar mediante detallados muestreos de campo, por lo que no se cuenta con cifras de su impacto en todo el país. En conjunto, los bosques y selvas representan 33.8% del territorio, ocupando extensiones similares cada uno de ellos, aunque la superficie cubierta por selvas primarias es considerablemente menor que la de bosques primarios (11.1 y 22.1 millones de hectáreas, respectivamente).

La alteración de los ecosistemas terrestres del país también se aprecia en su grado de fragmentación. Diversos estudios han mostrado que fragmentos de bosques tropicales húmedos menores de 80 km² experimentan tendencias irreversibles de pérdida al ser demasiado pequeños para mantener poblaciones de mariposas (Benedick *et al.* 2006), de la mayoría de los vertebrados medianos (Peres 2002) y para conservar niveles adecuados de diversidad vegetal (Pérez *et al.* 2008). Con base en estos hallazgos, y con el objetivo de hacer comparables los resultados con otros estudios semejantes (Riitters *et al.* 2000), consideramos el valor de 80 km² como umbral entre áreas fragmentadas y áreas continuas.¹ Para examinar este aspecto, se agruparon los polígonos de cada ecosistema en clases de tamaño y se contó el número de polígonos de cada clase (Figs. 2.2 a 2.6).

En la figura 2.2c se muestra que, en el año 2002, solo 67% de la extensión de selvas húmedas estaba constituido por zonas continuas de más de 80 km², la mayor parte de las cuales eran selvas secundarias. El mismo patrón se presenta en las selvas subhúmedas, de las que solo 61.5% no está fragmentado (Fig. 2.3c). En los bosques templados (Fig. 2.4c), 52.1% de su extensión está constituido por fragmentos menores a 80 km²; sin embargo,

este resultado refleja, en parte, la distribución natural de algunos de estos tipos de vegetación (*e.g.*, bosques de ayarín, de táscate, etc.) que nunca cubren grandes extensiones (Rzedowski 1978). En contraste, 79.4% de la extensión de los matorrales xerófilos aparentemente no está fragmentado (Fig. 2.5c). El 36.1% de la extensión total de los pastizales aparece fragmentado pero esto refleja, en parte, la distribución natural de comunidades, por ejemplo, de pastizales alpinos (Fig. 2.6c).

El análisis de las cubiertas antrópicas —a la escala de trabajo aquí empleada, 1:250 000— es más complicado que el de los ecosistemas naturales. Usos como la agricultura trashumante, los agrosilvopastoriles y la agricultura tradicional en laderas son muy abundantes en el país pero difícilmente detectables mediante imágenes de satélite de resolución media. Lo mismo sucede con la rápida dinámica (reducción en zonas rurales y expansión en zonas urbanas) experimentada en las últimas décadas por los asentamientos humanos en diversas partes del país. Es claro que el análisis de las cubiertas antrópicas, en particular los asentamientos humanos, requiere información con mayor resolución espacial (escalas entre 1:25 000 y 1:50 000) y temporal, así como trabajo de campo obligatorio (López *et al.* 2001; Aguilar 2008). Con estas salvedades, los datos que aquí se presentan constituyen solo una aproximación burda, pero de todo el país, de este tipo de usos del suelo.

En 2002 las cubiertas antrópicas ocupaban 27.5% del territorio nacional (véase “Otras coberturas” en el cuadro 2.1). Los usos predominantes eran, por mucho, el agrícola (con casi 31 millones de hectáreas) y el pecuario (12.4 millones de hectáreas con pastizales cultivados y otros 6.3 millones de hectáreas con pastizales inducidos); los asentamientos humanos y áreas urbanas cubrían 1.27 millones de hectáreas. Estas cifras denotan la extensión de aquellos terrenos que han sido completamente transformados para dedicarlos, en algún momento, a este tipo de usos y que se pueden detectar a la escala y con los métodos empleados en las *Cartas de uso actual del suelo y vegetación*. Sin embargo, no necesariamente representan la extensión real del país utilizada para esas actividades. Por ejemplo, la Sagarpa (2006) indica que en 2002 se sembró una superficie total de 21.7 millones de hectáreas, lo que mostraría que parte de los terrenos identificados como campos de cultivo en la *Carta de uso actual del suelo y vegetación*, Serie III, no fueron sembrados en esa temporada o habían sido abandonados. La misma fuente indica que las unidades de producción pecuaria del país abarcan una superficie total de alrededor de 110 millones

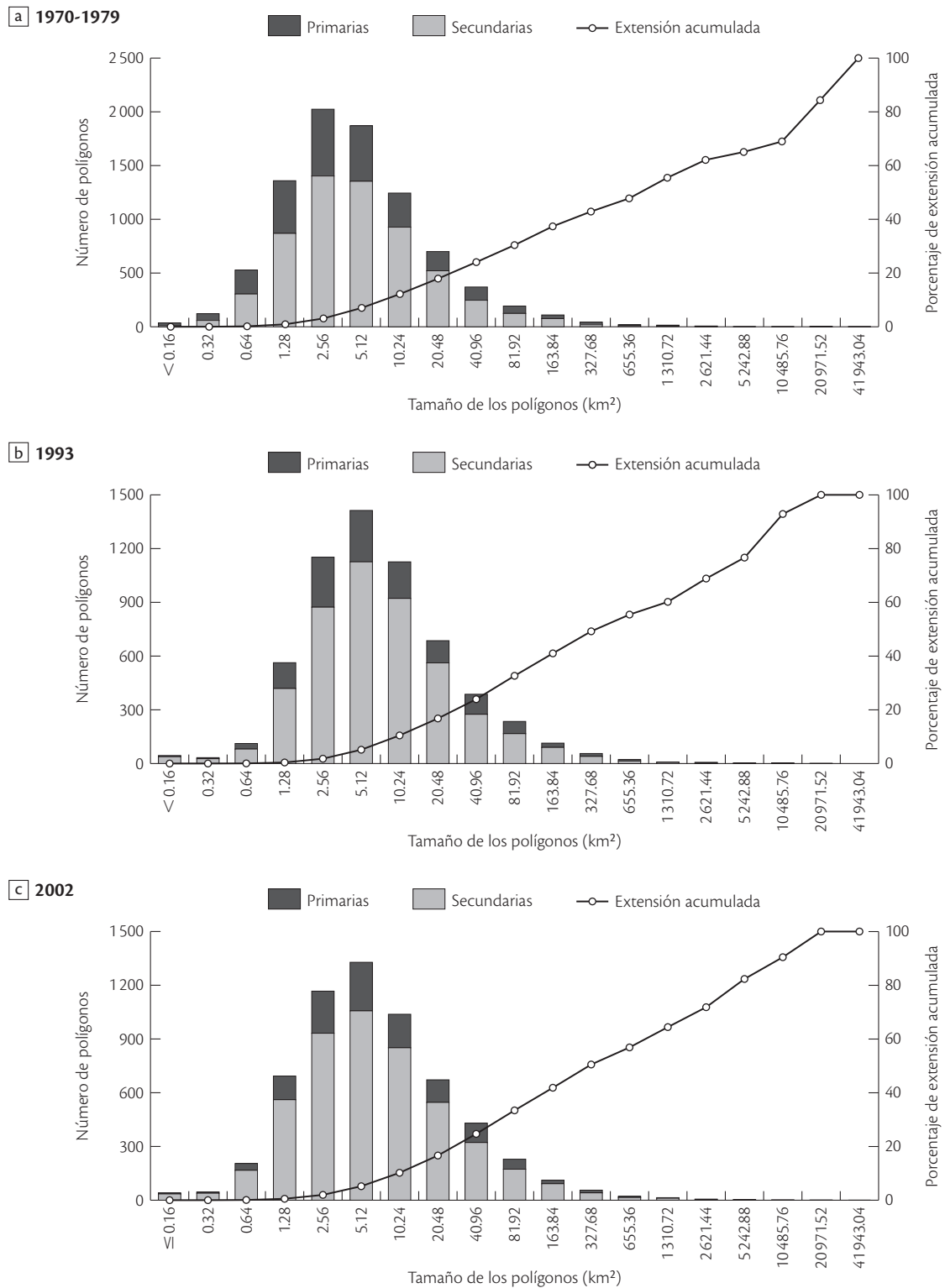


Figura 2.2 Análisis de fragmentación de las selvas húmedas del país. Distribución de frecuencias del tamaño de los polígonos que representan a las selvas húmedas (primarias: barras oscuras; secundarias: barras claras) en las *Cartas de uso actual del suelo y vegetación* del INEGI: **(a)** Serie I, ca. 1970; **(b)** Serie II, ca. 1993, y **(c)** Serie III, 2002 (INEGI 1980, 2001, 2005).

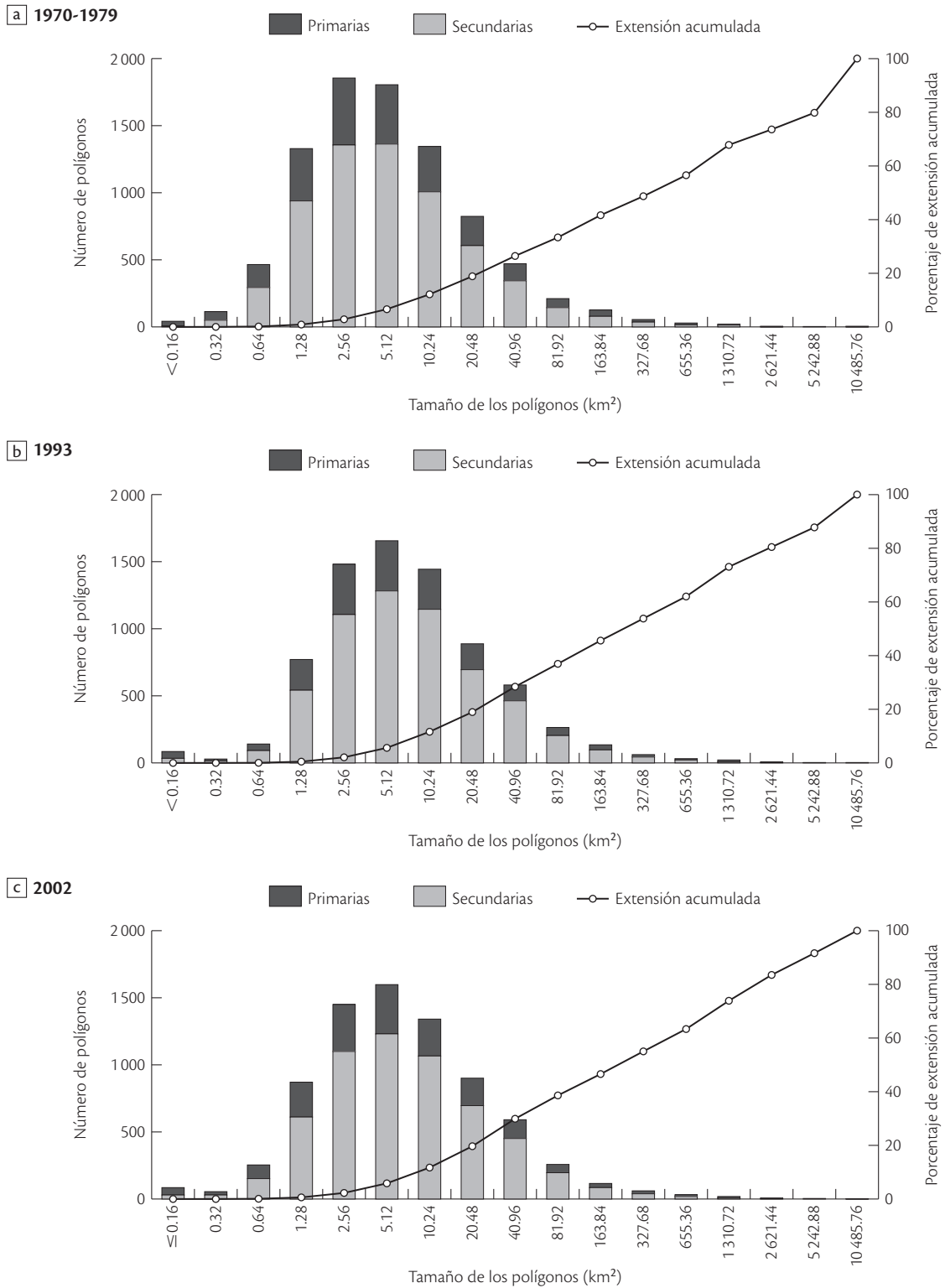


Figura 2.3 Análisis de fragmentación de las selvas subhúmedas del país. Distribución de frecuencias del tamaño de los polígonos que representan a las selvas subhúmedas (primarias: barras oscuras; secundarias: barras claras) en las *Cartas de uso actual del suelo y vegetación* del INEGI: **(a)** Serie I, ca. 1970; **(b)** Serie II, ca. 1993, y **(c)** Serie III, 2002 (INEGI 1980, 2001, 2005).

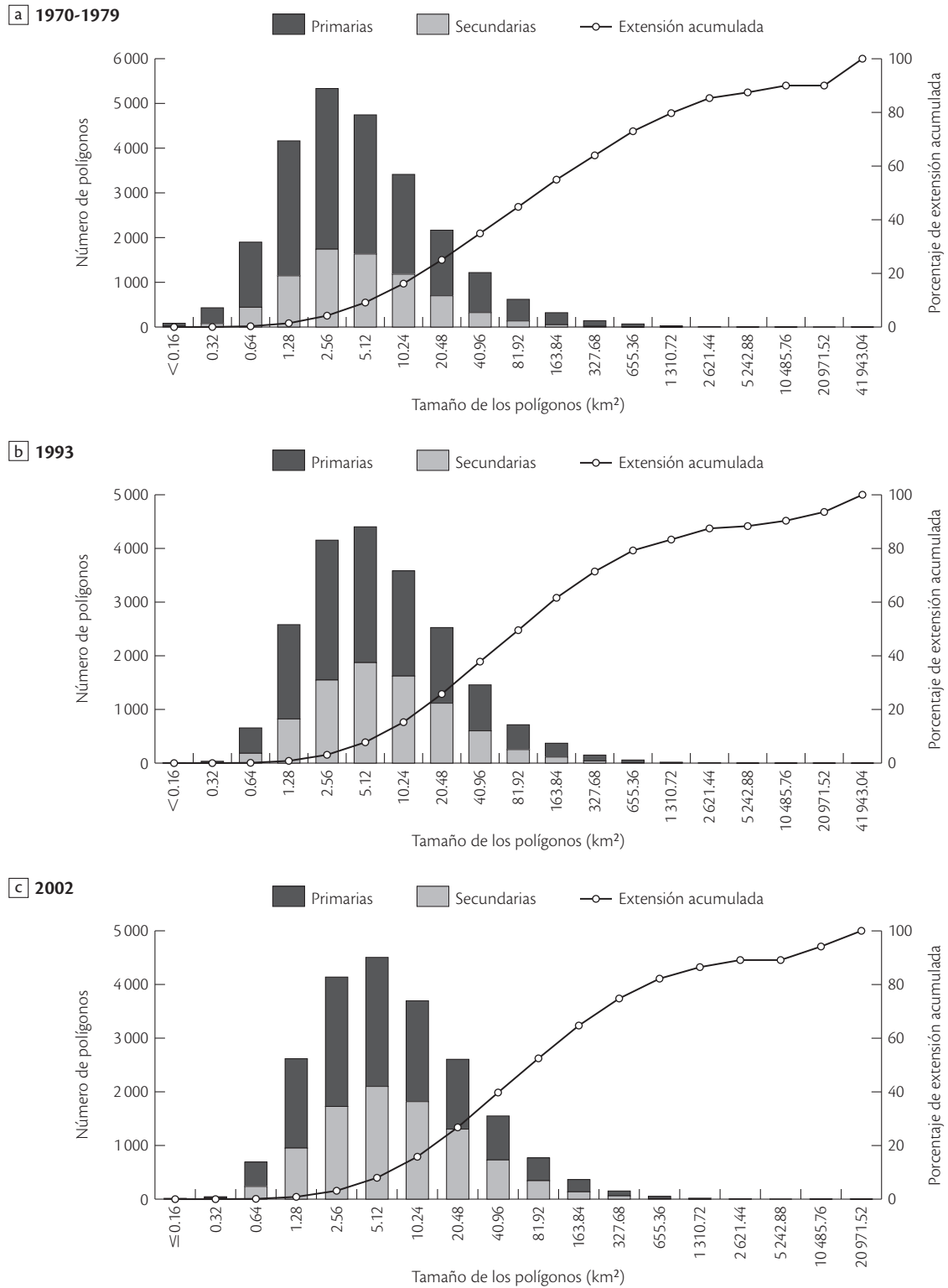


Figura 2.4 Análisis de fragmentación de los bosques templados del país. Distribución de frecuencias del tamaño de los polígonos que representan a los bosques templados (primarios: barras oscuras; secundarios: barras claras) en las *Cartas de uso actual del suelo y vegetación* del INEGI: (a) Serie I, ca. 1970; (b) Serie II, ca. 1993, y (c) Serie III, 2002 (INEGI 1980, 2001, 2005).

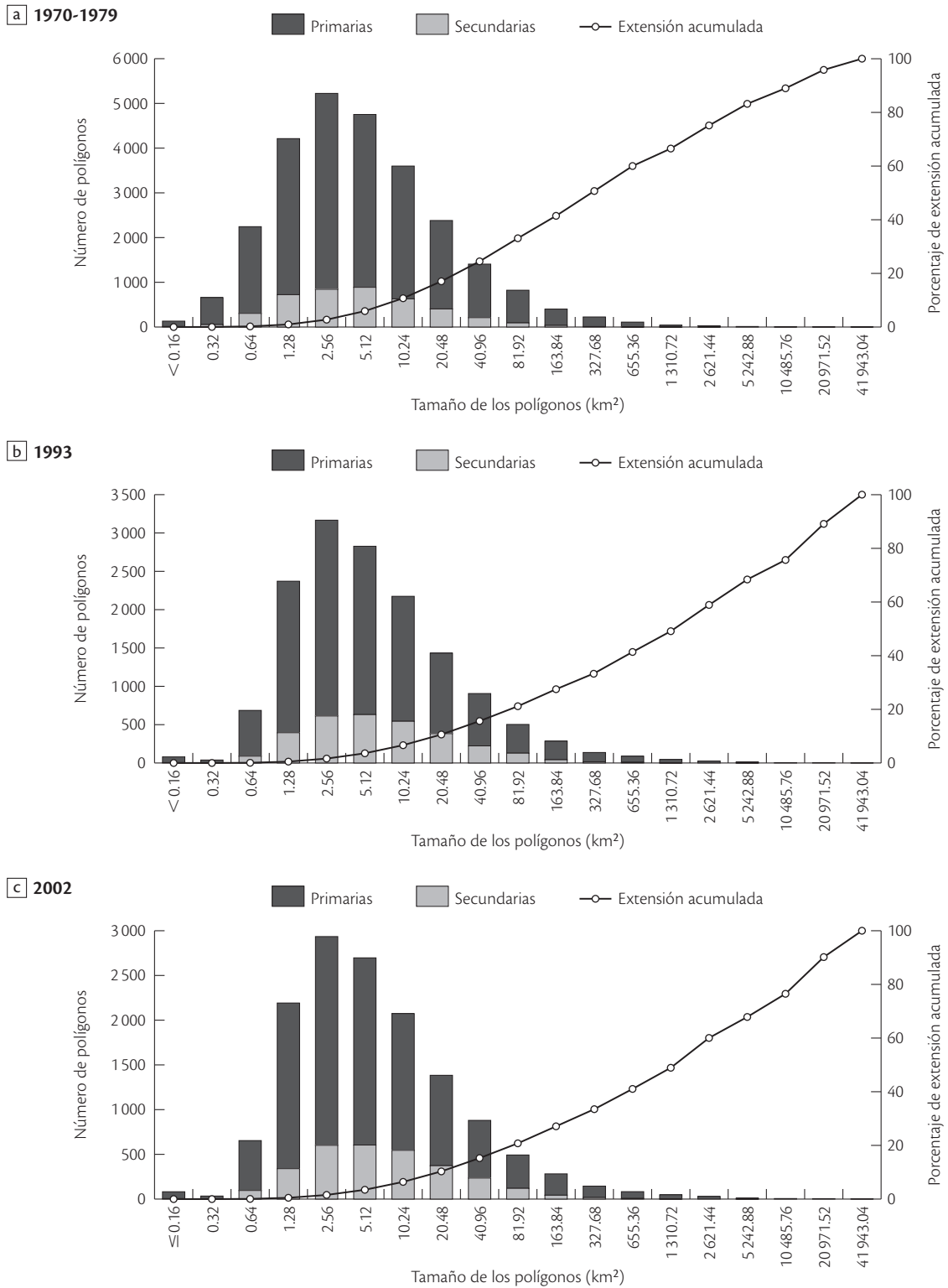


Figura 2.5 Análisis de fragmentación de los matorrales xerófilos del país. Distribución de frecuencias del tamaño de los polígonos que representan a los matorrales xerófilos (primarios: barras oscuras; secundarios: barras claras) en las *Cartas de uso actual del suelo y vegetación* del INEGI: **(a)** Serie I, ca. 1970; **(b)** Serie II, ca. 1993, y **(c)** Serie III, 2002 (INEGI 1980, 2001, 2005).

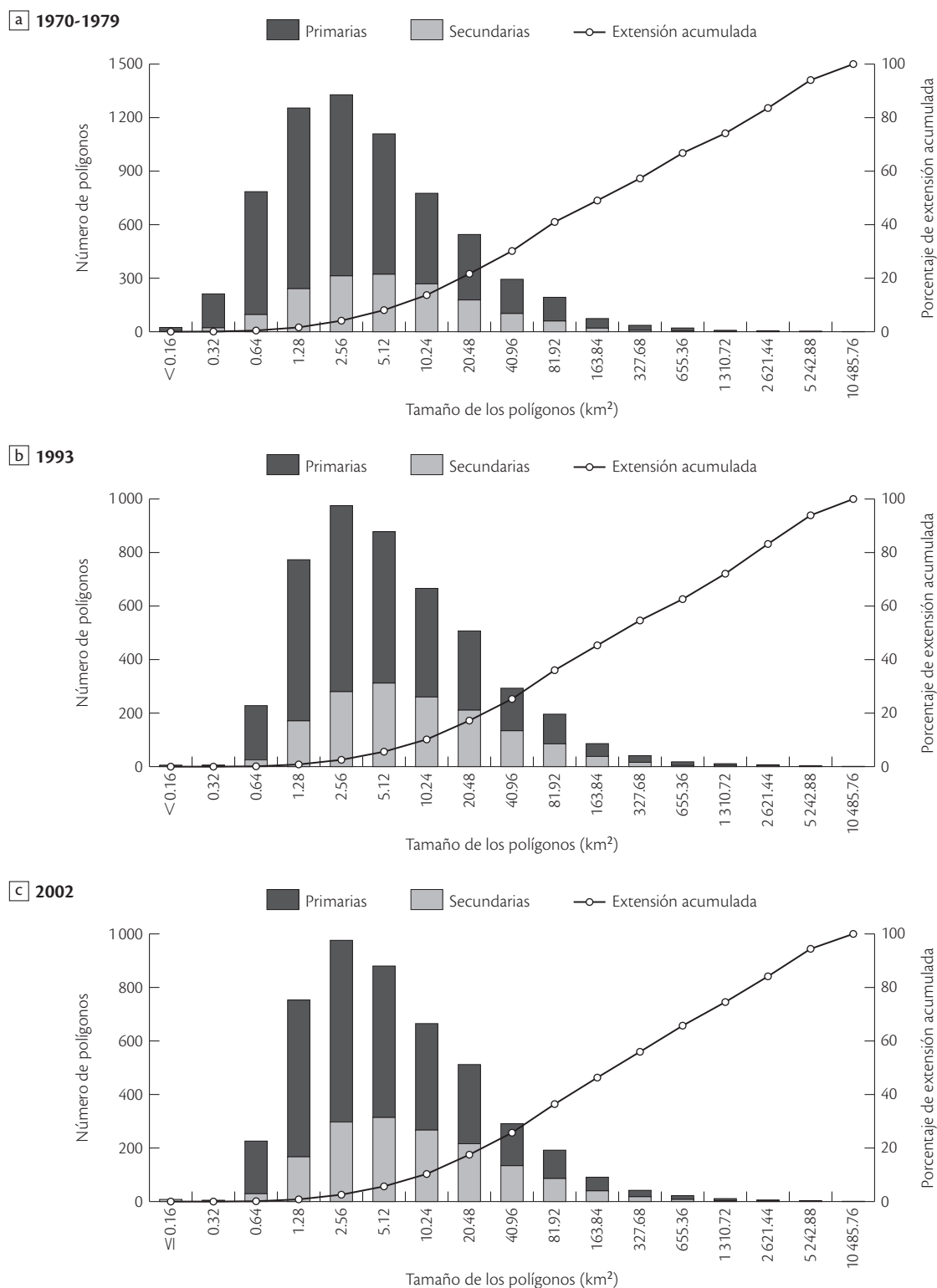


Figura 2.6 Análisis de fragmentación de los pastizales del país. Distribución de frecuencias del tamaño de los polígonos que representan a los pastizales (primarios: barras oscuras; secundarios: barras claras) en las *Cartas de uso actual del suelo y vegetación* del INEGI: **(a)** Serie I, ca. 1970; **(b)** Serie II, ca. 1993, y **(c)** Serie III, 2002 (INEGI 1980, 2001, 2005).

de hectáreas y, dado que los pastizales naturales, cultivados e inducidos, solo cubren en conjunto cerca de 29 millones de hectáreas, el resto de la superficie con actividad ganadera debe ubicarse directamente en vegetación natural, en la forma de ganadería extensiva, que no implica la eliminación de la cubierta vegetal original y su sustitución por pastizales cultivados o inducidos.

El impacto de las actividades humanas sobre los ecosistemas terrestres no se ha limitado a la explotación de los bosques y selvas, la degradación de la vegetación natural, el desmonte y la sustitución por cultivos, potreros o asentamientos humanos. En muchos casos, esos impactos directos van seguidos por la aplicación de malas

prácticas de manejo forestal o agrícola, incluso sobrepastoreo, que han producido serios problemas de degradación del suelo. Durante los años 2001 y 2002, como parte del Inventario Nacional Forestal y de Suelos, la Semarnat hizo una evaluación (a escala 1:250 000) de la degradación de los suelos inducida por el hombre.

Aunque se elaboró mediante métodos visuales semi-cuantitativos, la evaluación de Semarnat-Colpos (2003) muestra (cuadro 2.2) que, para entonces, los suelos afectados por algún tipo de degradación representaban alrededor de 45% de la superficie total del país; en 5% de la superficie afectada se presentaba un deterioro severo (*i.e.*, la productividad de los terrenos, en el caso de pre-

Cuadro 2.2 Superficie del país afectada por diferentes tipos y niveles de degradación del suelo inducida por el hombre (hectáreas)

Tipo de degradación	Estado de degradación				Total	
	Ligero	Moderado	Severo	Extremo		
Erosión eólica	Con deformación del terreno	74 742	6 217	3 548	0	84 507
	Con pérdida de suelo superficial	5 450 374	11 388 543	642 340	12 330	17 493 587
	Efectos fuera del sitio	306	674 879	47 907	0	723 092
	Total	5 525 422	12 069 639	693 795	12 330	18 301 186
Erosión hídrica	Con deformación del terreno	423 427	1 814 298	395 689	16 991	2 650 405
	Con pérdida de suelo superficial	12 598 578	7 040 845	378 524	16 130	20 034 077
	Efectos fuera del sitio	64 330	98 340	9 812	744	173 226
	Total	13 086 335	8 953 483	784 025	33 865	22 857 708
Degradación física	Anegamiento	15 689	1 044	887	1 141	18 761
	Compactación	6 623 022	1 181 582	44 538	0	7 849 142
	Disminución de la disponibilidad de agua	3 713	414 179	37 255	0	455 147
	Encostramiento y sellado	151 916	57 030	3 484	1 980	214 410
	Pérdida de productividad	63 480	713 520	590 826	1 582 948	2 950 774
	Total	6 857 820	2 367 355	676 990	1 586 069	11 488 234
Degradación química	Disminución de la fertilidad y del contenido de materia orgánica	17 753 660	13 858 498	400 262	3 314	32 015 734
	Eutroficación	123 402	71 798	0	0	195 200
	Contaminación química	778 836	279 733	130 594	29 561	1 218 724
	Salinización/alcalinización	540 749	501 905	52 771	118	1 095 543
Total	19 196 647	14 711 934	583 627	32 993	34 525 201	
Degradación no detectable	Estable bajo influencia humana					285 106
	Estable bajo condiciones naturales					55 148 056
	Tierras no utilizadas					50 222 546
Total					105 655 708	

Fuente: Semarnat-Colpos (2003).

dios o de granjas, es irrecuperable a menos que se realicen proyectos de restauración) o extremo (la productividad es irrecuperable y su restauración materialmente imposible) y en el restante 95% un grado de deterioro de ligero (con alguna reducción apenas perceptible en su productividad) a moderado (con una marcada reducción en la productividad). La tipología de procesos de degradación de los suelos son: afectación química (alrededor de 34.5 millones de hectáreas), erosión hídrica (22.7 millones de hectáreas), erosión eólica (18.3 millones de hectáreas) y la degradación física (11.5 millones de hectáreas).

En prácticamente todos los suelos del país que muestran degradación química, esta se debe a la reducción de su fertilidad por pérdida de nutrientes. La Península de Yucatán y amplias zonas de las planicies de Sinaloa y Tabasco muestran de manera importante este tipo de degradación (Fig. 2.7). Las zonas afectadas por erosión hídrica alcanzan 11.7% del territorio, sobre todo en las zonas montañosas. La erosión eólica se presenta principalmente en las zonas secas del norte. Por último, la degradación física (*i.e.*, pérdida de la capacidad del sustrato

para absorber y almacenar agua debido a la compactación, endurecimiento o recubrimiento del suelo) no afecta grandes extensiones, pero es importante porque es un proceso prácticamente irreversible.

2.3 PRINCIPALES ALTERACIONES Y TRANSFORMACIONES QUE HAN EXPERIMENTADO LOS ECOSISTEMAS Y PAISAJES TERRESTRES EN LAS ÚLTIMAS DÉCADAS

Lambin *et al.* (2001) enfatizaron la necesidad de estudiar los procesos de cambio en la cobertura del suelo para entender las causas y consecuencias de los procesos de degradación, desertificación, disminución de la biodiversidad y, en general, de la pérdida del capital natural y cultural. Vitousek *et al.* (1997) señalaron que el análisis de los patrones y cambios de uso del suelo ofrece un marco de referencia sobre la condición de los ecosistemas.

Los diversos esfuerzos que, a lo largo de los últimos 40 años, se han desarrollado para inventariar la vegetación

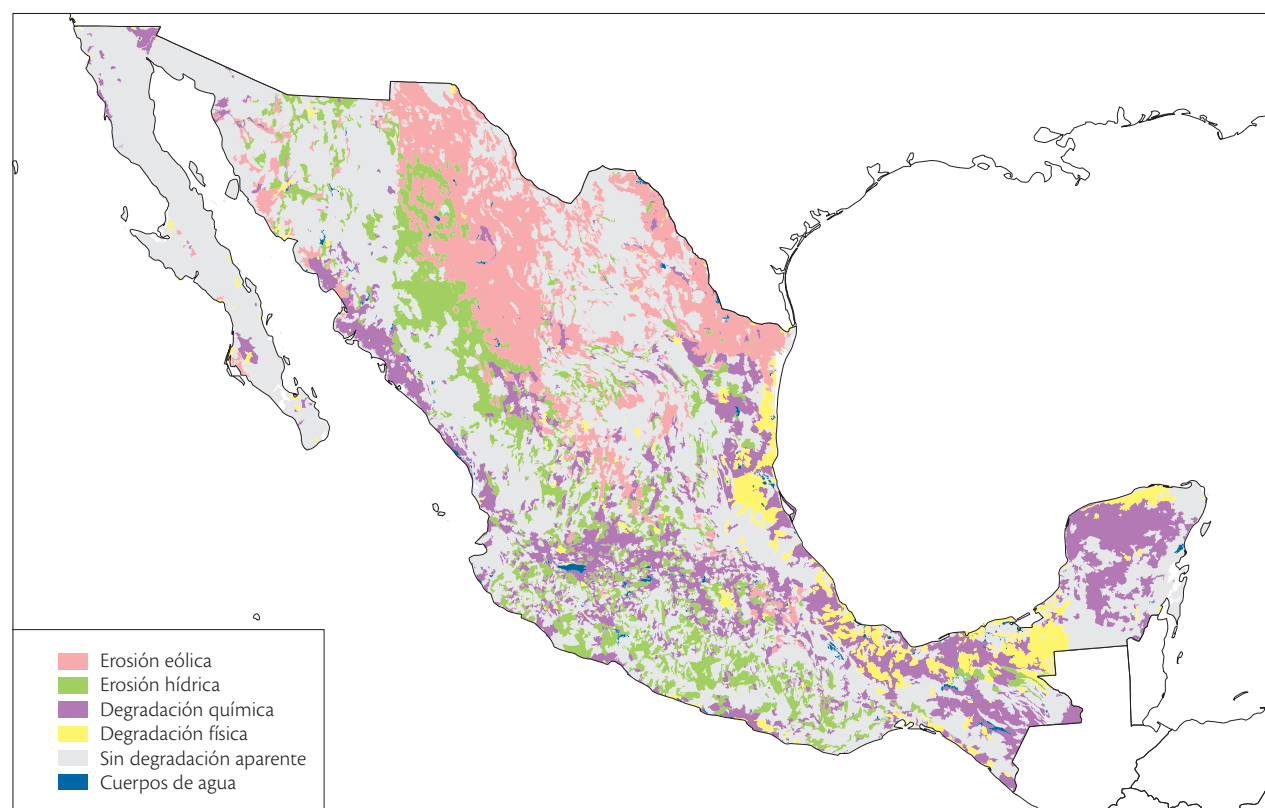


Figura 2.7 Tipos de degradación del suelo causada por el hombre. Fuente: Semarnat-Colpos (2003).

y el uso del suelo en el país, deberían permitir hacer comparaciones entre las distintas fechas y conocer las tasas y patrones de modificación de la cubierta vegetal y de uso del suelo. El primer análisis de este tipo en México lo hicieron el Instituto Nacional de Ecología y la UNAM (Velázquez *et al.* 2002). Esa investigación se enfocó en comparar las bases de datos entonces disponibles (*Cartas de uso actual del suelo y vegetación* del INEGI, Serie I, y versión preliminar de la Serie II y *Carta de vegetación del Inventario Nacional Forestal 2000*) para obtener predicciones acerca de la dinámica de la cubierta del suelo y las tasas de pérdida del capital natural. Los detalles metodológicos y la variedad de resultados derivados del estudio se encuentran en Mas *et al.* (2004). Mediante ese estudio, por primera vez en la historia del país y por iniciativa de dependencias oficiales (INEGI, Semarnap e INE), se llevó a cabo un análisis de cambio de uso de suelo basado en información cartográfica confiable, compatible en sus indicadores y comparable en sus escalas.

Sin embargo, como se encontró en el estudio del INE y la UNAM y como se menciona en la sección introductoria de este capítulo, las diferentes fuentes de información, tecnologías y esquemas de clasificación empleados en la elaboración de los inventarios disponibles de la vegetación y el uso del suelo del país hacen que sus resultados no sean entera y directamente comparables entre sí y que su utilidad para examinar los procesos de transformación de la cubierta vegetal se vea limitada. A pesar de que las estimaciones cuantitativas no son tan precisas como sería deseable y deben tomarse con cierta precaución, la información disponible sí permite identificar varias tendencias.

La *Carta de vegetación primaria potencial* indica que, potencialmente, los matorrales podrían haber ocupado cerca de la tercera parte (31%) del territorio nacional, seguidos en extensión por las selvas (26%, casi a partes iguales entre selvas húmedas y subhúmedas), los bosques templados (24%) y los pastizales (8%) (cuadro 2.1). De acuerdo con la *Carta de uso actual del suelo y vegetación*, Serie I, para la década de 1970 aún se mantenían tres cuartas partes de la superficie originalmente cubierta por bosques, 68% de la extensión original de las selvas y 91% de los matorrales xerófilos; los pastizales naturales se habían reducido a 61% (cuadro 2.1). Dos décadas después (hacia 1993), las existencias se habrían reducido a 73% de la extensión original de bosques templados, 61% de selvas húmedas, 67% de las subhúmedas y 86% de matorrales, y había 64% de pastizales (véase más adelante sobre estos valores). Finalmente, según la *Carta de uso actual*

del suelo y vegetación, Serie III, para 2002 aún se conservaba 72.6% de la superficie original de bosques, 59% de las selvas húmedas, 64% de selvas subhúmedas, 85% de los matorrales y solo 63% de los pastizales.

De forma tentativa se puede decir que hasta el año 2002 habría ocurrido una pérdida histórica neta de hasta 103 289 km² de selvas húmedas, 94 223 km² de selvas subhúmedas, 129 000 km² de bosques templados, 91 000 km² de matorrales xerófilos y más de 59 000 km² de pastizales. Aun cuando la mayor parte de estas transformaciones ocurrieron a lo largo de la historia previa a la década de 1970 (véase el capítulo 1 de este volumen), en las últimas décadas (1970-2002) se han registrado pérdidas importantes: de 1970 a 2002 se dio una pérdida total de 22 972 km² de selvas húmedas (a una tasa aproximada de 88 000 hectáreas por año en promedio), 10 622 km² de selvas subhúmedas (alrededor de 40 800 hectáreas por año), 9 000 km² de bosques (a una tasa promedio de 34 000 hectáreas por año), 34 919 km² de matorrales (unas 134 000 hectáreas por año) y cerca de 3 300 km² de pastizales (a una tasa promedio de casi 13 000 hectáreas por año).

Las cifras de vegetación remanente también incluyen a las comunidades secundarias. Si se considera solo la vegetación primaria, se observan transformaciones aún mayores. Hacia la década de 1970 la extensión remanente de selvas húmedas primarias representaba solo 33.4% de su probable extensión original, igual que la posible extensión de selvas subhúmedas se conservaba en 34%; de los bosques templados primarios 62%, de los matorrales xerófilos 84% de la extensión original y solo se conserva 45% de la superficie de pastizales. En las últimas décadas (1970 a 2002) las selvas húmedas primarias se han seguido perdiendo o transformando hasta llegar a solo 15.7% de su probable extensión original, las selvas subhúmedas a 27.4%, los bosques primarios a 47%, los matorrales a 78% y los pastizales a 39 por ciento.

A lo largo del periodo entre 1970 y 1993, bosques, selvas, matorrales y pastizales primarios que ocupaban unos 13.8 millones de hectáreas en diferentes partes del país, fueron eliminados para dedicar los terrenos a otros usos o alterados y reemplazados por comunidades secundarias, a un ritmo promedio de 810 000 hectáreas por año. Estas transformaciones afectaron particularmente los bosques templados (en promedio 276 000 hectáreas por año) y las selvas húmedas (alrededor de 233 000 hectáreas por año); 1.3 millones de hectáreas de selvas subhúmedas primarias, 2.8 millones de hectáreas de matorrales primarios y 930 000 hectáreas de pastizales

primarios también fueron sustituidas o degradadas durante ese periodo.

Hasta hace poco, el ritmo de transformación o alteración de la vegetación primaria ha disminuido, aunque sigue siendo muy importante. De 1993 a 2002 un total de 4.4 millones de hectáreas previamente cubiertas por bosques, selvas, matorrales xerófilos y pastizales primarios fueron dedicadas a otros usos o reemplazadas por comunidades secundarias, a un ritmo promedio de 484 000 hectáreas por año. En este lapso los bosques primarios sufrieron las mayores afectaciones (2.6 millones de hectáreas en total), pues fueron eliminados o alterados a un ritmo de 293 000 hectáreas por año; la extensión total de selvas húmedas primarias dañadas fue de 534 000 hectáreas (59 000 hectáreas por año), la de matorrales xerófilos de 837 507 hectáreas, la de selvas subhúmedas de 302 307 hectáreas y la de pastizales de 42 638 hectáreas.

En la década de 1970 las áreas dedicadas a la agricultura sumaban cerca de 26 millones de hectáreas y las ocupadas en la ganadería 14.3 millones de hectáreas (8.5 millones de hectáreas con pastizales cultivados y otros 5.8 millones con pastizales inducidos), en tanto que los que se reconocen como asentamientos humanos y áreas urbanas cubrían solo 200 000 hectáreas. Dos décadas después (hacia 1993), las zonas agrícolas y pecuarias se habrían extendido a un ritmo promedio neto de 376 000 hectáreas por año hasta cubrir, en conjunto, alrededor de 46.7 millones de hectáreas. La superficie dedicada a pueblos y ciudades habría alcanzado 1.1 millones de hectáreas; con un crecimiento de casi 54 000 hectáreas por año. El ritmo de expansión de la frontera agrícola y pecuaria disminuyó ligeramente durante el periodo comprendido entre 1993 y 2002, cuando estas áreas aumentaron en unas 327 000 hectáreas por año, para alcanzar un total de 49.7 millones de hectáreas. Los asentamientos humanos y zonas urbanas se incrementaron en casi 18 000 hectáreas por año durante ese mismo periodo.

En la figura 2.2 se muestran los rasgos generales del proceso de sustitución y fragmentación en las selvas húmedas del país. En la década de 1970 se reconocía un total de 8 647 fragmentos (polígonos) de este tipo de vegetación, la mediana de cuyo tamaño era de 280.5 hectáreas; en esa época, 30% de la extensión de selvas húmedas estaba constituida por fragmentos menores de 80 km². Para 1993, solo se reconocía un total de 5 967 fragmentos de selva húmeda, cuya mediana de tamaño era de 431 hectáreas, lo que sugiere que durante ese periodo fueron, sobre todo, fragmentos relativamente pequeños los que se transformaron para otros usos del suelo; para

entonces 32% de la extensión remanente de selvas estaba fragmentada (*i.e.*, porciones menores de 80 km²). Para 2002, el área fragmentada aumentó a 33% de la extensión remanente, al tiempo que el número de fragmentos aumentó a 6 066 y la mediana de su tamaño disminuyó a 402 hectáreas. Estos resultados principalmente reflejan el proceso de sustitución de las selvas húmedas a otros usos del suelo durante el periodo comprendido entre la década de 1970 y 1993 (cuando su extensión total disminuyó de 17.4 a 15.6 millones de hectáreas) y, posteriormente, el proceso de fragmentación ocurrido de 1993 a 2002 (cuando la extensión total solo disminuyó de 15.6 a 15.2 millones de hectáreas).

En las selvas subhúmedas (Fig. 2.3) se observa quizá un proceso inverso, primero de fragmentación (entre 1970 y 1993) y luego de sustitución (entre 1993 y 2002). Los 17.5 millones de hectáreas de selvas subhúmedas remanentes hacia la década de 1970 estaban constituidas por un total de 8 705 fragmentos, cuya mediana de tamaño era de 311 hectáreas; 33% de esa extensión estaba fragmentada. Para 1993 solo quedaban 7 605 fragmentos, donde la mediana era de 438 hectáreas y, aunque la extensión fragmentada aumentó a 37%, la extensión total todavía era de 17.4 millones de hectáreas. En contraste, para 2002 la extensión total disminuyó a 16.4 millones de hectáreas (38% de las cuales estaban fragmentadas), constituidas por 7 646 fragmentos, con una mediana de 407 hectáreas.

Aparentemente, en los bosques templados (Fig. 2.4) el patrón predominante ha sido el de fragmentación con una gradual sustitución. Hacia la década de 1970, había un total de 24 647 fragmentos de bosque templado, con una mediana de 270 hectáreas; 44% de los 35.1 millones de hectáreas totales estaba fragmentado. Para 1993, aunque solo se reconocían 20 727 fragmentos, la mediana era de 401 hectáreas, la extensión total aún era de 34.5 millones de hectáreas, 49% de las cuales estaban fragmentadas. Para 2002, el área fragmentada aumentó a 52% del total de 34.2 millones de hectáreas remanentes, al tiempo que el número de fragmentos y la mediana de su tamaño crecieron a 21 229 y 409 hectáreas, respectivamente.

En los matorrales xerófilos (Fig. 2.5), en contraste, el patrón predominante fue el de sustitución. De los 54.4 millones de hectáreas cubiertas por este tipo de vegetación (en forma de 26 259 polígonos con una mediana de 279 hectáreas) en la década de 1970, 32.8% estaba fragmentado. Para 1993, los matorrales xerófilos se redujeron a solo 14 795 fragmentos (mediana del tamaño = 323 hectáreas), que cubrían una extensión total de 51.8 mi-

llones de hectáreas, 21% de las cuales estaban fragmentadas. Para 2002, la extensión total se redujo aún más (a 50.9 millones de hectáreas y 14 037 fragmentos, cuya mediana era de 334 hectáreas), sin que aumentara la extensión fragmentada (20.6% de la extensión total).

Respecto a los pastizales (Fig. 2.6), los datos disponibles no permiten identificar un patrón de cambio simple; posiblemente los cambios que el concepto de pastizales ha tenido durante las tres ediciones de las *Cartas de uso actual del suelo y vegetación* (véase cuadro 2.1) sean parte de esta dificultad. Hacia la década de 1970 se reconocían unos 6 668 fragmentos de pastizal, con una mediana de 218 hectáreas y que ocupaban unos 10 millones de hectáreas, 40.6% de las cuales estaban fragmentadas. Para 1993 solo se reconocían 4 695 fragmentos de pastizal (mediana del tamaño = 327 hectáreas), con una extensión total de 10.4 millones de hectáreas y 36% de fragmentación. Para 2002 aún se reconocían 4 684 fragmentos de pastizal, con una extensión total de 10.3 millones de hectáreas, con una mediana del tamaño de 335 hectáreas y el mismo grado de fragmentación.

En general, las selvas son los ecosistemas terrestres del país que, a lo largo de la historia, han tenido las mayores transformaciones y afectaciones por las actividades humanas, tanto en la superficie que se ha dedicado a otros usos del suelo (alrededor de 10.3 millones de hectáreas de selvas húmedas y 9.4 millones de hectáreas de selvas subhúmedas), como en la proporción que esta representa de su probable extensión original (40.4% de las selvas húmedas y 36.3% de las subhúmedas) y en el grado de perturbación que han experimentado: solo 26% de las selvas húmedas y 43.6% de las subhúmedas que existen actualmente son primarias, y 33% de la extensión de selvas húmedas y 38% de la de subhúmedas está fragmentado en manchones menores de 80 km². En segundo lugar se encuentran los bosques templados, cuya extensión se ha reducido, potencialmente, en 27% de los cerca de 47 millones de hectáreas que se estima pudieron ocupar originalmente, a solo 34.2 millones de hectáreas en el año 2002 (incluyendo bosques primarios y secundarios), 52% de las cuales están fragmentadas. Igualmente importantes son los daños causados a los matorrales xerófilos, cuya extensión ha disminuido en 15%, de los 60 millones de hectáreas que quizá ocuparon originalmente, a solo 51 millones en la actualidad. Esto es particularmente importante ya que las selvas son los ecosistemas que albergan la mayor parte de la biodiversidad del país, mientras que los matorrales desérticos concentran una gran cantidad de especies que son endémicas de México.

2.4 PROCESOS RESPONSABLES DE LAS ALTERACIONES Y TRANSFORMACIONES QUE HAN EXPERIMENTADO LOS ECOSISTEMAS Y PAISAJES TERRESTRES EN LAS ÚLTIMAS DÉCADAS

Inferir los procesos que han producido las transformaciones observadas en los ecosistemas terrestres debería ser posible, en principio, mediante un análisis longitudinal de los cambios experimentados en el territorio nacional, desde su hipotética situación original referida en la *Carta de vegetación primaria potencial* y a lo largo del tiempo, como los describen las tres series de la *Carta de uso actual del suelo y vegetación*. Desafortunadamente, como se analiza en el recuadro 2.1, las disparidades entre esas cartas dificultan este tipo de análisis. Más importante aún, Turner y Meyer (1994) muestran que el análisis del cambio de coberturas y usos del suelo debe considerar los aspectos sociales (para entender la dinámica de ocupación y uso del territorio), económicos (para detectar fuentes desencadenadoras de los procesos) y culturales (para ubicar el contexto de uso en la percepción social) junto con la evaluación biofísica (a partir de bases de datos geoespaciales multitemporales y multiescalares) y sus posibles consecuencias para deducir escenarios sobre la pérdida de capital natural o biodiversidad, los efectos probables del cambio global, planificación de uso del suelo, entre muchas otras aplicaciones. Abordar un estudio de esta magnitud, para todo el país, está mucho más allá de las posibilidades de información disponible actualmente y de los alcances del presente trabajo.

Teniendo en mente esas limitaciones, sin embargo, el análisis comparativo de las cuatro cartas disponibles sí permite visualizar al menos los principales patrones de cambio ocurridos en las regiones bioclimáticas más importantes del país a lo largo del tiempo.

2.4.1 Selvas húmedas

En los 25.5 millones de hectáreas que comprende la zona de distribución potencial de las selvas húmedas del país (de acuerdo con la *Carta de vegetación primaria potencial*), para la década de 1970 (según la *Carta de uso actual del suelo y vegetación*, Serie I) solo se registraba un total de 7.9 millones de hectáreas de selvas húmedas en buen estado de conservación (reconocibles como vegetación primaria).² Junto con 1.3 millones de hectáreas de comunidades primarias de otros tipos de vegetación también presentes en esta zona bioclimática (seguramente por efecto de la diferencia de escalas de las cartas),

se tenía entonces un total de 9.2 millones de hectáreas de vegetación primaria remanente hacia la década de 1970 en la zona de selvas húmedas del país (Fig. 2.8). Estos ecosistemas poco alterados se conservaban, sobre todo, en la parte sur de la Península de Yucatán, la Sierra Lacandona y en las zonas limítrofes de los estados de Veracruz, Oaxaca y Chiapas (Fig. 2.13). Al mismo tiempo, la cubierta vegetal original de un total de ocho millones de hectáreas —ubicadas principalmente en la porción central de la Península de Yucatán (Fig. 2.13)— tenía diversos grados de perturbación de manera que para la década de 1970 aparecían cubiertas por comunidades secundarias (Fig. 2.8). Los cambios más drásticos habrían ocurrido en las llanuras de los estados de Veracruz y Tabasco, la sierra del sur de Chiapas y la parte norte del estado de Yucatán (Figs. 2.13 y 2.16), donde casi la totalidad de la vegetación original de selvas húmedas habría sido eliminada para dedicar el terreno a la cría de ganado (5.6 millones de hectáreas) o a la agricultura (2.4 millones de hectáreas). Cabe aclarar que en este tipo de bioclimas se practica la agricultura trashumante, misma que, por sus peculiaridades, no se puede analizar adecuadamente con el nivel de resolución de la información disponible para este trabajo.

De acuerdo con la *Carta de uso actual del suelo y vegetación*, Serie II), para 1993 las comunidades primarias se habrían reducido a solo cinco millones de hectáreas como consecuencia, sobre todo, de la degradación de la vegetación: los procesos de perturbación habrían afectado a unos 3.9 millones de hectáreas de comunidades primarias, en especial en la parte sur de la Península de Yucatán, las costas de Quintana Roo y Oaxaca y la Sierra Lacandona (Fig. 2.14), para alcanzar un total de 10.7 millones de hectáreas cubiertas por vegetación secundaria (Fig. 2.8). En la carta de la Serie II ya no es posible separar los terrenos agrícolas de los pecuarios pero, en conjunto, estos habrían aumentado a 9.3 millones de hectáreas, a expensas de la sustitución de otros 1.5 millones de hectáreas de vegetación secundaria y unas 708 000 hectáreas de comunidades primarias, sobre todo en la parte sur del estado de Veracruz, en Tabasco, Campeche y la Sierra Lacandona (Fig. 2.14). Aparentemente, algunos procesos de regeneración también ocurrieron durante este periodo, sobre todo en la parte norte del estado de Veracruz y el norte de Quintana Roo (Figs. 2.14 y 2.16). En esas zonas, alrededor de 700 000 hectáreas que en la década de 1970 habían estado dedicadas a la agricultura o la ganadería, en 1993 aparecían cubiertas de vegetación secundaria (Fig. 2.8) y otras 106 000 hectáreas incluso mos-

traban comunidades en buen estado de conservación (reconocibles como vegetación primaria).

Para 2002 (Fig. 2.8), las comunidades primarias se habrían reducido a solo 4.4 millones de hectáreas, pero se mantenía la misma extensión total de comunidades secundarias como resultado del balance entre los procesos de perturbación (que habrían afectado a unas 865 000 hectáreas de comunidades primarias, sobre todo en Campeche, en la Sierra Lacandona y en el límite entre los estados de Veracruz, Oaxaca y Chiapas, véase Fig. 2.15), la sustitución de comunidades secundarias a otros usos del suelo (más de 1.1 millones de hectáreas de vegetación secundaria habrían sido convertidas a terrenos agrícolas o pecuarios en pequeñas porciones en diferentes partes del país) y a la regeneración de la vegetación (unas 509 000 hectáreas que en 1993 aparecían como dedicadas a la agricultura o ganadería aparecían ahora cubiertas por vegetación secundaria). De esa manera, los terrenos agrícolas y pecuarios habían aumentado aún más hasta alcanzar 10 millones de hectáreas (6.6 dedicadas a la ganadería y 3.4 a la agricultura). Durante este periodo también se habrían dado procesos de regeneración: cerca de 509 000 hectáreas anteriormente dedicadas a la agricultura o la ganadería, para 2002 aparecían cubiertas de vegetación secundaria y unas 103 000 hectáreas incluso tenían comunidades reconocibles como vegetación primaria (Fig. 2.8).

2.4.2 Selvas subhúmedas

En los 25.9 millones de hectáreas que comprende la zona de distribución potencial de las selvas subhúmedas del país, para la década de 1970 solo se registraba un total de 7.2 millones de hectáreas reconocibles como vegetación primaria, junto con otros 1.9 millones de hectáreas de comunidades primarias de otros tipos de vegetación también presentes en esta zona bioclimática, lo que da 9.1 millones de hectáreas de vegetación primaria remanente en la zona de selvas subhúmedas del país (Fig. 2.9). Estos ecosistemas poco alterados se conservaban, sobre todo, en la Sierra de La Laguna (en el estado de Baja California Sur), en el pie de la Sierra Madre Occidental (en el sur de Sonora y Sinaloa), en las sierras de la costa de Jalisco, en la cordillera costera del sur (en los límites entre Michoacán y Guerrero) y en la porción sur de las sierras orientales y la costa de Oaxaca (Fig. 2.17). La cubierta vegetal original de alrededor de 8.3 millones de hectáreas —ubicadas principalmente en la Depresión del Balsas, las sierras y valles y la costa de Guerrero y la porción NW

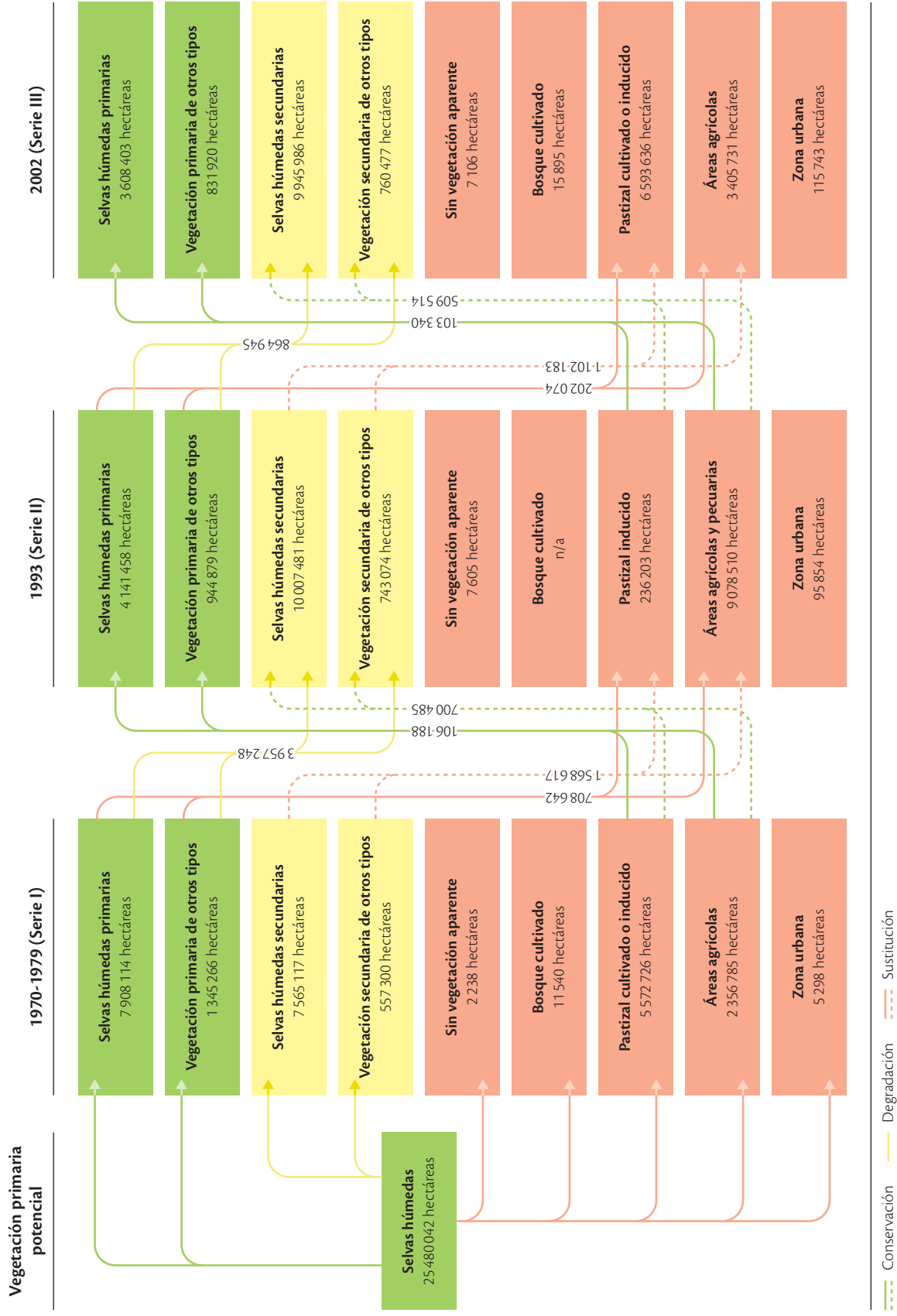


Figura 2.8 Cambios en el uso del suelo en la zona bioclimática de selvas húmedas desde la década de los setenta en los 25.5 millones de hectáreas de la zona de distribución potencial de las selvas húmedas del país.

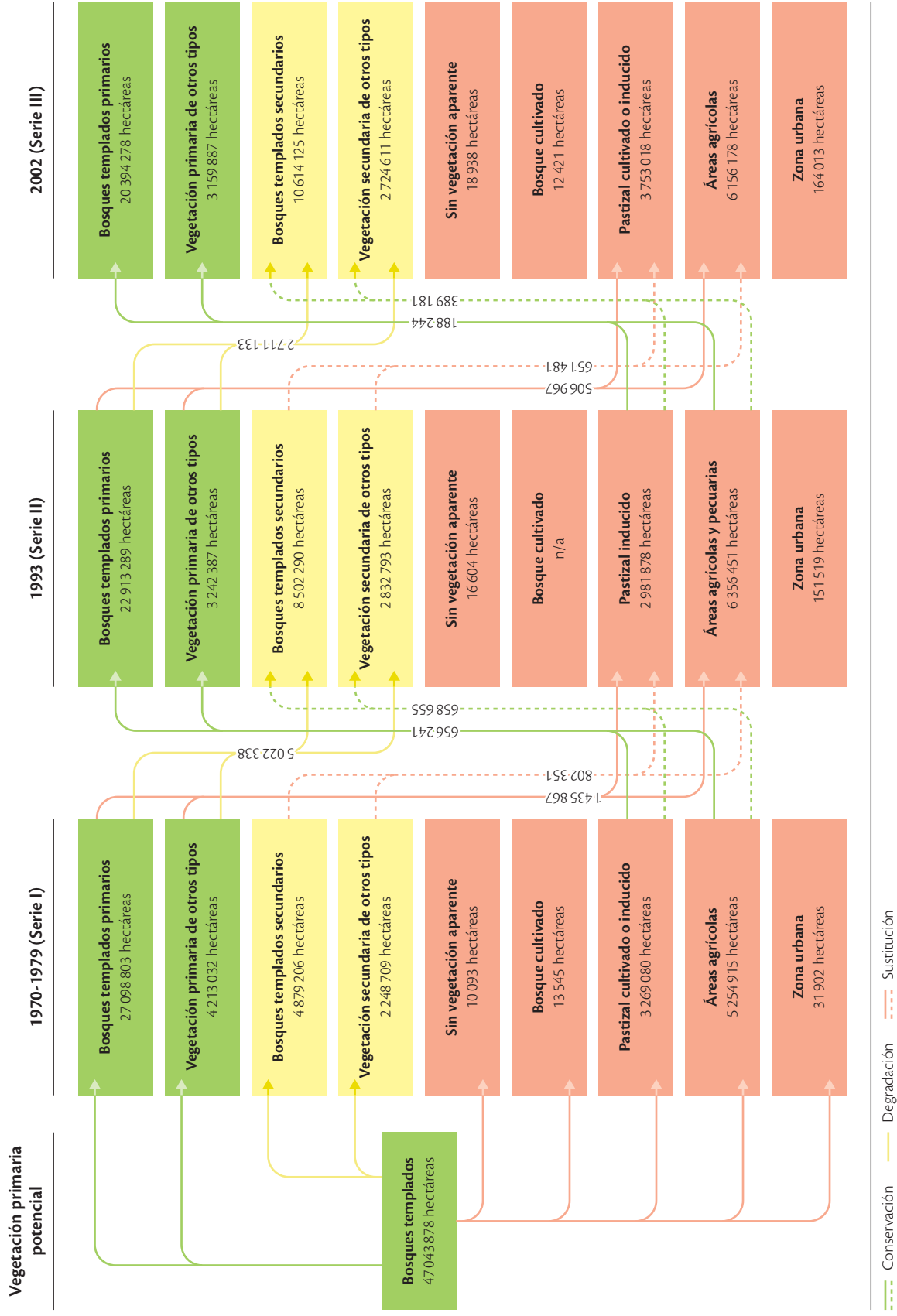


Figura 2.10 Cambios en el uso del suelo en la zona bioclimática de bosques templados desde la década de los setenta en los 47 millones de hectáreas de la zona de distribución potencial de los bosques templados del país

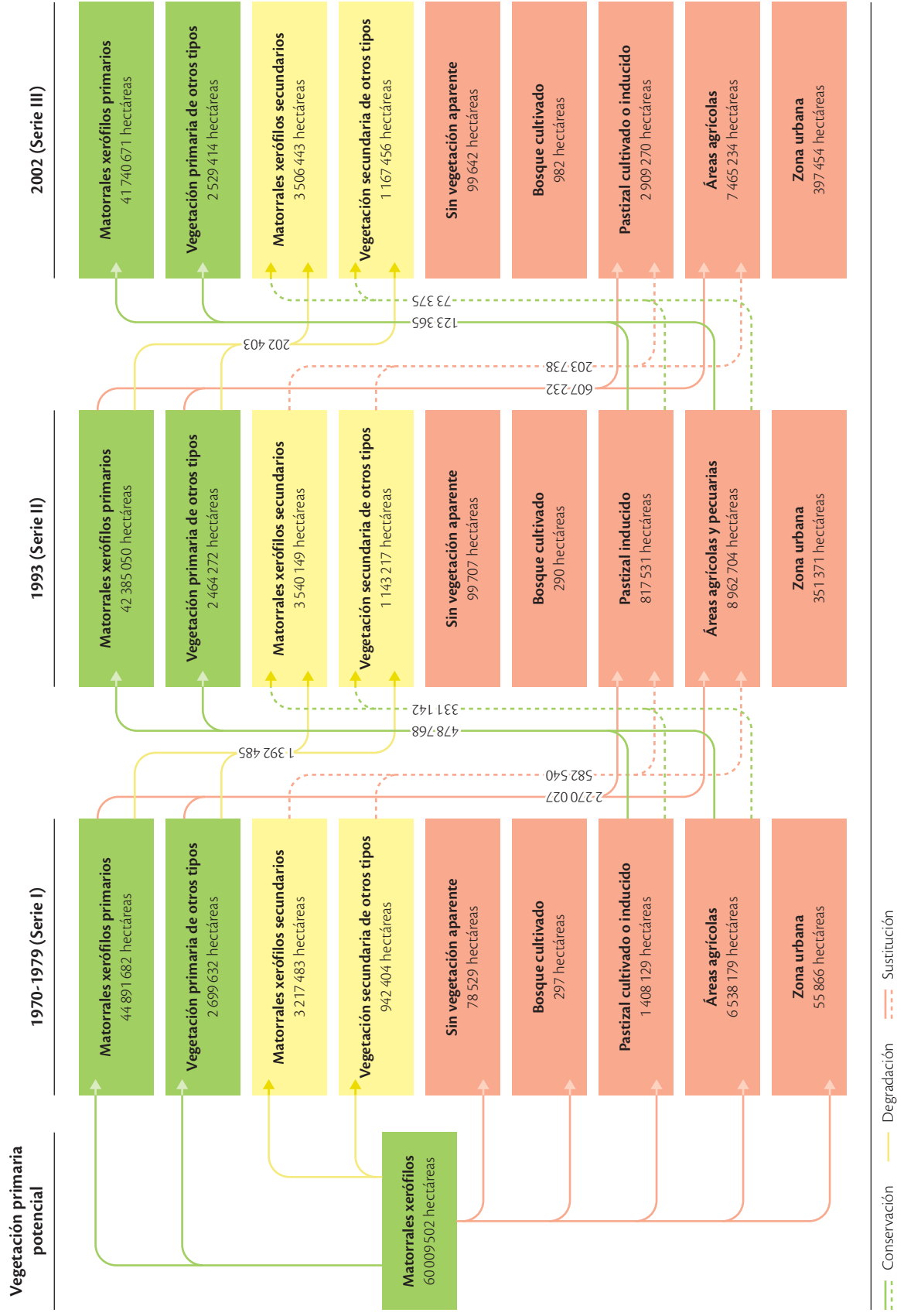


Figura 2.11 Cambios en el uso del suelo en la zona bioclimática de matorrales xerófilos desde la década de los setenta en los 60 millones de hectáreas de la zona de distribución potencial de los matorrales xerófilos del país

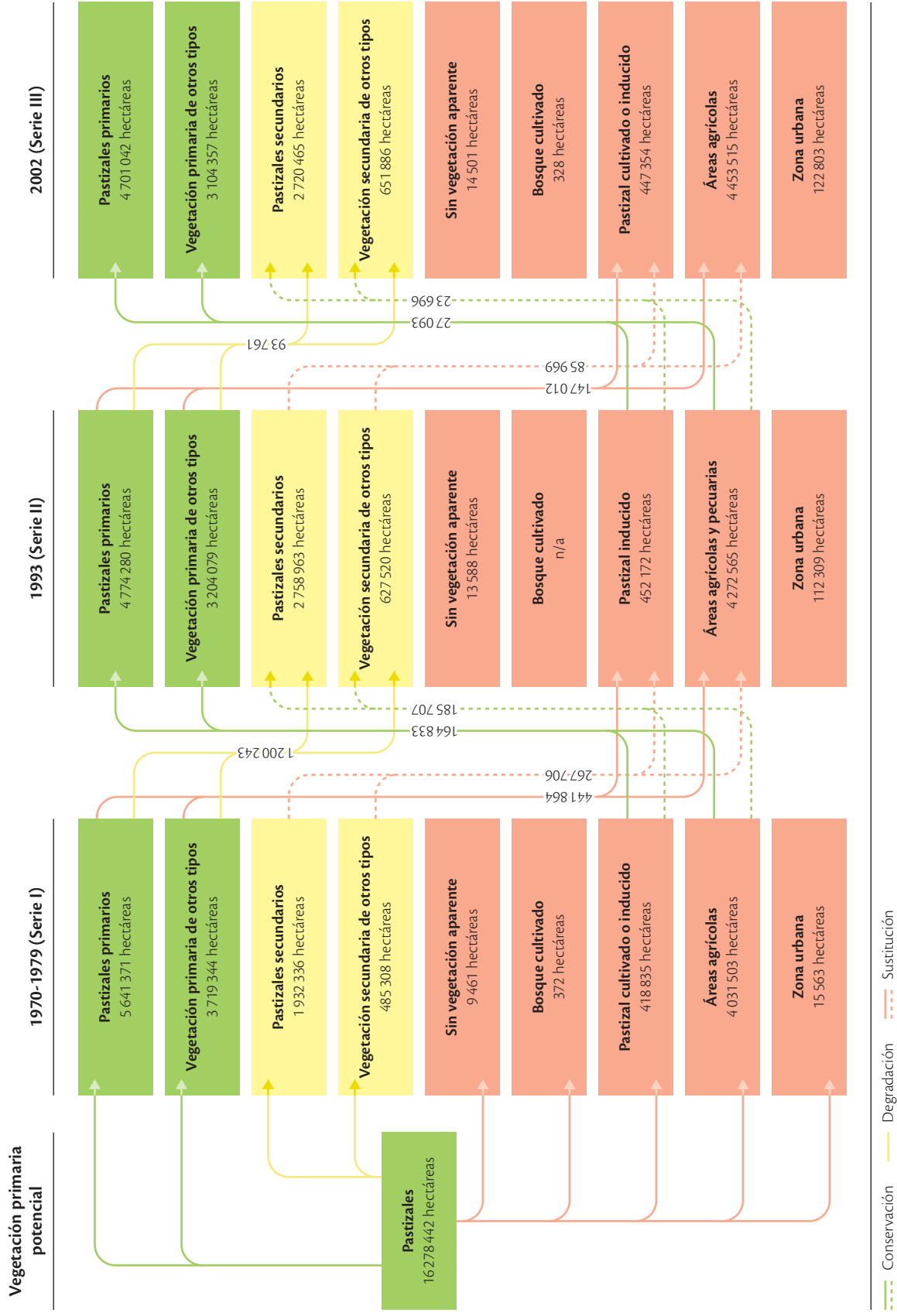


Figura 2.12 Cambios en el uso del suelo en la zona bioclimática de pastizales desde la década de los setenta en los 16.3 millones de hectáreas de la zona de distribución potencial de los pastizales del país

de la Península de Yucatán (Fig. 2.17)— habría sufrido diversos grados de perturbación y, para la década de 1970, esas zonas aparecían cubiertas por comunidades secundarias (Fig. 2.9). Un total de 5.5 millones de hectáreas de selvas subhúmedas habrían sido eliminadas —sobre todo en la parte baja de la Sierra Madre Occidental y en la costa de Sinaloa, el delta del Río Grande de Santiago, las sierras y valles guerrerenses, las sierras del sur de Puebla, la Depresión del Balsas, las sierras y valles de Oaxaca, la Depresión Central de Chiapas y la porción NW de la Península de Yucatán— para dedicar el terreno a la agricultura, y otros 2.6 millones de hectáreas habrían sido convertidas en potreros para la ganadería, en particular en la zona limítrofe entre los estados de Tamaulipas y Veracruz (Fig. 2.17).

Para 1993 (Fig. 2.9), las comunidades primarias se habían reducido a solo 7.5 millones de hectáreas, como resultado de la degradación de 1.2 millones de hectáreas a comunidades secundarias (particularmente en las costas de Jalisco, Colima y Michoacán y en la porción sur de las Sierras Orientales de Oaxaca; véase Fig. 2.18) y la conversión de unas 900 000 hectáreas a terrenos agrícolas y pecuarios. A pesar de eso, la extensión de comunidades secundarias disminuyó a 7.9 millones de hectáreas, debido a su conversión en terrenos agrícolas (más de 1.6 millones hectáreas) o pecuarios (unas 300 000 hectáreas), en especial en el estado de Tamaulipas (Fig. 2.18). De esa manera, las tierras agrícolas y pecuarias habrían alcanzado, en conjunto, unos 9.9 millones de hectáreas. También en este caso, se dieron algunos procesos de regeneración durante este periodo: unas 810 000 hectáreas que, en la década de 1970 habían estado dedicadas a la agricultura o la ganadería, en 1993 tenían cubiertas de vegetación secundaria (sobre todo en el NW de la Península de Yucatán) y otras 207 000 hectáreas contaban incluso con comunidades reconocibles como vegetación primaria (Figs. 2.9 y 2.18).

Para 2002 (Fig. 2.9) solo quedaban alrededor de siete millones de hectáreas de selvas subhúmedas primarias, como consecuencia de la degradación (que habría afectado a unas 560 000 hectáreas) y la conversión a terrenos agrícolas o pecuarios (cerca de 320 000 hectáreas), sobre todo en Sonora, Sinaloa y las costas de Jalisco, Colima y Michoacán (Fig. 2.19). La extensión de selvas subhúmedas secundarias se había reducido a 7.6 millones de hectáreas debido a su conversión (unas 900 000 hectáreas) a terrenos agrícolas o pecuarios, en particular en las costas de Guerrero, el estado de Veracruz y la Depresión Central de Chiapas (Fig. 2.19). De esa manera, los terrenos

agrícolas y pecuarios en la zona de selvas subhúmedas habían alcanzado ya más de 10.4 millones de hectáreas (9.2 dedicadas a la agricultura y 1.2 a la ganadería). En algunas partes del país —como el extremo NW de la Península de Yucatán— unas 433 000 hectáreas que en 1993 aparecían dedicadas a la agricultura o la ganadería ahora estaban cubiertas por vegetación secundaria y otras 122 000 hectáreas mostraban incluso comunidades reconocibles como vegetación primaria.

2.4.3 Bosques templados

En los 47 millones de hectáreas que comprende la zona de distribución potencial de los bosques templados del país, para la década de 1970 solo se registraba un total de 27 millones de hectáreas de bosques reconocibles como primarios, junto con otros 4.2 millones de hectáreas de comunidades primarias de otros tipos de vegetación también presentes en esta zona bioclimática, para un total de 31.2 millones de hectáreas de vegetación primaria remanente hacia la década de 1970 en la zona de bosques templados del país (Fig. 2.10). Esos bosques poco alterados se conservaban, sobre todo, en la mayor parte de las sierras Madre Occidental, Madre del Sur y Madre de Chiapas (Fig. 2.20). La cubierta vegetal original de unos siete millones de hectáreas —ubicadas sobre todo en los estados de Chiapas (Sierra Norte y Los Altos) y Oaxaca (Sierras Centrales, Oriental y valles) (Fig. 2.20)— habría sufrido diversos grados de perturbación y, para la década de 1970, esas zonas aparecían cubiertas por bosques secundarios (Fig. 2.10). Unos 5.2 millones de hectáreas de bosques habrían sido convertidas (sobre todo en la parte central del Eje Neovolcánico, en la subprovincia de los Lagos y Volcanes del Anáhuac) a tierras agrícolas, y otros 3.2 millones de hectáreas a potreros para la ganadería, particularmente en el Eje Neovolcánico, la Sierra de Los Tuxtlas y otras zonas (Fig. 2.20).

Para 1993 (Fig. 2.10), los bosques primarios se habían reducido a 26.1 millones de hectáreas, sobre todo como resultado de la degradación de cerca de cinco millones de hectáreas a comunidades secundarias (principalmente a lo largo de la cordillera costera del sur en los estados de Michoacán, Guerrero y Oaxaca; véase Fig. 2.21). Asimismo, poco más de 800 000 hectáreas de bosques secundarios habrían sido convertidos a terrenos agrícolas o pecuarios en pequeñas zonas dispersas en diferentes partes del país. Como resultado, para 1993 los bosques secundarios habían alcanzado un total de 11.3 millones de hectáreas y, en conjunto, los terrenos agrícolas y pecuarios

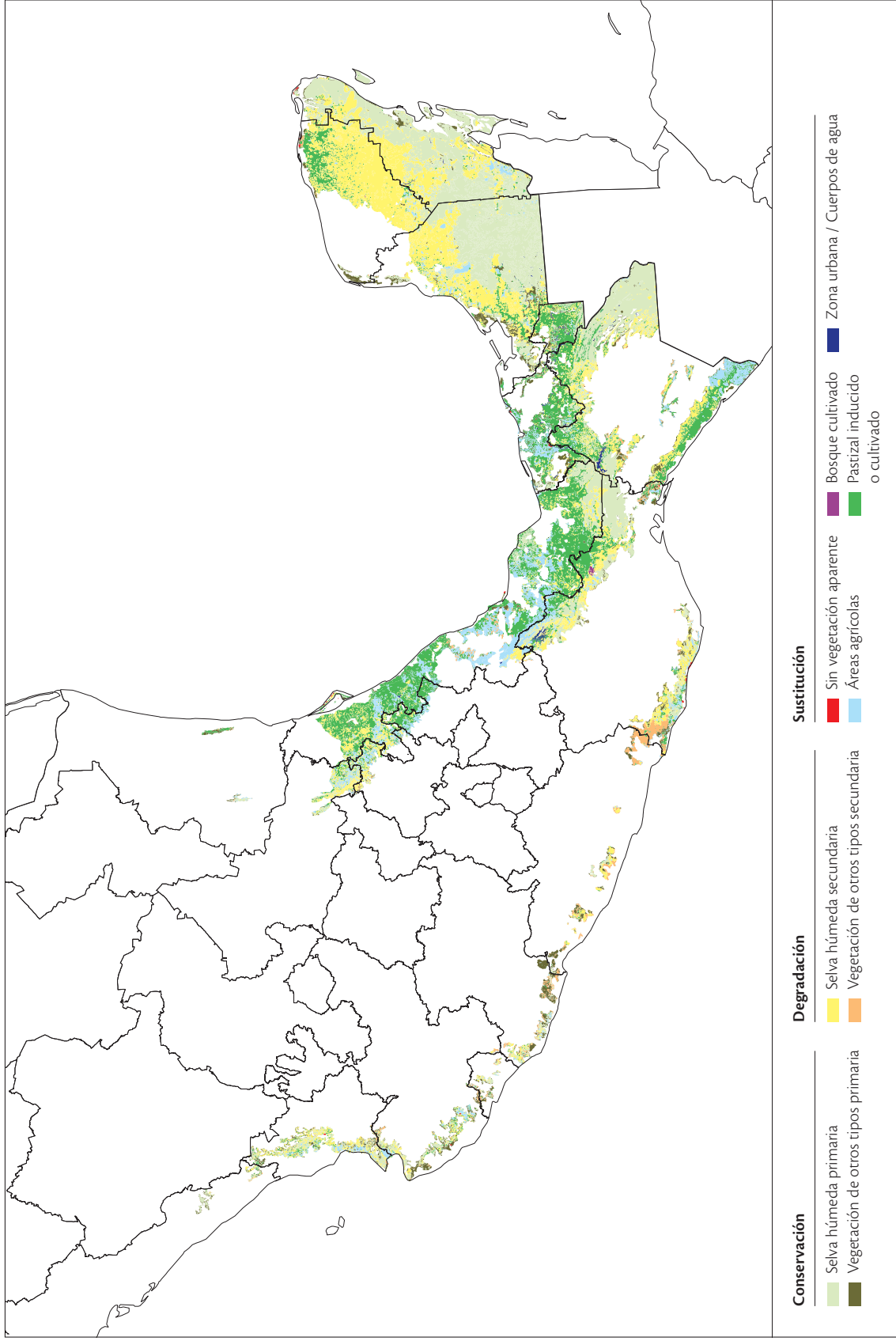


Figura 2.13 Cambios en el uso del suelo hacia la década de 1970 en la zona de distribución potencial de las selvas húmedas.

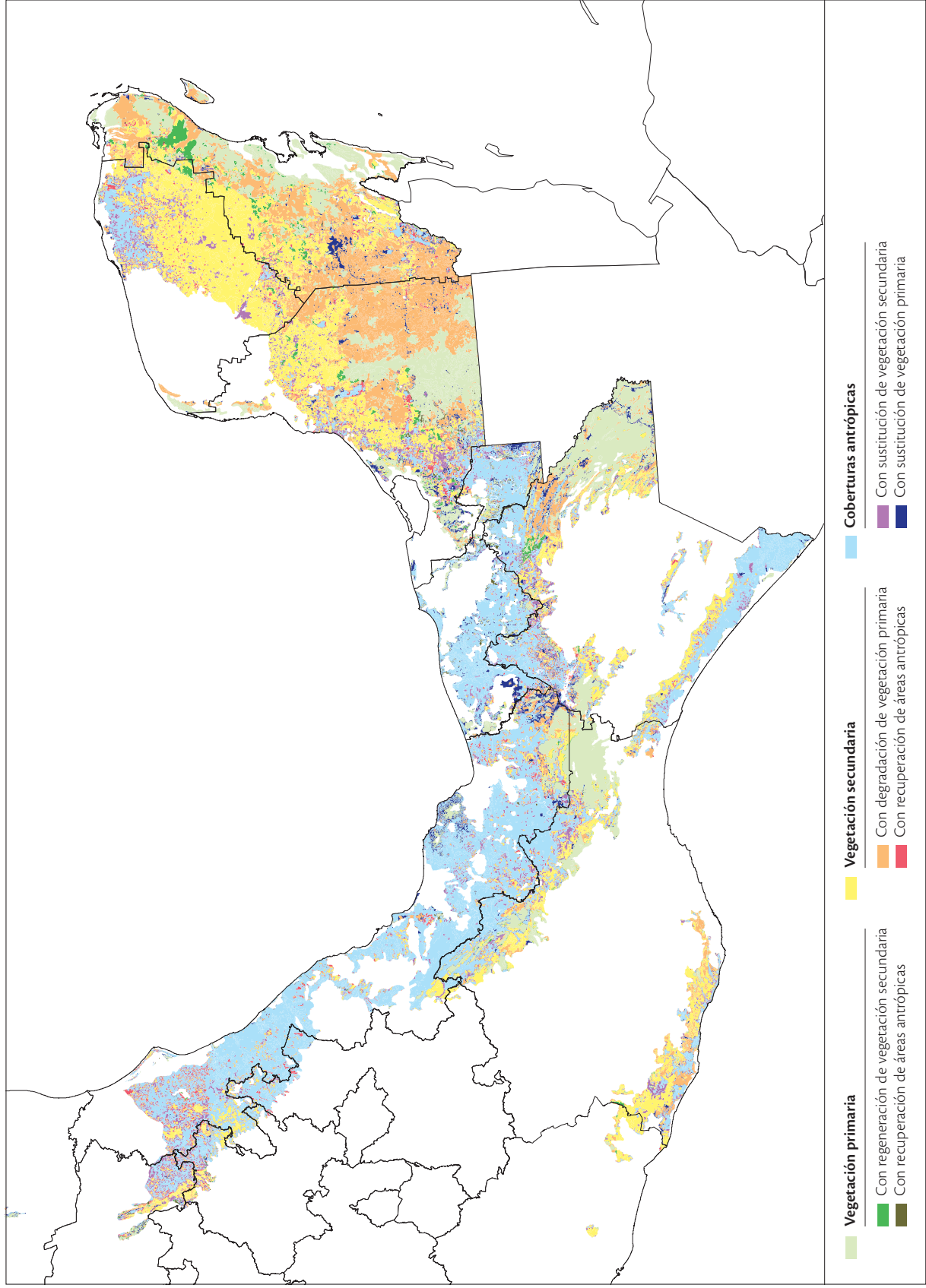


Figura 2.14 Cambios en el uso del suelo ocurridos entre la década de 1970 y 1993 en la zona de distribución potencial de las selvas húmedas.

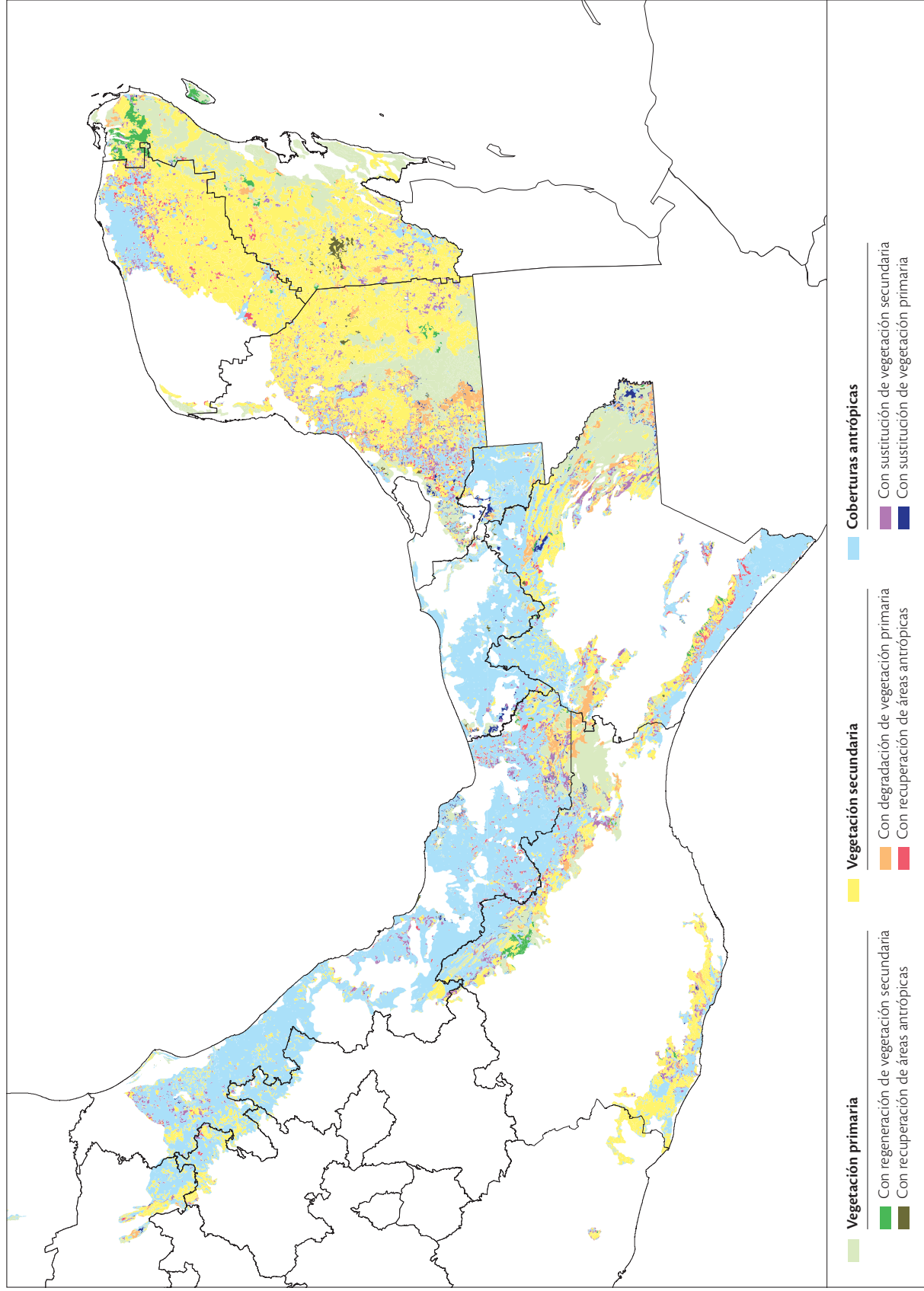


Figura 2.15 Cambios en el uso del suelo ocurridos entre 1993 y 2002 en la zona de distribución potencial de las selvas húmedas.

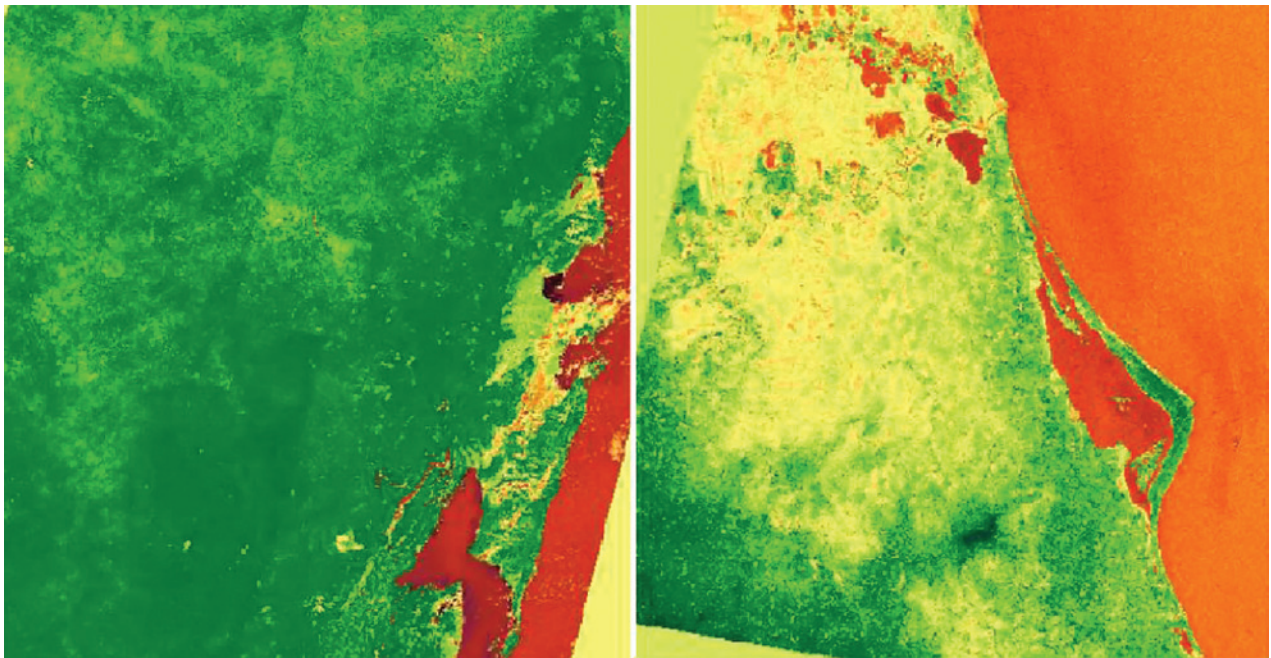


Figura 2.16 Índice de vegetación (NDVI) en (a) la Península de Yucatán, y (b) el extremo norte de la costa del estado de Veracruz en 1978 y 1973, respectivamente, calculado a partir de imágenes Landsat MSS; los tonos más intensos de verde denotan mayor cantidad de biomasa vegetal. Las imágenes muestran la amplia extensión de selvas húmedas en buen estado de conservación remanentes en el sur de la Península de Yucatán y la extensiva sustitución de selvas húmedas por potreros y terrenos de cultivo en el estado de Veracruz hacia la década de 1970.

habían aumentado a 9.3 millones de hectáreas (Fig. 2.10). Algunos procesos de regeneración también ocurrieron durante este periodo (por ejemplo, en la Mixteca y las Sierras Centrales de Oaxaca; Fig. 2.21), de manera que unas 658 000 hectáreas antes dedicadas a la agricultura o la ganadería, en 1993 estaban cubiertas por vegetación secundaria y otras 656 000 hectáreas contenían comunidades reconocibles como bosques primarios (Fig. 2.10).

Para 2002 (Fig. 2.10) quedaban unos 23.5 millones de hectáreas de bosques primarios; los procesos de degradación habían dañado otros 2.7 millones de hectáreas y 507 000 hectáreas más habían sido convertidas a terrenos agrícolas o pecuarios, en especial en las mesetas y cañadas del sur de la Sierra Madre Occidental (en el estado de Nayarit), las sierras de Jalisco, las Sierras Orientales y Centrales de Oaxaca y las Sierras del Sur de Chiapas (Fig. 2.22). Otras 651 000 hectáreas de bosques secundarios también habían sido sustituidas. Así, la extensión cubierta por bosques secundarios alcanzó 13.3 millones de hectáreas y los terrenos agrícolas y pecuarios en la zona de bosques templados sumaban casi 10 millones de hectáreas (6.1 dedicadas a la agricultura y 3.7 a la ganadería; Fig. 2.10).

2.4.4 Matorrales xerófilos

De los 60 millones de hectáreas que comprende la zona de distribución potencial de los matorrales xerófilos de México, para la década de 1970 solo se registraban 44.9 millones de hectáreas de matorrales reconocibles como primarios, junto con 2.7 millones de hectáreas de comunidades primarias de otros tipos de vegetación también presentes en esta área bioclimática, lo que da 47.6 millones de hectáreas de vegetación primaria remanente en el decenio de 1970 en la zona de matorrales xerófilos (Fig. 2.11). Esos matorrales en buen estado de conservación se presentaban, especialmente, en la Península de Baja California, la llanura sonorensis, las sierras y llanuras del norte y la Mesa Central (Fig. 2.23). El área de matorrales, sobre todo de la porción central de Tamaulipas, del Bolsón de Mapimí y de las llanuras y sierras potosino-zacatecanas (unos 4.1 millones de hectáreas), habría experimentado diversos grados de perturbación y, para la década de 1970, se registraban como matorrales secundarios (Fig. 2.11). Casi ocho millones de hectáreas de matorrales fueron sustituidas —sobre todo en las llanuras costeras y deltas de Sonora y Sinaloa, el Bolsón de

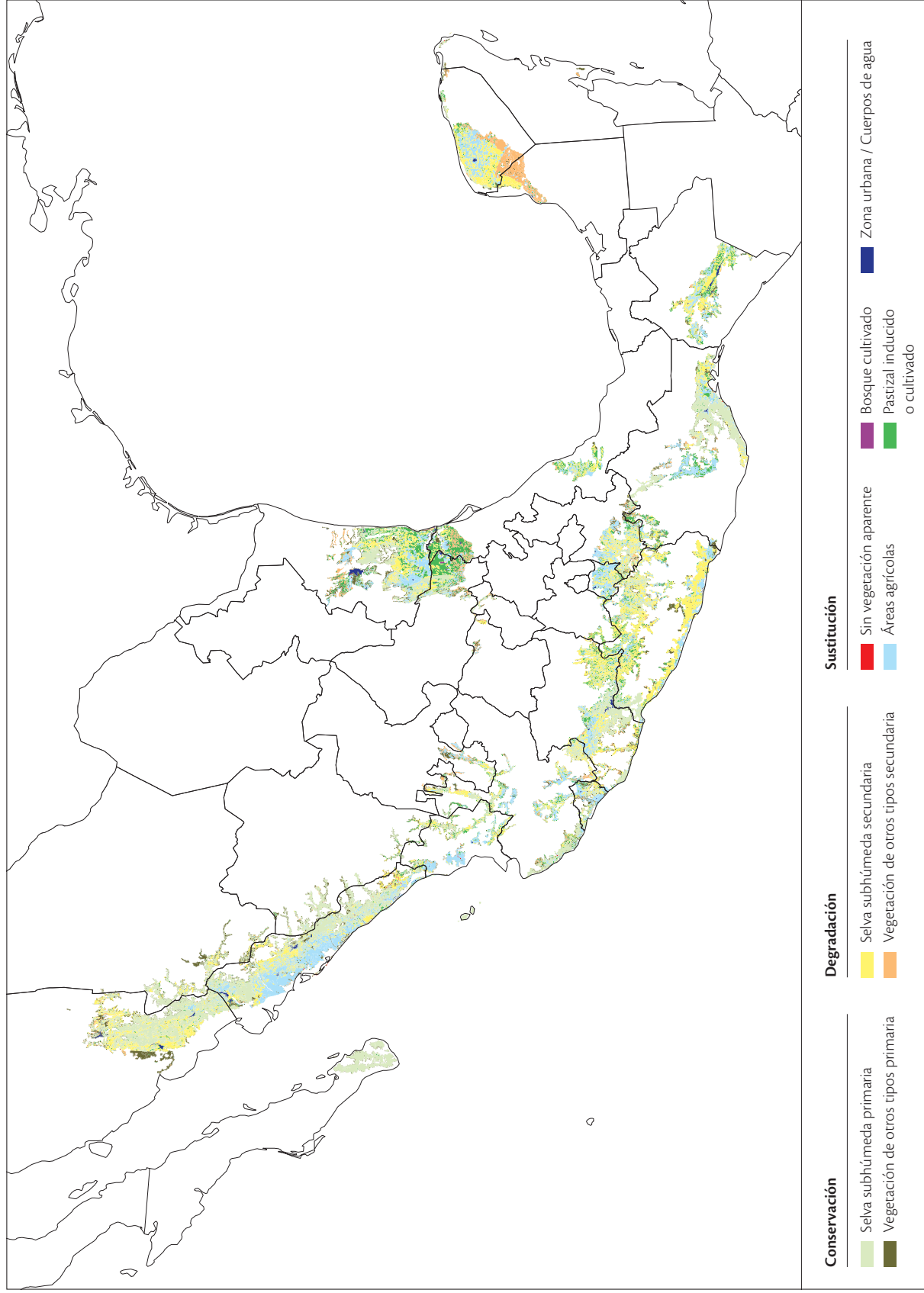


Figura 2.17 Cambios en el uso del suelo hacia la década de 1970 en la zona de distribución potencial de las selvas subhúmedas.

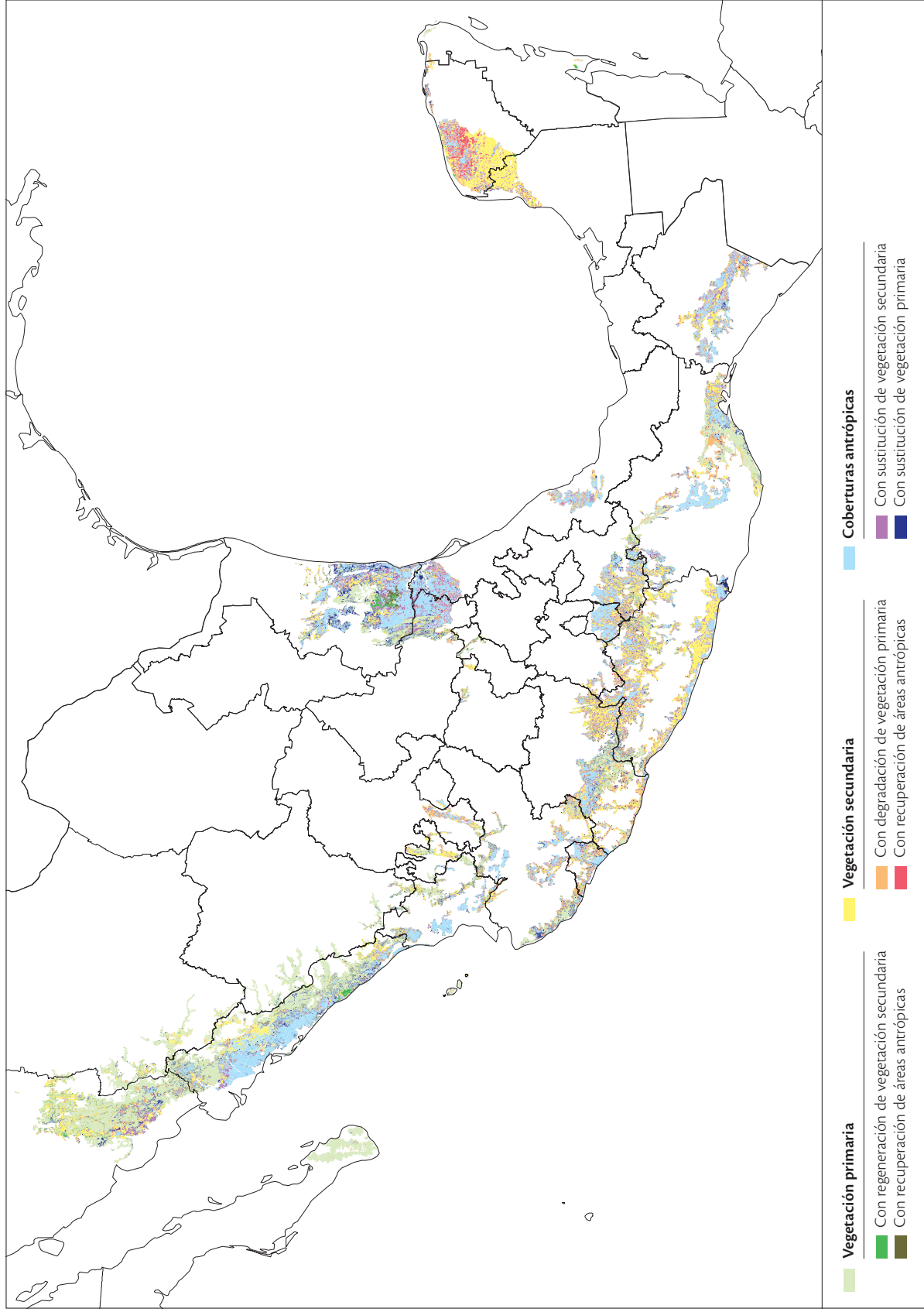


Figura 2.18 Cambios en el uso del suelo ocurridos entre la década de 1970 y 1993 en la zona de distribución potencial de las selvas subhúmedas.

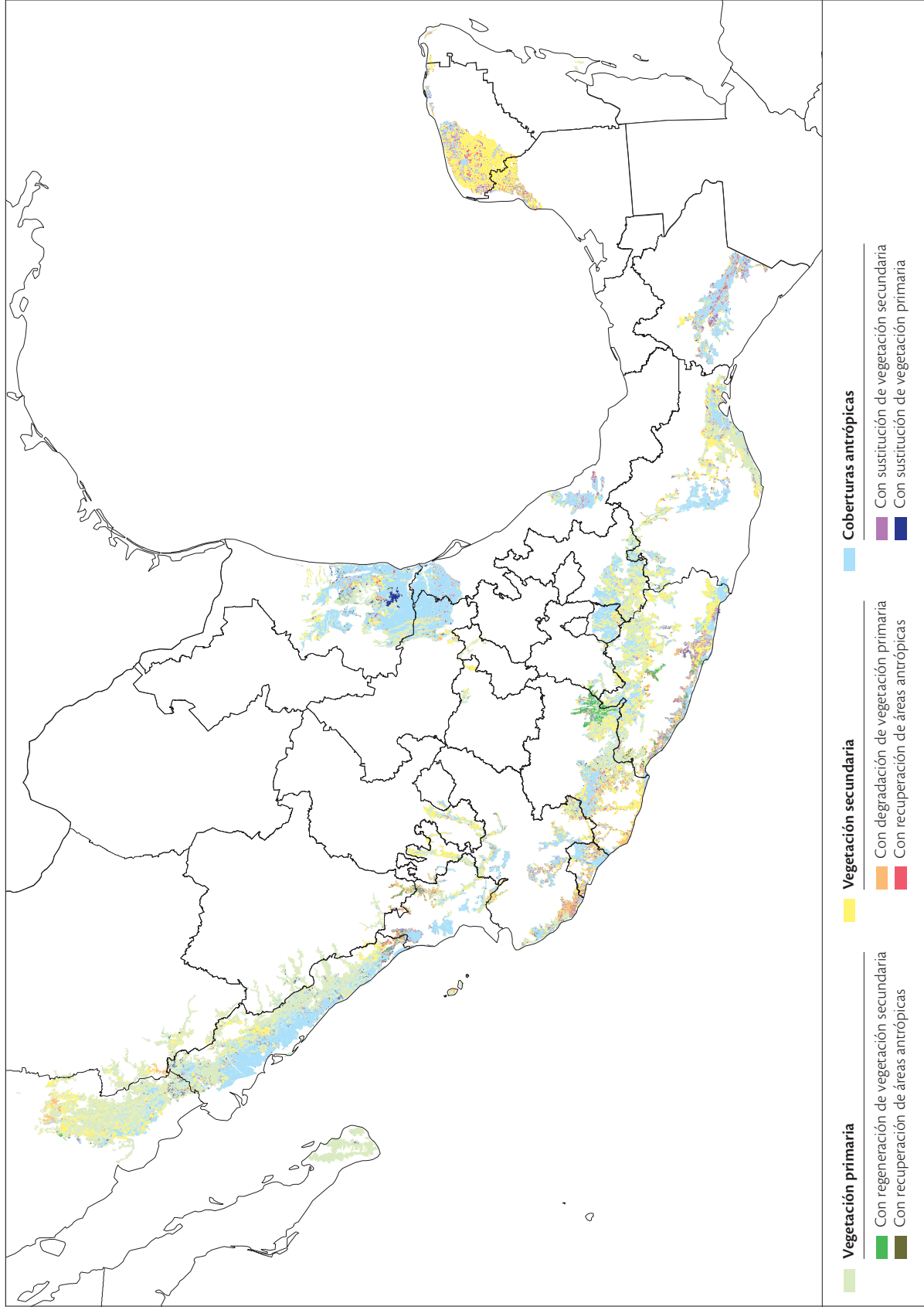


Figura 2.19 Cambios en el uso del suelo ocurridos entre 1993 y 2002 en la zona de distribución potencial de las selvas subhúmedas.

Mapimí, el norte de Tamaulipas, las vertientes norte del Eje Neovolcánico y en las Sierras Centrales de Oaxaca (Fig. 2.23)— por terrenos agrícolas (6.5 millones de hectáreas) o pecuarios (1.4 millones de hectáreas).

Para 1993 (Fig. 2.11), los matorrales primarios se habían reducido a 44.8 millones de hectáreas, por la conversión de cerca de 2.3 millones de hectáreas a terrenos agrícolas o pecuarios y la degradación de 1.4 millones de hectáreas a comunidades secundarias, en particular en las llanuras de Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas (en la frontera con Estados Unidos) y en las vertientes norte del Eje Neovolcánico (Fig. 2.24). Asimismo, alrededor de 582 000 hectáreas de matorrales secundarios habrían sido sustituidos por terrenos agrícolas o pecuarios, sobre todo en las llanuras y sierras potosino-zacatecanas (Fig. 2.24). De esa manera, para 1993 un total de 4.6 millones de hectáreas estaban cubiertas por matorrales secundarios y, en conjunto, los terrenos agrícolas y pecuarios habían aumentado a cerca de 9.8 millones de hectáreas (Fig. 2.11). También en este caso se dieron algunos procesos de regeneración durante este periodo, en especial en las llanuras de Sonora, Coahuila y Tamaulipas y el Bolsón de Mapimí (Fig. 2.24). En esas zonas, unas 331 000 hectáreas que en los años setenta estuvieron ocupadas por la agricultura o la ganadería, en 1993 aparecían cubiertas por matorrales secundarios y en otras 479 000 hectáreas incluso se reconocían comunidades de matorrales primarios (Fig. 2.11).

Para 2002 (Fig. 2.11), los matorrales reconocibles como primarios se habían reducido a unos 44.2 millones de hectáreas, debido principalmente a la conversión de poco más de 607 000 hectáreas a terrenos agrícolas o pecuarios (en particular en el Bolsón de Mapimí) y la degradación de alrededor de 202 000 hectáreas a matorrales secundarios (sobre todo en las llanuras de Chihuahua y Coahuila) (Fig. 2.25). Al mismo tiempo, algo más de 203 000 hectáreas de matorrales secundarios también fueron sustituidos por terrenos agrícolas o pecuarios (Fig. 2.11). Así, la extensión cubierta por matorrales secundarios se mantenía en los mismos 4.6 millones de hectáreas pero los terrenos agrícolas y pecuarios en la zona de matorrales xerófilos aumentaron a 10.3 millones de hectáreas (7.4 dedicadas a la agricultura y 2.9 a la ganadería; Fig. 2.11).

2.4.5 Pastizales

En los 16.3 millones de hectáreas que comprende la zona de distribución potencial de los pastizales del país, para

la década de 1970 solo se registraban 5.6 millones de hectáreas de pastizales reconocibles como primarios, junto con otros 3.7 millones de hectáreas de comunidades primarias de otros tipos de vegetación también presentes en esta zona bioclimática, lo que daba un total de 9.3 millones de hectáreas de vegetación primaria aún remanente en la década mencionada en la zona de pastizales (Fig. 2.12). Esos pastizales en buen estado de conservación se presentaban, sobre todo, en las llanuras y médanos del norte (en los estados de Sonora y Chihuahua), las llanuras y sierras de Chihuahua, Coahuila y Durango, las sierras y valles zacatecanos, las llanuras de Ojuelos-Aguascalientes y los Altos de Jalisco (Fig. 2.26). Poco más de 2.4 millones de hectáreas estaban cubiertas por pastizales secundarios, sobre todo en las sierras y llanuras de Durango (en los límites de Chihuahua y Durango) y las sierras de Zacatecas (Figs. 2.12 y 2.26). Esencialmente todos los pastizales que existían en las llanuras y sierras de los estados de Querétaro, Hidalgo, Estado de México, Tlaxcala y Puebla, así como extensiones importantes en la Sierra Tarahumara y las sierras de Zacatecas habían sido sustituidos por terrenos agrícolas (cuatro millones de hectáreas) y, en menor grado, por pastizales cultivados o inducidos (418 000 hectáreas) (Figs. 2.12 y 2.26).

Para 1993 (Fig. 2.12), los pastizales primarios se habían reducido a 7.9 millones de hectáreas, como resultado sobre todo de la degradación de 1.2 millones de hectáreas a pastizales secundarios, en particular en las llanuras y médanos del norte (norte de Sonora y Chihuahua), las sierras y llanuras de Durango (sur de Chihuahua y norte de Durango) y los Altos de Jalisco (Fig. 2.27). Asimismo, unas 267 000 hectáreas de pastizales secundarios fueron sustituidas por terrenos agrícolas o pastizales cultivados, en pequeñas áreas sobre todo en las sierras y llanuras de Durango (Fig. 2.27). De esa manera, para 1993 un total de 3.3 millones de hectáreas estaban cubiertas por pastizales secundarios y, en conjunto, los terrenos agrícolas y pastizales cultivados o inducidos habían aumentado a cerca de 4.8 millones de hectáreas (Fig. 2.12). Aparentemente, algunos procesos de regeneración también ocurrieron durante este lapso: algo menos de 186 000 hectáreas que en la década de 1970 estuvieron dedicadas a la agricultura o la ganadería, en 1993 aparecían cubiertas por pastizales secundarios y otras 165 000 hectáreas tenían comunidades reconocibles como pastizales primarios (Fig. 2.12).

Para 2002 (Fig. 2.12), los pastizales reconocibles como primarios se habían reducido a unos 7.8 millones de hectáreas como consecuencia de que unas 147 000 hectáreas

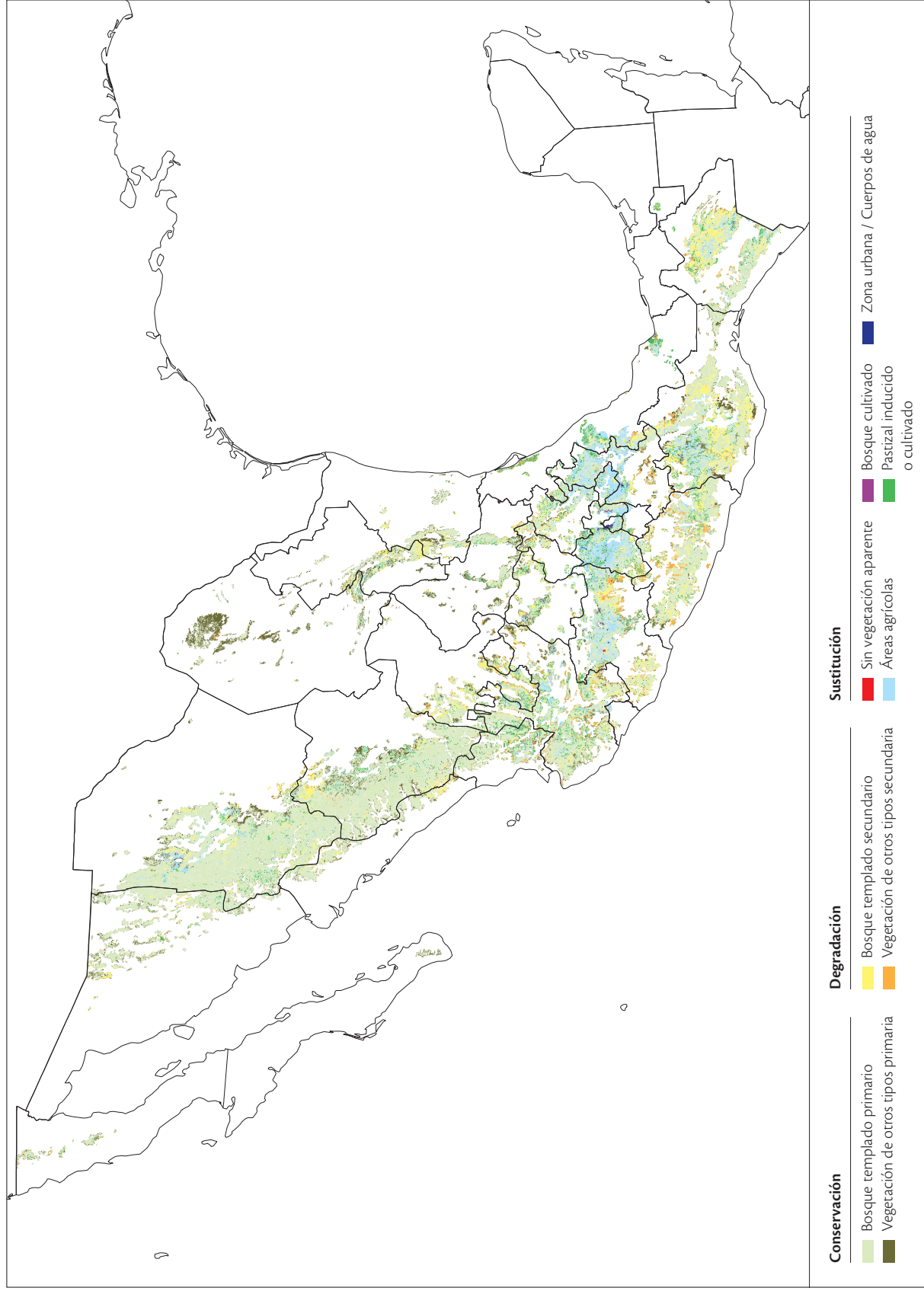


Figura 2.20 Cambios en el uso del suelo hacia la década de 1970 en la zona de distribución potencial de los bosques templados.

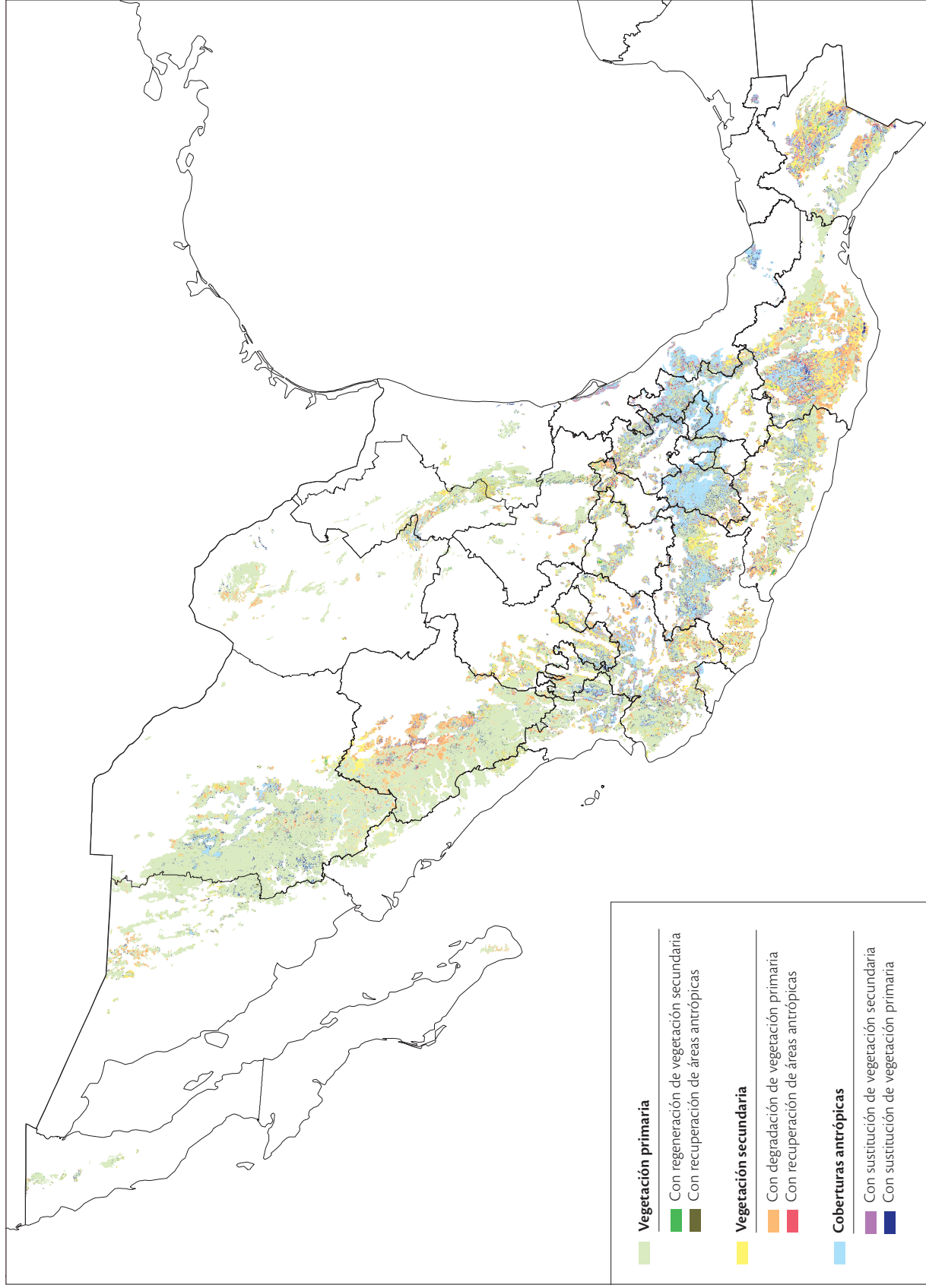


Figura 2.21 Cambios en el uso del suelo ocurridos entre la década de 1970 y 1993 en la zona de distribución potencial de los bosques templados.

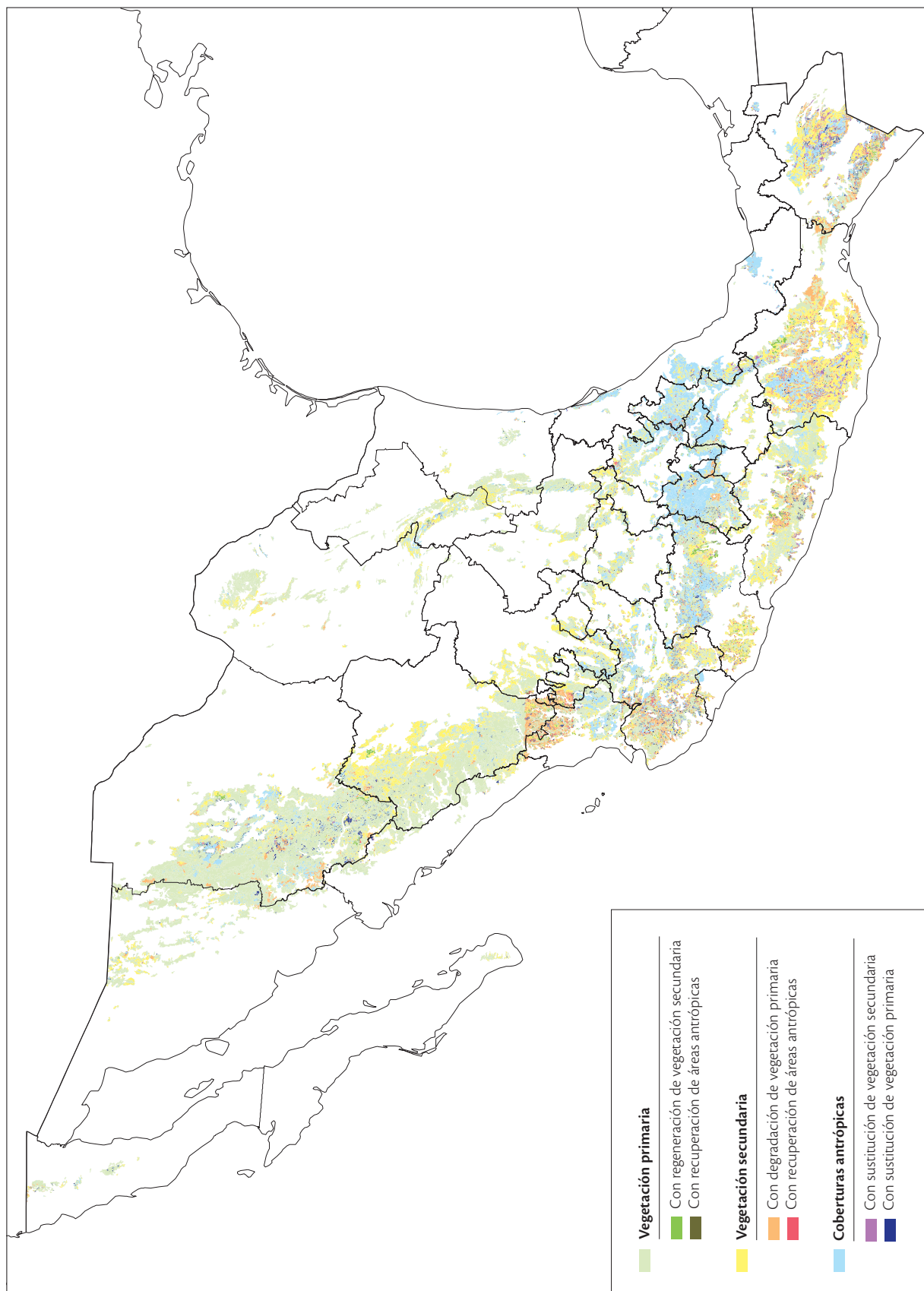


Figura 2.22 Cambios en el uso del suelo ocurridos entre 1993 y 2002 en la zona de distribución potencial de los bosques templados.

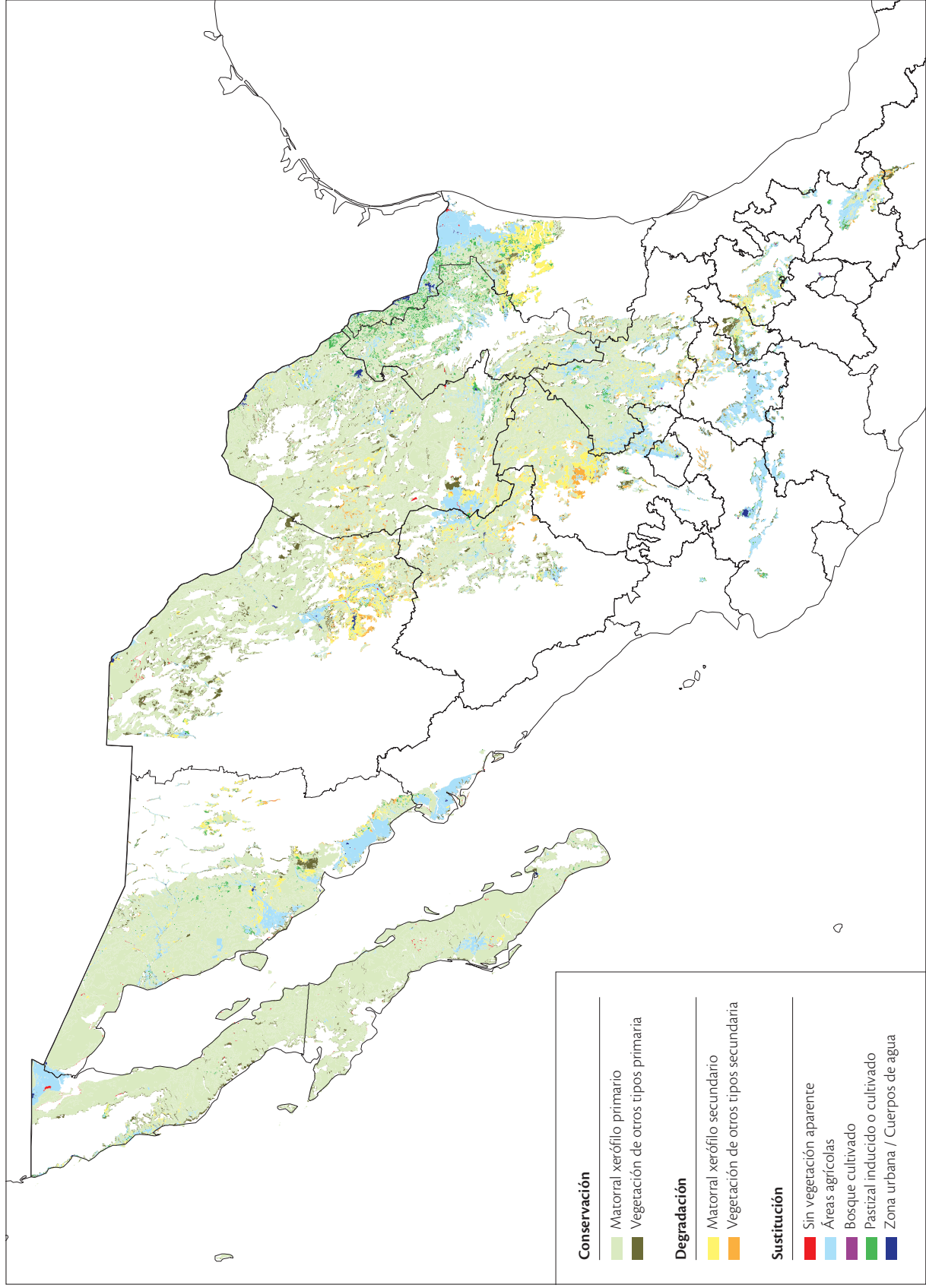


Figura 2.23 Cambios en el uso del suelo hacia la década de 1970 en la zona de distribución potencial de los matorrales xerófilos.

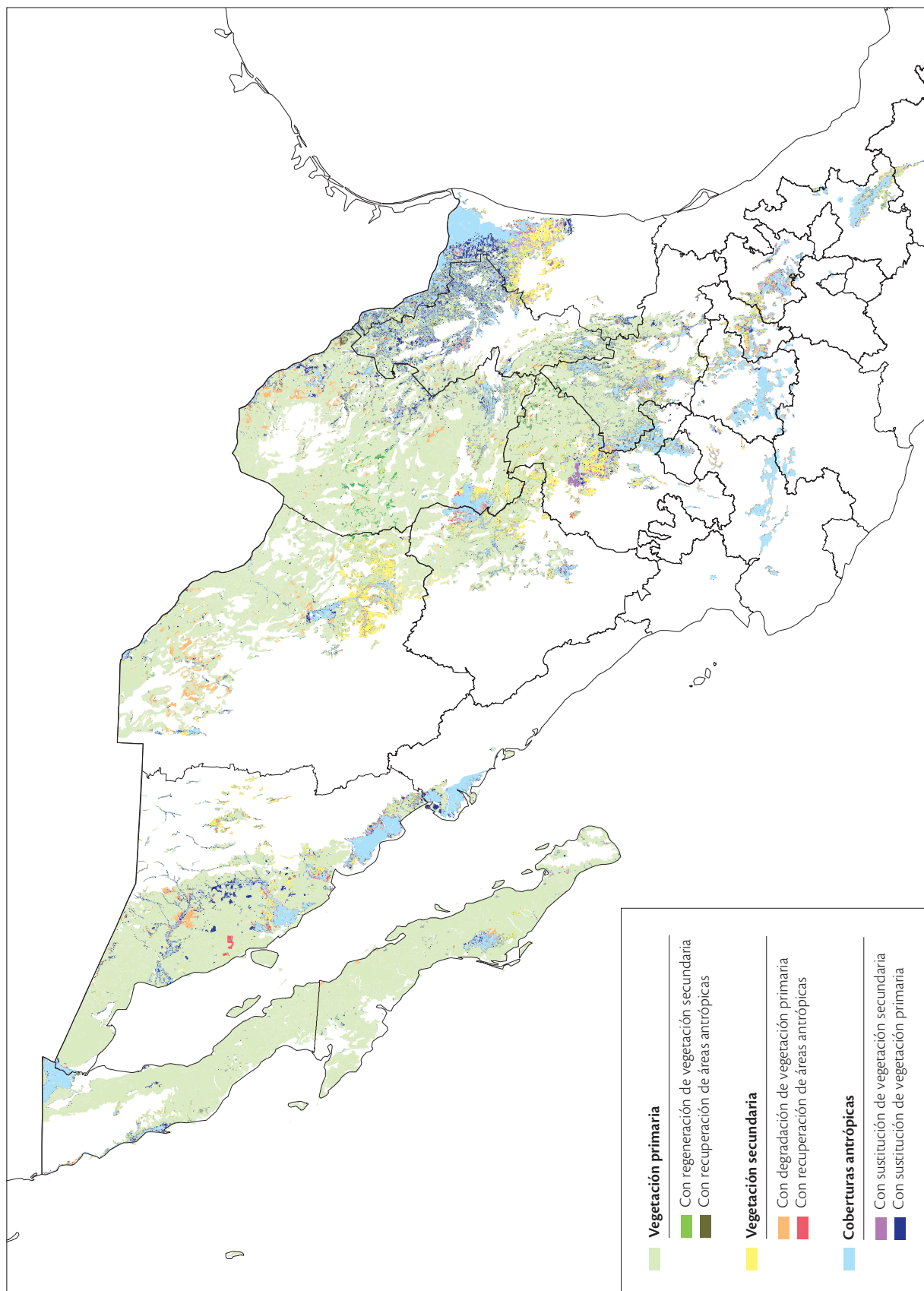


Figura 2.24 Cambios en el uso del suelo ocurridos entre la década de 1970 y 1993 en la zona de distribución potencial de los matorrales xerófilos.

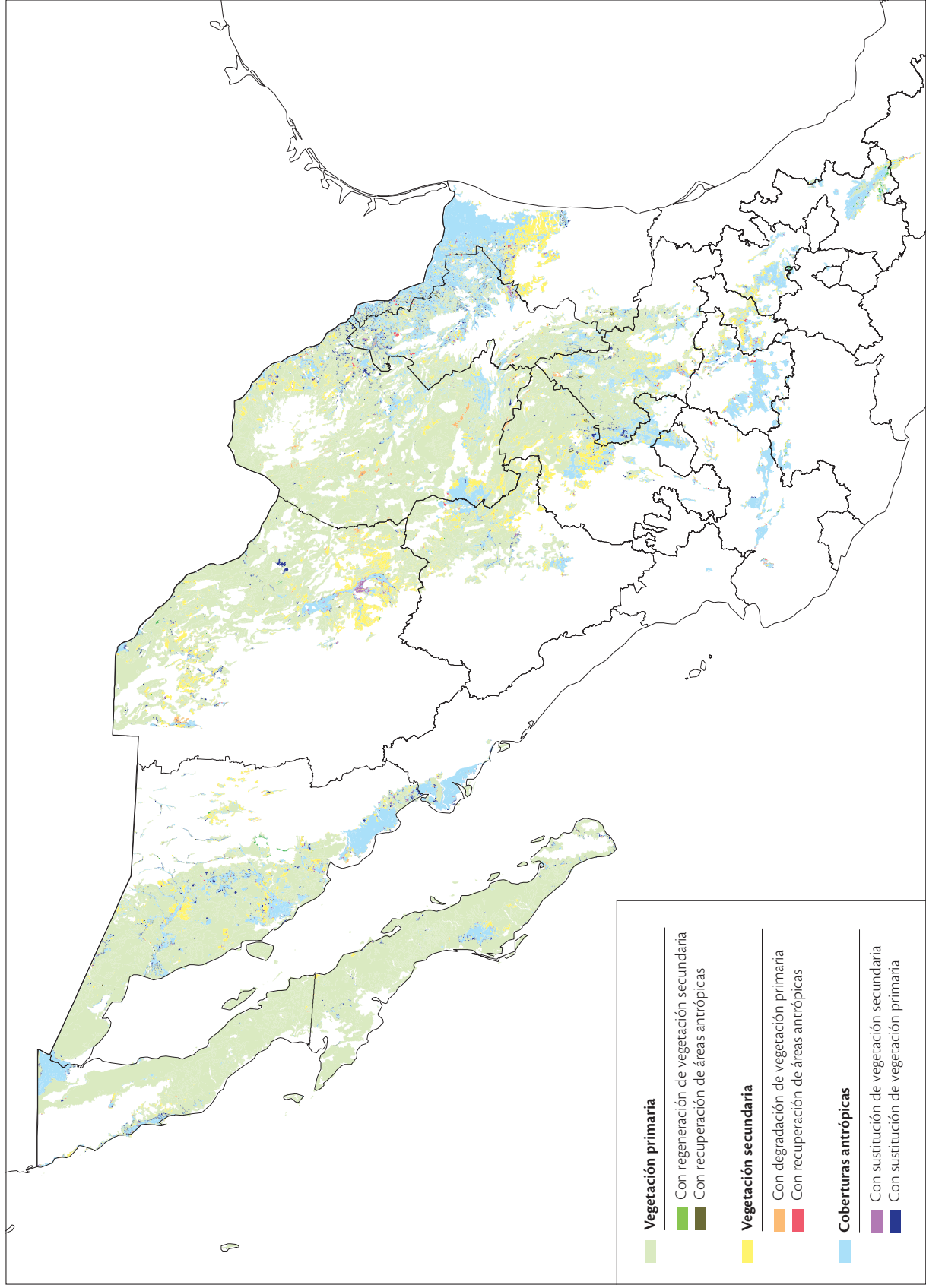


Figura 2.25 Cambios en el uso del suelo ocurridos entre 1993 y 2002 en la zona de distribución potencial de los matorrales xerófilos.

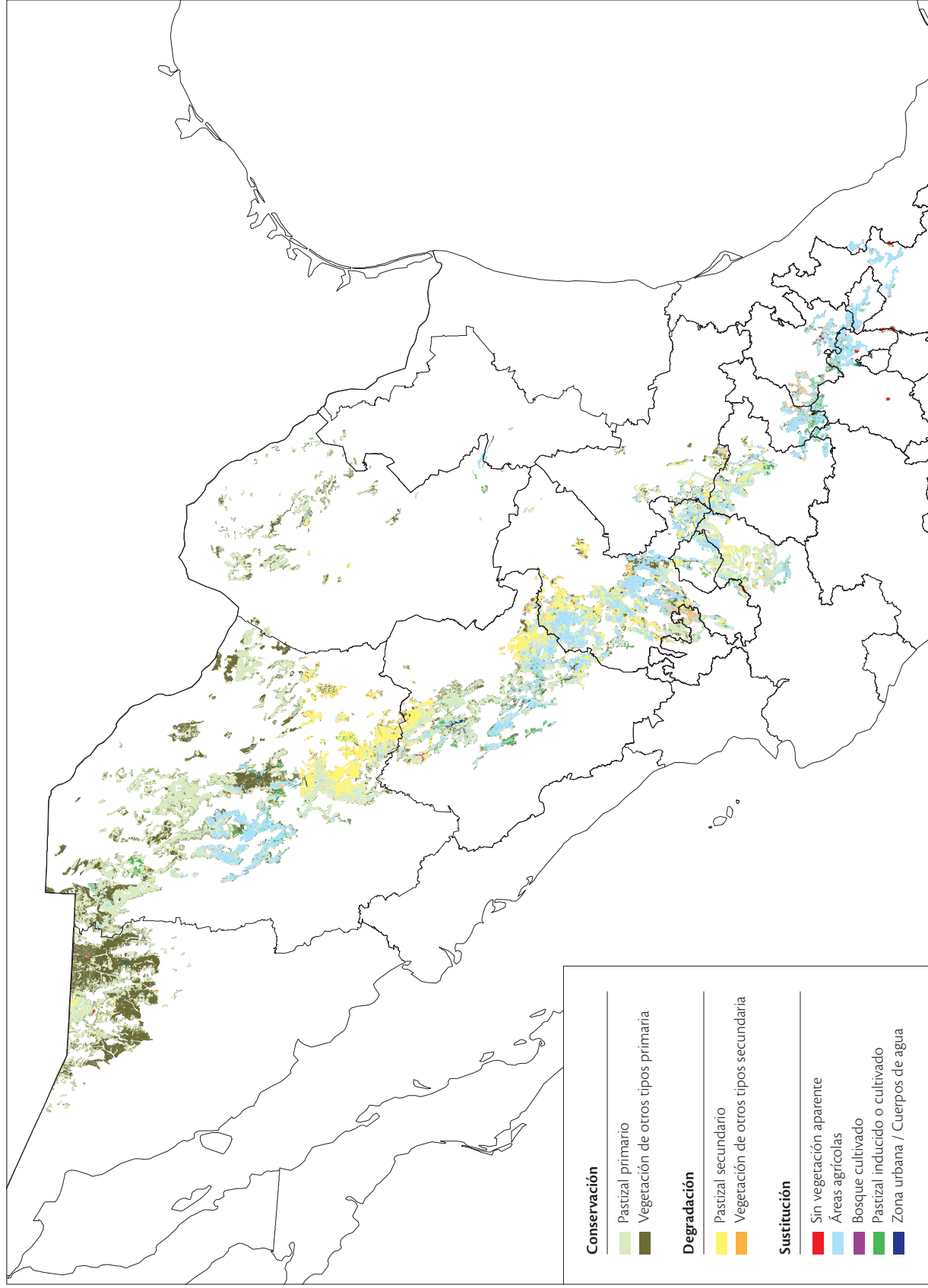


Figura 2.26 Cambios en el uso del suelo hacia la década de 1970 en la zona de distribución potencial de los pastizales.

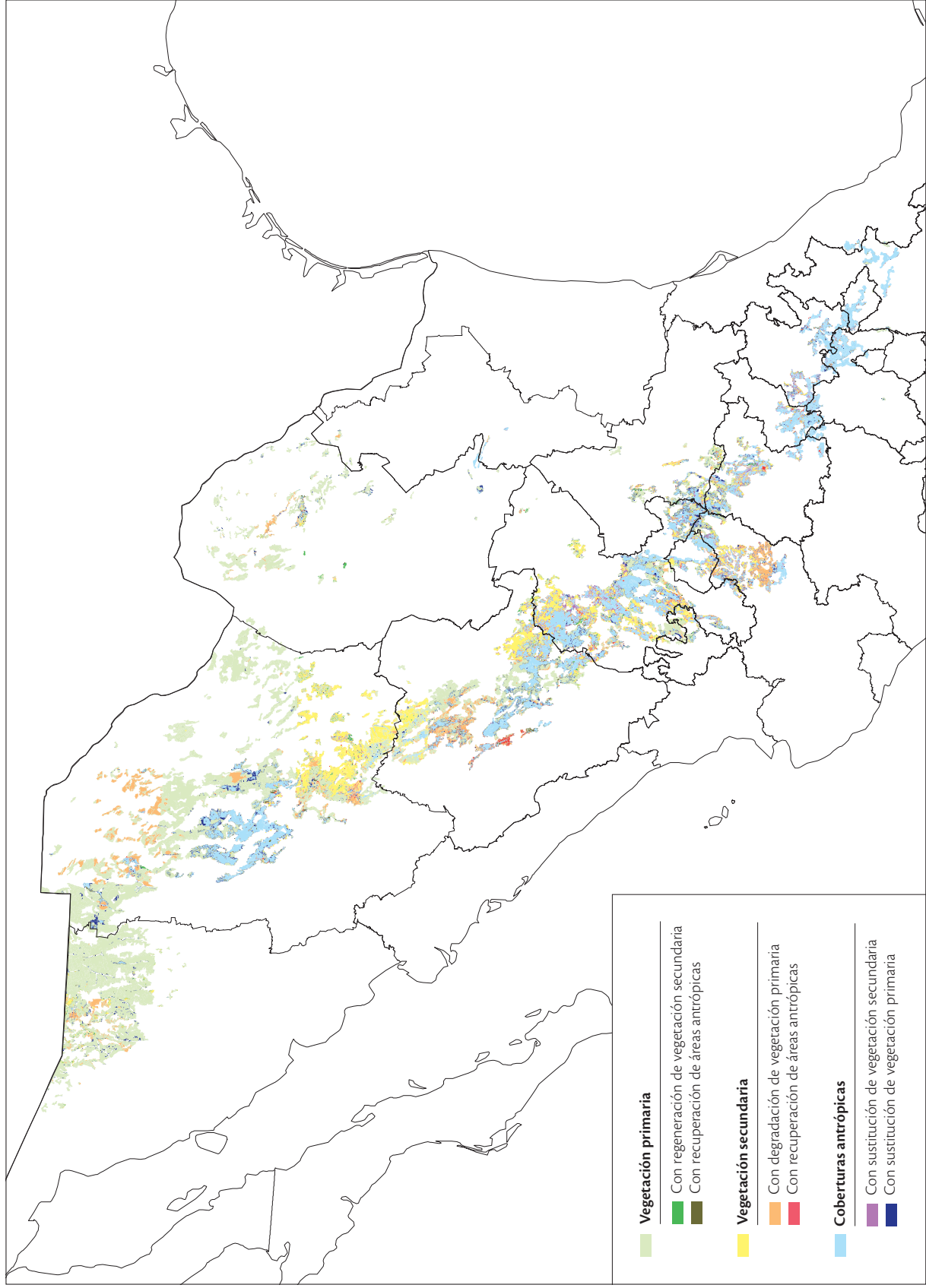


Figura 2.27 Cambios en el uso del suelo ocurridos entre la década de 1970 y 1993 en la zona de distribución potencial de los pastizales.

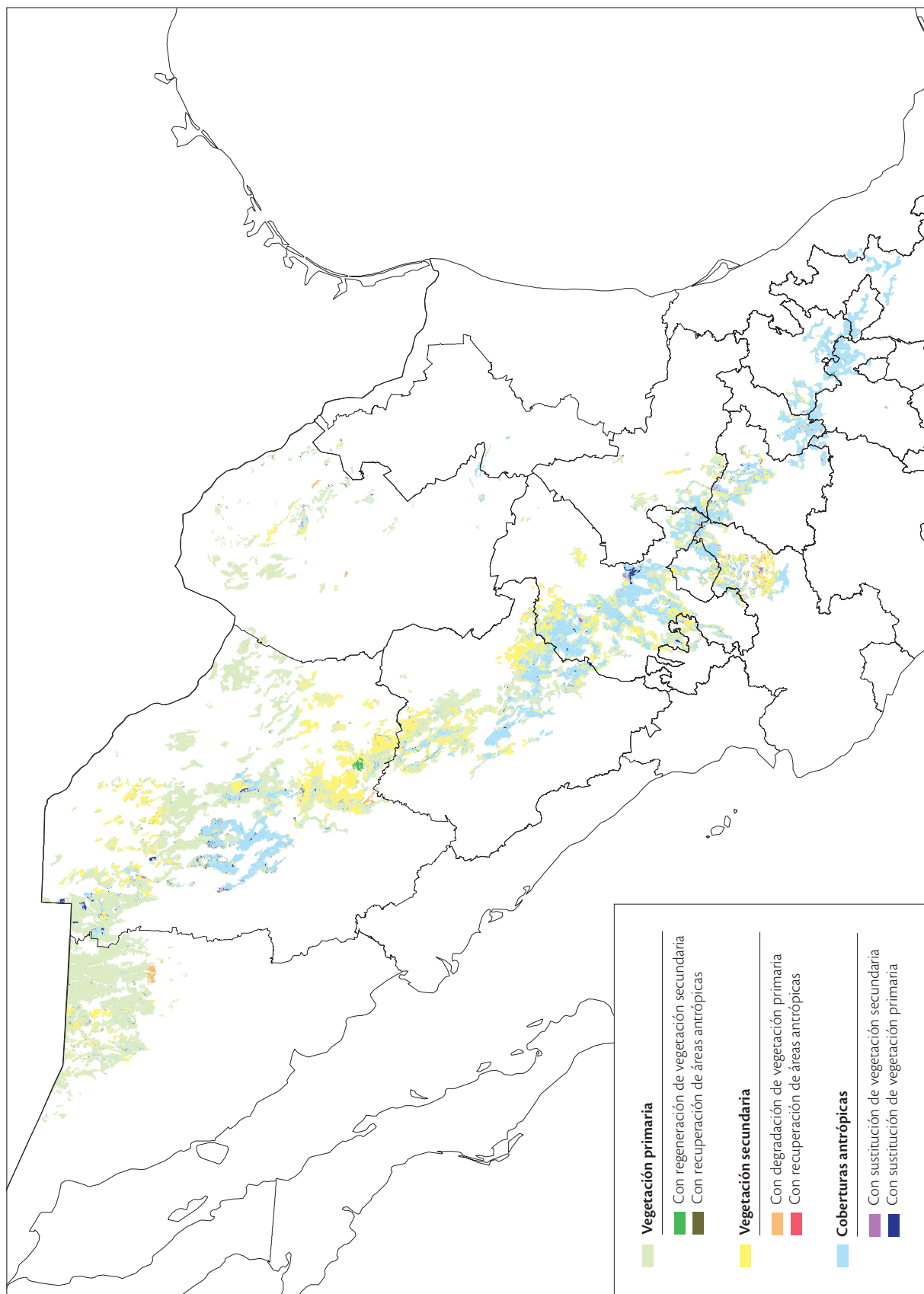


Figura 2.28 Cambios en el uso del suelo ocurridos entre 1993 y 2002 en la zona de distribución potencial de los pastizales.

ahora estaban ocupadas por terrenos agrícolas —sobre todo en las sierras de Zacatecas (Fig. 2.28)— y por la degradación de unas 94 000 hectáreas transformadas en pastizales secundarios. Al mismo tiempo, casi 86 000 hectáreas de pastizales secundarios también fueron sustituidos por terrenos agrícolas o pecuarios (Fig. 2.12). Por lo que la extensión cubierta por pastizales secundarios se mantenía en los mismos 3.3 millones de hectáreas, pero los terrenos agrícolas y pecuarios en la zona de pastizales habían aumentado a 4.9 millones de hectáreas.

Estos análisis por zona bioclimática evidencian que, como ha sucedido en la mayor parte del mundo, la expansión de las fronteras agrícola y pecuaria es, por mucho, el proceso más importante de transformación de los ecosistemas y paisajes terrestres del país a lo largo de la historia. Estos procesos, sin embargo, han afectado de manera diferente a cada uno de los ecosistemas. La sustitución de la vegetación natural por pastizales cultivados o inducidos para la actividad ganadera ha sido predominante en la zona de selvas húmedas, en tanto que la conversión a terrenos agrícolas es más importante en el área de selvas subhúmedas, la de matorrales xerófilos y la de bosques templados.

En contraste, la creación y expansión de asentamientos humanos y zonas urbanas ha tenido, históricamente, un impacto cuantitativamente mucho menor. Para 2002 solo se registraba un poco más de un millón de hectáreas ocupadas por pueblos y ciudades, principalmente en las zonas de matorral xerófilo (397 454 hectáreas), de selvas subhúmedas (244 865 hectáreas), de bosques templados (164 013 hectáreas), pastizales (122 803 hectáreas) y selvas húmedas (115 743 hectáreas). Mientras que la expansión de la frontera agrícola y pecuaria ocurrió mayormente antes de la década de 1970 (para entonces ya se registraban más de 40 millones de hectáreas), el proceso de urbanización y expansión de ciudades ocurrió, aparentemente, sobre todo en el periodo comprendido entre la década de 1970 (cuando se registraba un total de casi 200 000 hectáreas ocupadas por asentamientos humanos y zonas urbanas) y 1993 (cuando estas alcanzaron 1.1 millones de hectáreas; véase cuadro 2.1). En la última década (*i.e.*, 1993 a 2002), la superficie del país ocupada por pueblos y ciudades solo aumentó de 1.11 a 1.27 millones de hectáreas, pero esto ocurrió de manera muy intensa y concentrada en ciertas partes del país, en especial en las llamadas ciudades intermedias (*e.g.*, Querétaro, León, San Luis Potosí, etc.), en aquellas donde ha habido un desarrollo turístico importante (como Playa del Carmen y Cancún, en Quintana Roo; San José del Cabo y Cabo

San Lucas, en Baja California Sur, etc.) y en zonas fronterizas importantes por el movimiento migratorio hacia Estados Unidos y por la industria (por ejemplo, Tijuana y Ciudad Juárez). De hecho, durante ese periodo la creación y expansión de asentamientos humanos fue el proceso de conversión que registró la mayor tasa de crecimiento en casi todas las zonas bioclimáticas del país (excepto en los bosques templados), alcanzando niveles de entre 1 y 2.1 por ciento anual, muy superiores al aumento de la frontera agrícola y pecuaria. Este patrón de cambios es resultado no solo del crecimiento de la población del país (que pasó de casi 84 millones de habitantes en 1990 a unos 103 millones en 2002), sino también, y muy importante, del muy dinámico y complejo proceso de urbanización y migración interna que la población ha venido experimentando desde la década de 1950 y que, a partir de 1980, cambió de tendencia para centrarse en el crecimiento de ciudades de tamaño medio y una más diversificada distribución territorial de la población urbana (Conapo 2003).

Otros procesos que, indudablemente, han producido alteraciones y transformaciones en los ecosistemas y paisajes terrestres del país en las últimas décadas son los desastres naturales, como incendios forestales y huracanes. En México, la gran mayoría (99%) de los incendios forestales son provocados por actividades humanas, particularmente prácticas agropecuarias como la roza, tumba y quema o la renovación de pastizales por fuego. Aunque los incendios más comunes (90%) son de tipo superficial y, por tanto, solo producirían un impacto menor o transitorio sobre la vegetación, a menudo los sitios incendiados se ocupan inmediatamente para otros usos como el agropecuario o el urbano. El número de incendios y la superficie que se estima ha sido afectada varían notablemente año con año (véase Fig. 2.29); parte de esa variabilidad se relaciona con el fenómeno de El Niño (Semarnat 2005). Desafortunadamente, los datos disponibles son demasiado generales como para poder evaluar de manera adecuada el impacto que en efecto han ejercido los incendios forestales sobre las comunidades vegetales. Falta, sobre todo, estudios longitudinales *a posteriori* de las áreas afectadas por incendios.

El daño que los huracanes han ocasionado a los ecosistemas terrestres de México tampoco se ha estudiado bien. En principio, su impacto también debe ser esencialmente transitorio y, en ausencia de efectos posteriores, la vegetación debería recuperarse por sí misma. Sin embargo, los estudios sobre este tema son prácticamente inexistentes, a pesar de que hay zonas del país (como la Penín-

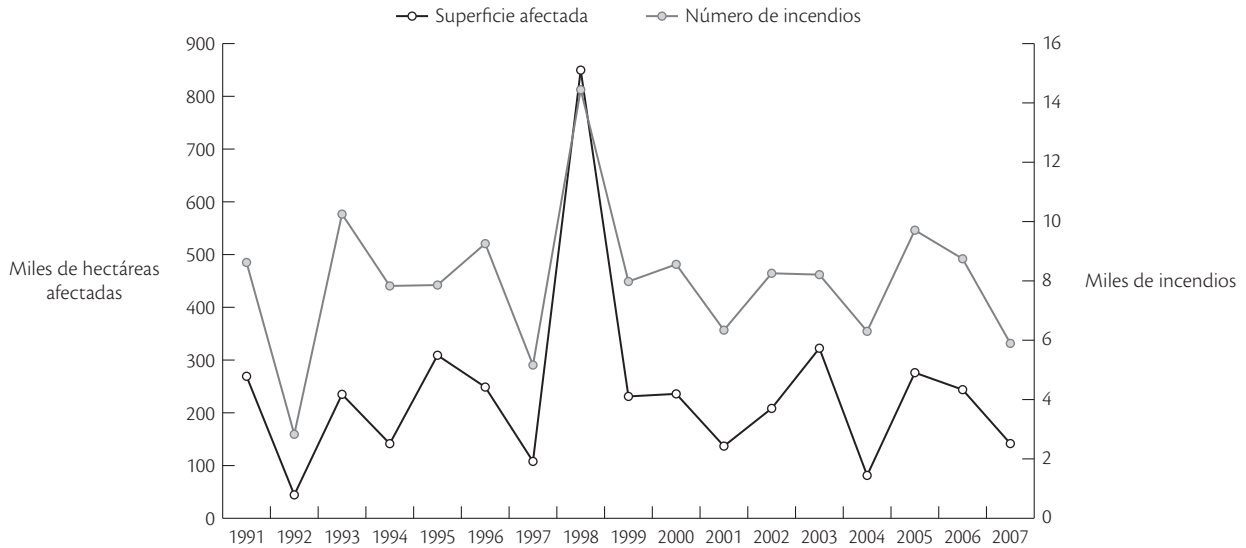


Figura 2.29 Incendios forestales en México 1991-2007.

Fuente: Semarnat (2008).

sula de Yucatán, Chiapas, etc.) que con frecuencia están expuestas a estos meteoros. Algunos cambios que se han observado a lo largo del tiempo en la cobertura vegetal de algunas partes del país pueden, de hecho, obedecer más a este tipo de fenómenos que a daños causados por las actividades humanas. Por ejemplo, en la Isla de Cozumel, para 1993 (poco tiempo después del paso del huracán Gilberto a fines de 1988), la *Carta de uso actual del suelo y vegetación*, Serie II, reconoce una amplia área de selva mediana secundaria. Para 2002, en la Serie III de esta carta se identifica esa misma zona como selva primaria y, de hecho, para 2005 es evidente el buen estado de conservación de la zona, probablemente debido a la regeneración natural de la vegetación.

2.4.6 Prospectiva

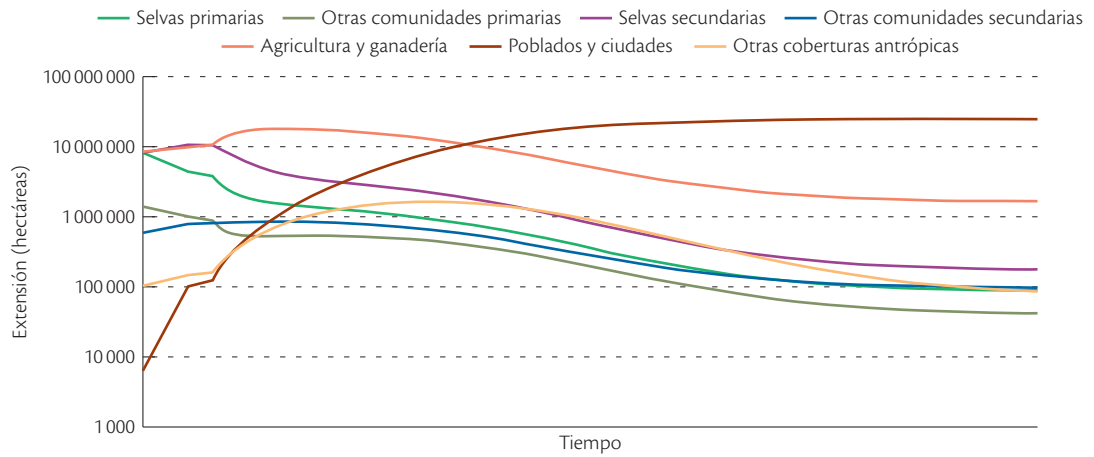
La dinámica que se produce en el paisaje al cambiar el uso que se da al suelo a lo largo del tiempo, en términos conceptuales se puede ver como un flujo de terrenos que pasan de una cierta cobertura vegetal o forma de uso a otra. Este concepto se ilustra esquemáticamente para los cinco tipos de ecosistemas principales del país (selvas húmedas, selvas subhúmedas, bosques templados, matorrales xerófilos y pastizales), en las figuras 2.8 a 2.12, en las que en cada columna se da una idea del estado del paisaje por periodos (en términos de la extensión que, en ese momento, ocupaba cada tipo de cobertura vegetal o forma de uso del suelo); las flechas indican los procesos

de cambio que ocurren de un lapso al siguiente (de acuerdo con el tipo de cambios observados en el uso del suelo entre dos periodos) y las cifras sobre las flechas muestran el ritmo en el que ocurre cada uno de esos cambios (en términos de la extensión del terreno transformado de un periodo a otro). Con base en este marco conceptual, es posible explorar cómo evolucionaría y cuál sería el estado futuro del paisaje mexicano, en caso de que se mantuvieran los mismos procesos y ritmos de transformación que se observan hoy. Los resultados de este ejercicio conceptual se muestran en la figura 2.30a-e.

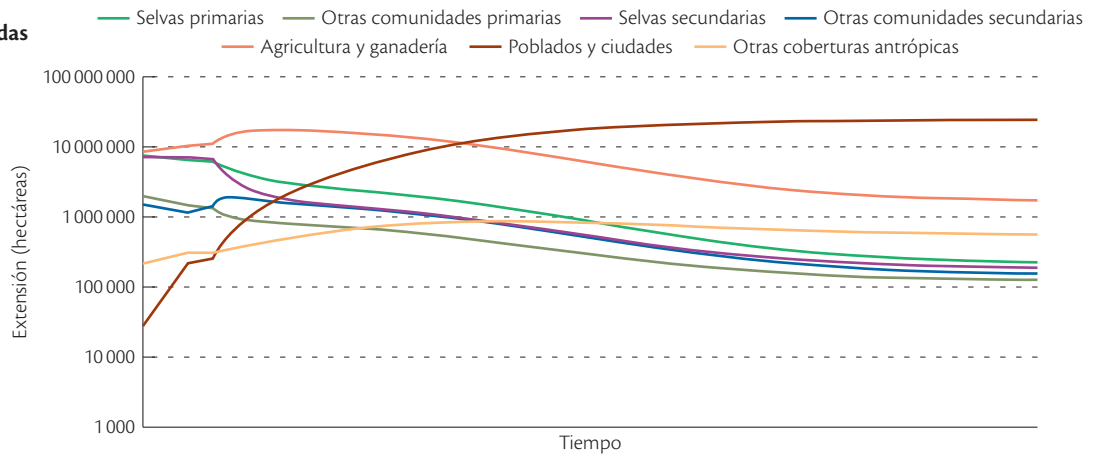
Como puede verse, si se mantuviesen constantes los procesos y ritmos de transformación observados durante el periodo de 1993 a 2002, las superficies ocupadas por los principales ecosistemas terrestres del país continuarían disminuyendo hasta llegar a ocupar solo 10% de la extensión que tenían en 2002. Esa reducción sería particularmente severa en la zona de selvas (húmedas y subhúmedas) y de bosques templados, donde la vegetación natural se reduciría a 2, 4 y 9 por ciento, respectivamente, de la existente en 2002; los matorrales xerófilos se reducirían a 12%, y los pastizales a 27%. En contraste, la superficie total ocupada por coberturas antrópicas aumentaría a más del triple, debido sobre todo a la creación y expansión de asentamientos humanos y zonas urbanas en las zonas de selvas húmedas y subhúmedas, de bosques templados y de matorrales, y a la expansión de la frontera agropecuaria en las zonas de pastizales.

Este análisis también revela las distintas formas en que

a Selvas húmedas



b Selvas subhúmedas



c Bosques templados

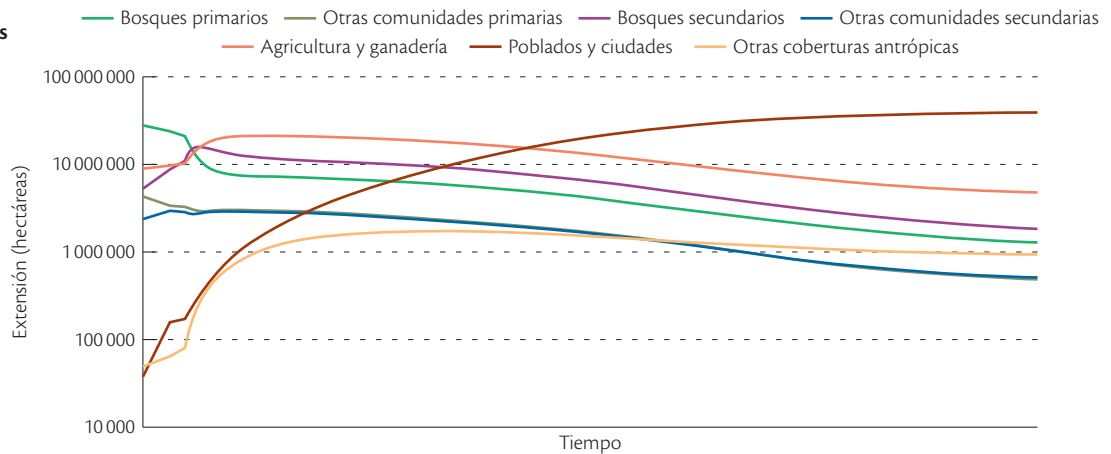
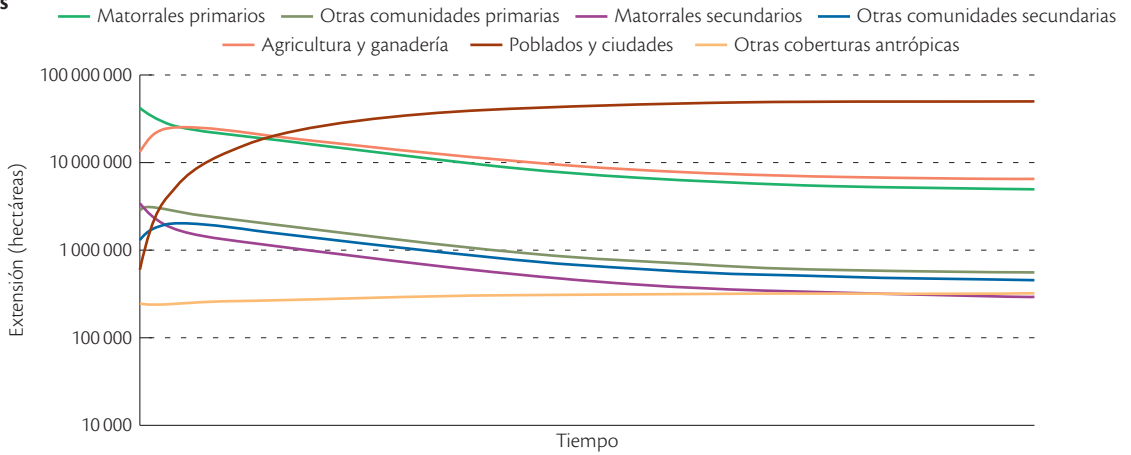


Figura 2.30 [Esta página y la siguiente] Proyección de los procesos de cambio en el uso del suelo en las cinco principales zonas bioclimáticas del país. Estas proyecciones parten de la extensión que cada tipo de cobertura o uso del suelo ocupaba en 2002, y se basan en los procesos y tasas observadas durante el periodo de 1993 a 2002 (resumidos en las figuras 2.8 a 2.12), suponiendo que estos se mantienen constantes hasta alcanzar una estructura estable.

d) Matorrales xerófilos



e) Pastizales

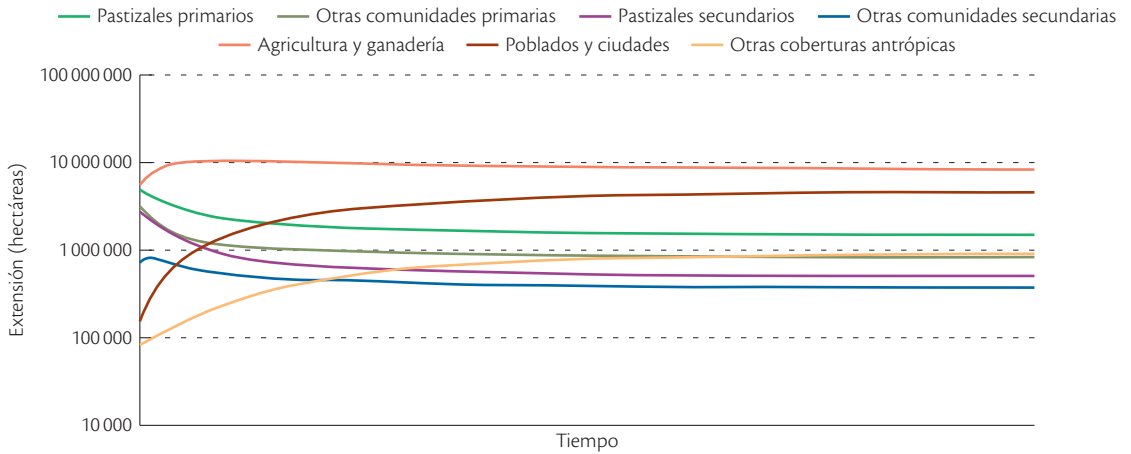


Figura 2.30 [concluye].

se darían —siguiendo el patrón observado en el periodo 1993-2002— los procesos de transformación en las diferentes zonas bioclimáticas del país. En las áreas de selvas (húmedas y subhúmedas) y matorrales (véase Fig. 2.30a, b, d) el proceso involucraría la perturbación de las comunidades primarias pero, al mismo tiempo, serían sobre todo las comunidades secundarias las que serían eliminadas para dedicar el terreno a la agricultura o la ganadería. Esto produciría, en primer término, una expansión sustancial de la frontera agropecuaria junto con una drástica reducción de la superficie ocupada por comunidades naturales (primarias y secundarias). Sin embargo, como se observa durante este periodo, terrenos que habían sido convertidos para uso agrícola o pecuario, eventualmente se ocuparían para crear o expandir pueblos y ciudades, lo que conduciría a un muy rápido (debido a las altas tasas de crecimiento de poblados y ciudades obser-

vadas durante el periodo 1993-2002 en las zonas de selvas húmedas, subhúmedas y matorrales: 2.1, 1.9 y 1.4 por ciento anual, respectivamente) incremento en la superficie ocupada para tales usos, en paralelo con una sustancial disminución de los terrenos agrícolas y pecuarios. Además, a diferencia de lo que sucede con campos de cultivo y potreros —en una fracción de los cuales puede ocurrir regeneración de vegetación natural—, en los terrenos utilizados para pueblos y ciudades, muy rara vez ocurre reconversión a otros usos del suelo y, menos aún, regeneración de vegetación natural. Ello convierte a este tipo de uso del suelo en un estado “casi absorbente” que constituiría, en el largo plazo, el uso del suelo predominante en estas zonas del país, incluso por encima del agrícola o pecuario.

En la zona de bosques templados (Fig. 2.30c) el proceso involucraría primero la perturbación de los bosques

primarios, lo que produciría un incremento inicial (y relativamente muy breve) en la extensión de los bosques secundarios. Al igual que en las selvas, las comunidades secundarias serían sustituidas por terrenos agrícolas o pecuarios, lo que después produciría un aumento sustancial en la superficie ocupada por este tipo de uso del suelo, junto con una disminución en la extensión de los bosques naturales (primarios y secundarios). También en este caso, terrenos que antes habían sido convertidos a uso agrícola o pecuario, eventualmente serían reemplazados por la creación o expansión de pueblos y ciudades lo que conduciría, por último, a una importante disminución de los terrenos agrícolas y pecuarios, junto con un rápido incremento en la superficie ocupada por poblados y ciudades, que se convertiría en el uso del suelo predominante.

En la zona de pastizales (Fig. 2.30e) el proceso difiere de manera notable de los casos anteriores. Aunque la creación o expansión de pueblos y ciudades también es el proceso de conversión cuantitativamente más importante, este no ocurre a expensas sobre todo de terrenos previamente convertidos a uso agrícola o pecuario, sino por otro tipo de coberturas antrópicas o directamente por la sustitución de pastizales primarios o secundarios. Por esa razón, en la zona de pastizales sucede un proceso relativamente simple de sustitución de la vegetación natural (pastizales primarios y secundarios), ya sea a terrenos agrícolas o pecuarios o a zonas urbanas y poblados, pero el uso agropecuario se mantiene como el uso predominante.

Las cifras y patrones de evolución descritos en los párrafos anteriores no deben interpretarse como un pronóstico de lo que sucederá en el país en el largo plazo sino, más bien, como un ejercicio que busca ilustrar las posibles consecuencias —y la magnitud de estas— que podrían tener las actuales tendencias de uso y transformación de los ecosistemas terrestres del país de mantenerse indefinidamente. De hecho, el resultado más conspicuo y frecuente de estas proyecciones —el crecimiento explosivo de la superficie dedicada a poblados y zonas urbanas hasta llegar a ocupar más de la mitad del territorio nacional— pone de manifiesto el carácter hipotético y exploratorio de este ejercicio. Ese resultado, un tanto inesperado, se da por la combinación de dos factores: el carácter esencial e inherentemente irreversible de este tipo de transformación del terreno y las altas tasas de crecimiento neto observadas de 1993 a 2002 en la superficie ocupada por asentamientos humanos. Durante ese periodo, la superficie ocupada por poblados y ciudades

aumentó a una tasa de 2.1, 1.9, 0.9, 1.4 y 1.0 por ciento anual en las zonas de selvas húmedas, subhúmedas, bosques templados, matorrales xerófilos y pastizales, respectivamente, y excepto en el caso de bosques templados, esas tasas de crecimiento sobrepasaron, por el doble o más, a las de los otros usos del suelo. Si bien se prevé que tanto la población como la urbanización del país seguirán aumentando en las próximas décadas (de acuerdo con Conapo, 2003, en el año 2030 la población del país ascenderá a 127.2 millones de habitantes, de los cuales 90.2 millones residirán en alguna ciudad), también es cierto que la tasa de crecimiento de la población ha venido disminuyendo gradualmente desde la década de 1970 y se espera (Conapo 2003) que para 2040 llegue a cero y sea negativa a partir de entonces. Es decir, otro tipo de proyecciones indica que, en la realidad, es improbable que el factor que influye de manera determinante en nuestras proyecciones mantenga en el futuro los mismos niveles observados en el periodo de 1993 a 2002.

2.5 CONCLUSIONES

En este capítulo hemos tratado de examinar el estado actual y las principales alteraciones y transformaciones que los ecosistemas terrestres del país han experimentado a lo largo de las últimas décadas, y hemos intentado inferir —en forma que reconocemos parcial— los posibles factores causales de esas alteraciones y transformaciones, con base en la información actual disponible en todo el país. Como se menciona reiteradamente a lo largo del texto, estos análisis se han visto limitados tanto por la escasez como por algunas deficiencias de la información, que es susceptible de contener errores. Las fuentes comunes de error son de tres tipos: los relacionados con la calidad de los insumos de donde se deriva la información (resoluciones espacial, temporal y espectral), los que conciernen al sistema de clasificación y nomenclatura de los objetos y los que resultan del procesamiento o interpretación. Un revisión detallada de las fuentes de error y sus posibles implicaciones en este tipo de estudios se presenta en Mas y Fernández (2003).

El análisis de la calidad y, por ende, de la confiabilidad de las bases de datos aquí utilizadas rebasa los objetivos del presente estudio. Sin embargo, pueden señalarse algunos puntos importantes a tener en mente. Una primera fuente de error viene de la comparación de bases de datos de escalas diferentes. Para corregir este tipo de error se generalizaron las estadísticas a la escala menor

(*Carta de vegetación primaria potencial*, 1 : 1 000 000) en todos los casos que involucran comparaciones con respecto a esta. Con base en la unidad mínima cartografiable,³ los errores en los datos estadísticos derivados de la *Carta de vegetación primaria potencial* son del orden de miles de hectáreas, mientras que los errores de las cartas a escala 1 : 250 000 son del orden de cientos de hectáreas. Un ejemplo de esto se observa para la vegetación halófila, ya que la diferencia entre lo que reportan la *Carta de vegetación potencial* y la Serie III (2002) solo alcanza una superficie de 308 847 hectáreas (Fig. 2.8). Esta diferencia está dentro del margen del error inherente a la escala 1 : 1 000 000 (Mas y Fernández 2003) y por ende el cambio reportado puede reflejar más bien un artificio resultante de la diferencia en escalas que un cambio real.

Otro tipo de error es el que concierne a la comparación de sistemas clasificatorios diferentes. El término pastizales, por ejemplo, tiene diferentes connotaciones en las diversas bases de datos utilizadas. Un tercer problema se presenta con tipos de vegetación que son de difícil filiación y, en consecuencia, difíciles de precisar de manera consistente en el mapa. Por ejemplo, el bosque mesófilo de montaña es de filiación templada en el centro y norte del país, pero de filiación tropical en el sur; y en todo el territorio sus patrones de distribución son muy complejos para ser detectados mediante imágenes de mediana resolución. La tendencia a su reducción, no obstante, es incuestionable y está documentada en diversos casos de estudio (Challenger 1998).

Por estas razones, varios de nuestros resultados y conclusiones, sobre todo en lo que a cifras se refiere, deben tomarse con cierta cautela y considerarse más bien como indicadores de tendencias generales. No obstante, confiamos en haber sido capaces de rescatar al menos los rasgos y tendencias principales.

Los análisis muestran que, a lo largo de la historia, el paisaje mexicano se ha transformado de manera extensiva como resultado de la remoción de los ecosistemas naturales que originalmente cubrían 27.5% del territorio, para dedicar el suelo a la agricultura, la ganadería y la creación y expansión de pueblos y ciudades. La mayor parte de esas transformaciones ocurrió en las décadas previas a 1970 y se debió sobre todo a la expansión de la frontera agropecuaria; desafortunadamente, no se cuenta con información detallada acerca de la secuencia de procesos y de los ecosistemas que estuvieron involucrados (véase el capítulo 1 de este volumen). El análisis sugiere que en las últimas décadas se ha mantenido y en algunos casos disminuido el ritmo de transformación del

paisaje, ha cambiado su ubicación geográfica y han variado sus factores causales.

Si bien en términos absolutos el impacto (1.27 millones de hectáreas en 2002) de la creación y expansión de pueblos y ciudades como factor de transformación del paisaje ha sido, históricamente, mucho menor que el de la agricultura y la ganadería (49.7 millones), en las últimas décadas ha sido el factor de transformación más dinámico en términos proporcionales. Las casi 200 000 hectáreas que en la *Carta de uso actual del suelo y vegetación*, Serie I, aparecen como ocupadas por poblados y ciudades hacia la década de 1970, aumentaron hasta alcanzar 1.27 millones de hectáreas en 2002, a una tasa de 7.4% por año, muy superior a la tasa de expansión de la frontera agropecuaria (0.8% anual) durante el mismo periodo. Más importante aún es considerar que los poblados y ciudades funcionan como focos de concentración de la producción, el consumo y la generación de desechos, lo que provoca impactos en sus alrededores como deforestación, degradación del suelo, pérdida de biodiversidad, contaminación del suelo, agua y aire y la extracción de materiales de construcción. La “huella ecológica” (*i.e.*, la superficie de terreno necesaria para proveer los recursos necesarios y absorber los residuos de una comunidad) de las ciudades siempre es sustancialmente mayor que el área ocupada por ellas (Wackernagel y Rees. 1996; Wackernagel *et al.* 2006). Además, el proceso mismo de urbanización lleva consigo una desarticulación de las estructuras de funcionamiento y gobierno del sector rural. Esto daña de manera significativa a los ecosistemas naturales porque reduce el nivel de umbral de resiliencia social, que en algunos casos se ha identificado como el agente desencadenador de la disminución de los procesos de degradación (Conapo 2003; Bray *et al.* 2007). Igualmente importante es considerar las evidencias que indican que esta tendencia de creciente urbanización continuará en el futuro inmediato, en particular en las ciudades medias y pequeñas (Conapo 2003) y en las zonas con potencial turístico [como Baja California Sur, Nayarit, Quintana Roo (Fonatur 2008), entre otras].

Los ecosistemas terrestres que no han sido transformados para dedicar el terreno a usos antrópicos del suelo tampoco han permanecido inalterados. El 30% (en superficie) de ellos en realidad son comunidades secundarias que habrían experimentado algún tipo de perturbación de origen antrópico o natural (por ejemplo, incendios forestales o fenómenos hidrometeorológicos como huracanes, inundaciones, etc.). Desafortunadamente los datos disponibles no permiten distinguir entre las pertur-

baciones naturales —que en muchos casos tienen solo un impacto transitorio sobre los ecosistemas, seguido por la regeneración de la vegetación natural y la recolonización de la fauna— y las de origen antrópico, que con frecuencia constituyen la fase previa a la sustitución de los ecosistemas naturales para dedicar el suelo a otros usos (véanse figuras 2.8 a 2.12). La alteración de los ecosistemas terrestres del país también se refleja en el grado de fragmentación de estos, pero la información disponible al respecto es insuficiente para hacer un análisis adecuado de sus causas y consecuencias. Alteraciones como las que con seguridad se derivan de la ganadería extensiva que se desarrolla en prácticamente todos los estados del país, con frecuencia en comunidades naturales, simplemente está sin evaluar.

Quizá como consecuencia de la falta de información sobre estos temas, a la fecha todavía son muy escasos (*e.g.*, Toledo y Ordóñez 1993; CONABIO 1998; Challenger 1998; Semarnat-Colpos 2003) los estudios dirigidos a examinar —y menos aún a evaluar— las consecuencias que los procesos de transformación y alteración experimentados por los ecosistemas terrestres del país a lo largo de la historia (y, sobre todo en los últimos años) han tenido sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, así como sus posibles implicaciones futuras. La mayoría de los trabajos que tratan este tema distan mucho de ser contundentes, ya que se basan en recopilaciones extensas a partir de las cuales se deducen o infieren posibles tendencias. Sin duda este asunto aún queda pendiente por documentar.

La falta de este tipo de información no es un tema menor, ni de interés meramente académico. Basta mencionar, como ejemplo, la controversia que repetidas veces se ha generado en los últimos años acerca de las muy diversas y divergentes estimaciones que, sobre la tasa de deforestación en México, han obtenido diversos autores con base en información de distintas fuentes y utilizando métodos de cálculo diferentes, como lo hemos analizado en otra parte (Semarnat 2005). Más importante que las cifras es que los procesos de transformación y alteración de los ecosistemas y de cambio de uso del suelo constituyen una de las principales amenazas para la biodiversidad, conllevan la pérdida de numerosos servicios ambientales fundamentales y contribuyen de manera importante a las emisiones de gases de efecto de invernadero. Es fundamental contar con información suficiente, adecuada y oportuna acerca de esos procesos y sus efectos, para tomar decisiones no solo en materia ambiental, sino también en los aspectos económico y social.

Estas deficiencias de información obedecen a diversas causas. Parte de las dificultades proviene de las características físicas del país (como su gran extensión y lo inaccesible de algunos sitios, la alta diversidad y heterogeneidad de ecosistemas presentes, la frecuente presencia de una alta cobertura de nubes en algunas partes, entre otras) que imponen serias limitantes técnicas y metodológicas. Otros inconvenientes provienen de la compleja y rápida dinámica de los ecosistemas donde en algunas áreas se destruye o altera la cubierta vegetal, al mismo tiempo que en otras se regeneran comunidades secundarias, a la vez que se hacen campañas de reforestación y se establecen plantaciones forestales, lo que hace difícil incluso identificar y delimitar las áreas deforestadas. Finalmente, están los diferentes y divergentes esquemas de clasificación utilizados por distintos autores u organismos para describir la vegetación, los ecosistemas terrestres, el uso del suelo, etc., dependiendo de sus propósitos específicos.

Sin embargo, actualmente existen en el país las condiciones para superar al menos las mayores de esas limitaciones. Hoy por hoy, la información básica para este tipo de estudios y evaluaciones se obtiene, sobre todo, de varios tipos de imágenes de satélite que están fácil y ampliamente disponibles (en forma gratuita en algunos casos), con frecuencias de actualización, escalas y nivel de resolución (espacial y temporal) adecuados para diferentes casos. Igualmente importante es el acervo de datos de campo y de información fundamental que organismos como el INEGI, la CONABIO, el INE, la UNAM, etc., han generado o compilado durante décadas de trabajo y que constituyen valiosa información auxiliar. Asimismo, como se menciona en la introducción de este capítulo, los estudios sobre la flora y vegetación del país a lo largo de los últimos 50 años permiten contar con un marco conceptual de referencia adecuado para describir de manera consistente los ecosistemas terrestres y examinar los cambios y alteraciones que estos experimentan. Es evidente la necesidad de un mayor esfuerzo para integrar, analizar e interpretar los datos disponibles, de forma integral y sistemática, que los convierta en información consistente, confiable, oportuna y relevante para diferentes tipos de usuarios.

Sería deseable que las instituciones (tanto gubernamentales como académicas) del país conjuntaran esfuerzos para corregir, en el corto plazo, estas deficiencias. Un esfuerzo de este tipo demandaría una estrecha colaboración entre los organismos gubernamentales a cargo de estos temas (Conafor, Semarnat e INEGI, principalmen-

te) y las instituciones académicas que cuentan con información directa (y más especializada) de estudios de campo en diversas zonas del país. Asimismo, requeriría un trabajo de coordinación a fin de formular y adoptar (con carácter oficial y de aplicación general) un esquema metodológico unificado para estudiar los ecosistemas terrestres y el cambio de uso del suelo. Dicho esquema incluiría, entre sus componentes más importantes:

- Un esquema de clasificación, con las especificaciones semánticas (diccionarios de datos) pertinentes y basado, por supuesto, en las clasificaciones que ya existen de la vegetación de México. A diferencia de hace 30 años (Rzedowski 1978), actualmente existe una enorme cantidad de información acumulada que, si se somete a un análisis riguroso, puede ayudar a derivar un sistema que conjunte la mayoría de las bondades de todos los anteriores pero sin las limitaciones fundamentales de los mismos. Este sin duda debe incluir niveles de organización jerárquicos, criterios que los definen y bases nomenclaturales para la denominación de cada tipo de vegetación. Dicho esquema serviría como referencia oficial para la descripción de la vegetación, en forma similar a las clasificaciones nacionales que se han adoptado en países como Gran Bretaña, Estados Unidos y Canadá. En Europa, por ejemplo, gracias a que hace más de un siglo se desarrolló un esquema único como base para el estudio de la vegetación, hoy día se cuenta con una estrategia congruente para priorizar sus políticas sobre manejo y conservación de sus recursos naturales en general (<http://europa.eu/scadplus/leg/nl/lvb/l28076.htm>).
- Especificaciones metodológicas relativas a, por ejemplo, los datos fundamentales oficiales, parámetros cartográficos, escalas, etcétera.
- Mecanismos de evaluación de la confiabilidad de las bases de datos para ayudar a detectar los errores de sus fuentes y de aquí su posible manejo.

La adopción de un esquema unificado como el que aquí se plantea, aseguraría la coherencia de la información que se genere respecto a los ecosistemas terrestres del país, independientemente de la agencia o investigador que la realice, del objetivo específico que se persiga y de los métodos que se empleen en diferentes estudios. Esa característica permitiría hacer, por separado, estudios específicos para atender diferentes cuestiones, a las escalas y niveles de resolución (espacial y temporal) que sean más adecuadas para cada caso. Como se menciona

en la parte introductoria de este capítulo, los únicos esfuerzos que actualmente se realizan, en todo el país, para evaluar este tipo de temas son la *Carta de uso actual del suelo y vegetación* del INEGI y el Inventario Nacional Forestal y de Suelos de la Conafor. Por su grado de detalle y escala, inventarios como estos son inherentemente laboriosos, demandan gran cantidad de recursos, trabajo de campo y de gabinete y, en consecuencia, solo se pueden actualizar cada cinco años. Esa frecuencia de actualización es insuficiente para resolver cuestiones importantes y tomar decisiones al respecto (como identificar las zonas del país que deben ser atendidas cada año en los programas de reforestación; monitorear la pérdida de cobertura forestal, el incremento de la frontera agropecuaria, el impacto de incendios forestales, entre otros). Este tipo de problemas podrán atenderse por separado utilizando métodos que, siguiendo el enfoque unificado, produzcan resultados a menor escala y detalle pero de manera más expedita. Este enfoque ha sido desarrollado e implementado exitosamente (Kintisch 2007) para evaluar, cada año y en forma confiable, la tasa de deforestación y proveer alertas semanales (usando datos del satélite estadounidense Terra, los cuales se distribuyen a diario de manera gratuita) sobre aclareos en la Amazonia brasileña, un área más de dos veces la superficie total de México y casi continuamente cubierta por nubes (Soares-Filho *et al.* 2006).

NOTAS

- 1 El tamaño de fragmento de 80 km² representa un conjunto de 80 unidades mínimas cartografiadas a la escala de trabajo (1:250 000).
- 2 Esta cifra, así como las otras que se dan en este apartado, se refiere a la extensión de cada tipo de vegetación según las cartas a escala 1:250 000 (*i.e.*, series I, II y III) comprendida dentro de una región bioclimática particular (definida por la *Carta de vegetación primaria potencial*, escala 1:1 000 000). Por la diferencia en escalas, una parte de las selvas húmedas registradas en las cartas a escala 1:250 000 pueden “caer” dentro de otras regiones bioclimáticas. Esto explica las diferencias entre las cifras del cuadro 2.1 y las figuras 2.8 a 2.12.
- 3 Para la *Carta de vegetación primaria potencial* (escala 1:1 000 000) se consideró como la unidad mínima cartografiable una superficie de 1 600 hectáreas (4 × 4 milímetros en el mapa). Polígonos inferiores a esta superficie se incluyeron por generalización cartográfica. Para las *Cartas de uso actual del suelo y vegetación* (1:250 000), la unidad mínima cartografiable es 100 hectáreas (4 × 4 milímetros en el mapa).

REFERENCIAS

- Aguilar, A.G. 2008. Peri-urbanization, illegal settlements and environmental impact in Mexico City. *Cities* **25**: 133-145.
- Benedick, S., K. Hill, N. Mustafa, V.K. Chey, M. Maryati *et al.* 2006. Impacts of rain forest fragmentation on butterflies in northern Borneo: Species richness, turnover and the value of small fragments. *Journal of Applied Ecology* **43**: 967-977.
- Bray, D.B., L. Merino y D. Barry (eds.). 2007. *Los bosques comunitarios de México: manejo sustentable de paisajes sustentable*. INE, Semarnat-Instituto de Geografía, UNAM-Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible-Florida International University, México.
- Challenger, A. 1998. *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro*. CONABIO-Instituto de Biología, UNAM-Agrupación Sierra Madre, México.
- CONABIO. 1998. *La diversidad biológica de México: Estudio de país*. CONABIO, México.
- Conapo. 2003. *La situación demográfica de México 2003*. Consejo Nacional de Población, México.
- Couturier, S. 2007. *Evaluación de errores de cartas de cobertura vegetal y uso del suelo con enfoques difuso y con simulación de imágenes de satélite*. Tesis de doctorado, Programa de Posgrado en Geografía, UNAM, México.
- Flores Mata, J., L. Jiménez López, X. Madrigal Sánchez, F. Moncayo Ruiz y T.F. Takaki. 1971. *Mapa y descripción de los tipos de vegetación de la República mexicana*. Dirección de Agrología, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México.
- Fonatur. 2008. *Estadísticas sobre turismo*, en <http://www.fonatur.gob.mx/es/estadisticas/dir-estad.asp> (consultado en abril de 2008).
- González Medrano, F. 2003. *Las comunidades vegetales de México. Propuesta para la unificación de la clasificación y nomenclatura de la vegetación de México*. INE, Semarnat, México.
- González-Quintero, L. 1974. Los tipos de vegetación de México, en *El escenario geográfico*. INAH, México, pp. 109-218.
- INEGI. 1980. *Carta de uso del suelo y vegetación*, Serie I, escala 1:1 000 000. INEGI, México.
- INEGI. 2001. *Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso de suelo y vegetación*, Serie II (continuo nacional), escala 1:250 000. INEGI, Aguascalientes.
- INEGI. 2003. *Conjunto de datos vectoriales de la carta de vegetación primaria*, escala 1:1 000 000. INEGI, Aguascalientes.
- INEGI. 2005. *Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación*, Serie III (continuo nacional), escala 1:250 000. INEGI, Aguascalientes.
- Kintisch, E. 2007. Improved monitoring of rainforests helps pierce haze of deforestation. *Science* **316**: 536-537.
- Lambin, E.F., B.L. Turner, H.J. Geist, S.B. Agbola, A. Angelsen *et al.* 2001. The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. *Global Environmental Change* **11**: 261-269.
- Leopold, A.S. 1950. Vegetation zones of Mexico. *Ecology* **31**: 507-518.
- López, E., G. Bocco, M. Mendoza y E. Duhau. 2001. Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe. A case in Morelia city, Mexico. *Landscape and Urban Planning* **55**: 271-285.
- MA. 2005. *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Millennium Ecosystem Assessment, Island Press, Washington, D.C.
- Mas, J.F., y T. Fernández. 2003. Una evaluación cuantitativa de los errores en el monitoreo de los cambios de cobertura por comparación de mapas. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* **51**: 73-87.
- Mas, J.F., J.R. Díaz-Gallegos y A. Pérez-Vega. 2003. Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* **51**: 53-72.
- Mas, J.F., A. Velázquez, J.R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga, C. Alcántara *et al.* 2004. Assessing land use/cover changes: A nationwide multivariate spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **5**: 249-261.
- Miranda, F., y E. Hernández Xolocotzi. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **28**: 29-179.
- Palacio, J.L., G. Bocco, A. Velázquez, J.F. Mas, F. Takaki *et al.* 2000. Current situation of forest resources in Mexico: Results of the 2000 National Forest Inventory. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* **43**: 183-203.
- Peres, C.A. 2002. Synergistic effects of subsistence hunting and habitat fragmentation on Amazonian forest vertebrates. *Conservation Biology* **15**: 1490-1505.
- Pérez, A., J.F. Mas, A. Velázquez y L. Vázquez. 2008. Modeling vegetation diversity types in Mexico based upon topographic features. *Interciencia* **33**: 88-95.
- Riitters, K., J. Wickham, R. O'Neill, B. Jones y E. Smith. 2000. Global-scale patterns of forest fragmentation. *Conservation Ecology* **4**: 3.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa, México.
- Sagarpa. 2006. *Anuario agrícola nacional*. Centro de Estadística Agropecuaria. Sagarpa, México.
- Semarnat. 2005. *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales*. Semarnat, México.
- Semarnat. 2008. Base de datos estadísticos. BASESNIARN-

- Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales, en <www.semarnat.gob.mx/INFORMACIONAMBIENTAL/Pages/index-sniarn.aspx> (consultado en abril de 2008).
- Semarnat-Colpos. 2003. *Evaluación de la degradación de los suelos causada por el hombre en la República mexicana, escala 1:250 000. Memoria nacional, 2001-2002*. Semarnat-Colegio de Posgraduados Chapingo, México.
- Soares-Filho, B.S., D.C. Nepstad, L.M. Curran, G. Coutinho, R.A. García *et al.* 2006. Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature* **440**:520-523.
- Toledo, V.M., y M.J. Ordóñez. 1993. The biodiversity scenario of Mexico: A review of terrestrial habitats, en T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.), *Biological diversity of Mexico: Origins and distribution*. Oxford University Press, Nueva York, pp. 757-777.
- Turner II, B.L., y W.B. Meyer. 1994. Global land-use and land-cover changes: An overview, en W.B. Meyer y B.L. Turner II (eds.), *Changes in land-use and land-cover: A global perspective*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 3-10.
- Velázquez, A., J.F. Mas, J.R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, P.C. Alcántara *et al.* 2002. Patrones y tasas de cambio del uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica* **62**:21-37.
- Vitousek, P.M., H.A. Mooney, J. Lubchenco y J.M. Melillo. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* **277**:494-499.
- Wackernagel, M., y W.E. Rees. 1996. *Our ecological footprint: Reducing human impact on the Earth*. New Society Publishers, Gabriola Island, Canadá.
- Wackernagel, M., J. Kitzes, D. Moran, S. Goldfinger y M. Thomas. 2006. The ecological footprint of cities and regions: Comparing resource availability with resource demand. *Environment and Urbanization* **18**:103-112.