

## **Cambios de cobertura y uso del suelo (1979-2000) en dos comunidades rurales en el noroeste de Quintana Roo**

Juan Manuel Dupuy Rada\*  
José Antonio González Iturbe\*  
Silvia Iriarte Vivar\*  
Luz María Calvo Irabien\*  
Celene Espadas Manrique\*  
Fernando Tun Dzul\*  
Alfredo Dorantes Euán\*

Recibido: 6 de enero de 2006  
Aceptado en versión final: 24 de abril de 2006

**Resumen.** El análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo (ccus) en relación con las actividades humanas es esencial para entender y predecir la dinámica del paisaje. Se analizan los ccus en Solferino y San Ángel, dos comunidades rurales del noroeste de Quintana Roo, a partir de fotografías aéreas de 1979 y 2000, recorridos de campo y entrevistas para documentar la historia de uso del suelo. Contrario a la mayoría de estudios, se registró un aumento en la cobertura de selvas, proveniente principalmente de la regeneración de áreas quemadas, lo cual resalta el papel de los incendios como agentes de cambio de cobertura y la capacidad de recuperación de las selvas. El cambio en el uso del suelo favoreció ligeramente la deforestación en Solferino, debido en parte a una mayor disponibilidad de selvas para usos agropecuarios en las cercanías del poblado. En San Ángel se observó una mayor regeneración de selvas, debido en parte a una mayor deforestación previa, asociada a un gran aumento poblacional y a la implementación de programas federales de fomento a la ganadería. Se discuten los escenarios de cambio y las posibles repercusiones de las actuales tendencias institucionales, socioeconómicas y climáticas sobre los futuros ccus.

**Palabras clave:** Historia de uso del suelo, fotografías aéreas, deforestación, regeneración de selvas, incendios, península de Yucatán.

---

\* Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C., Unidad de Recursos Naturales, Calle 43, No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, 97200, Mérida, Yucatán. E-mail: jmdupuy@cicy.mx

## Land-use and land-cover changes (1979-2000) in two rural communities in NW Quintana Roo, Mexico

**Abstract.** Analyzing land-use and land-cover changes (LUCC) in relation to human activities is essential to understand and predict landscape dynamics. We analyzed LUCC in Solferino and San Angel, two Mayan rural communities of NW Quintana Roo, based on aerial photographs from 1979 and 2000, and field interviews. Contrary to most studies of LUCC, we recorded an increase in forested areas from 1979 to 2000, due mainly to forest regeneration of burnt lands –the dominant cover in 1979. This result highlights the importance of wildfires in landscape dynamics as well as the great regeneration capacity of semi-evergreen tropical forests in the area. Land-use changes resulted in a slight deforestation in Solferino, and a large increase in forest cover in San Angel. The latter result can be related to greater previous deforestation in San Angel, promoted by federal programs for livestock establishment, coupled with greater availability of mature forests close to the village of Solferino. We analyze past and present LUCC scenarios and explore the implications of current institutional, socioeconomic and climatic trends on future LUCC in the study area.

**Key words:** Land-use history, aerial photographs, deforestation, forest regeneration, wildfires, Yucatán peninsula.

### INTRODUCCIÓN

La tasa, magnitud y extensión de las alteraciones humanas al sistema terrestre no tienen precedente (Lambin *et al.*, 2001). Como señalan Vitousek *et al.* (1997), “El uso de la tierra para proveer bienes y servicios representa la principal alteración humana al sistema Tierra.” Los cambios de cobertura y uso del suelo (CCUS) amenazan la diversidad biológica (Sala *et al.*, 2000), contribuyen al cambio climático local, regional y global (Houghton *et al.*, 1999), degradan el suelo (Tolba *et al.*, 1992) y alteran el funcionamiento y los servicios de los ecosistemas, así como la vulnerabilidad de éstos y de la población humana frente a los cambios climáticos y las perturbaciones naturales y humanas (Everham y Brokaw, 1996; Kasperson *et al.*, 1995; Vitousek *et al.*, 1997).

Caracterizar la cobertura terrestre, el uso del suelo de un área, así como sus cambios espaciotemporales en relación con las actividades humanas, es fundamental para entender y predecir la dinámica de los componentes del paisaje. Además, proporciona un marco de referencia para el estudio de la sucesión y la dinámica de los ecosistemas, así como para el diseño de políticas y estrategias de planificación, conservación y manejo sostenible de los recursos naturales (Ojima *et al.*, 1994).

La caracterización de los CCUS a nivel global, regional y local es aún incompleta, pero se sabe que la magnitud de los cambios es grande. A nivel global, por ejemplo, Ramankutty y Foley (1999) estiman que desde 1850 se han convertido unos 6 millones de km<sup>2</sup> de bosques en cultivos y se han abandonado unos 1.5 millones de km<sup>2</sup> de cultivos. Según estimaciones de la FAO (1996, 2001) la tasa global de cambio de cobertura boscosa fue de -9.9 millones de ha/año en la década de los ochenta y de -9.4 millones ha/año en la de los noventa. En términos regionales, las mayores tasas de deforestación neta en los años noventa correspondieron a América Latina y al Caribe (-4.2 millones ha, -0.51% por año), asociadas a programas gubernamentales de fomento agropecuario y reubicación de grupos humanos; seguida por Asia y el Pacífico (-2.3 millones ha, -0.79% por año), donde las plantaciones forestales fueron una causa importante; y África (-2.1 millones ha, -0.34% por año), asociada al crecimiento de la población rural y la expansión de la agricultura de subsistencia. Estos cambios ocurren más rápido de lo que acumulamos nuevo conocimiento científico sobre sus múltiples y complejas causas y consecuencias (Vitousek *et al.*, 1997).

Para México, las estimaciones de las tasas de deforestación varían entre 0.51 % (1976-2000,

Mas *et al.*, 2004) y 2% anual (mediados de los ochenta, World Bank, 1995, citado por Bray *et al.*, 2004; véase también FAO, 2001; Masera *et al.*, 1997; Velásquez *et al.*, 2001) y presentan una gran variación regional y local: de 0.1% anual en la Zona Maya de Quintana Roo (1984-2000, Bray *et al.*, 2004) a 12.4% anual en Palenque, Chiapas (1973-1981, SARH 1984, citado por Masera *et al.*, 1997). Las regiones con altas tasas de deforestación (> 2% anual) por lo general corresponden a áreas de colonización y extensión agropecuaria, mientras que las regiones con tasas bajas contienen una alta proporción de áreas protegidas (Bray *et al.*, 2004). Estos autores identifican tres escenarios tradicionales de ccus y proponen un cuarto: a) deforestación y degradación, b) regeneración y restauración de áreas degradadas ("transición de selvas"), c) ccus mínimos en áreas boscosas con escasa población humana y/o grandes áreas protegidas, d) "paisajes sostenibles", con una larga historia de uso forestal o agropecuario, que no obstante preservan una cubierta boscosa significativa con ccus mínimos, ejemplificado por la Zona Maya de Quintana Roo.

Elementos de estos cuatro escenarios se encuentran en las comunidades de Solferino y San Ángel, sujetos de este estudio. Ambas están ubicadas en el noroeste de Quintana Roo y presentan una baja densidad de población, pero una larga historia de uso del suelo (Careaga, 1979; Fort, 1979). En los años sesenta y setenta el asentamiento de colonos provenientes de Yucatán y la implementación de programas federales de fomento a la ganadería extensiva (Dachary y Arnaiz, 1990; Merino, 2004) promovieron el desmonte de superficies considerables de selvas (escenario 1). El fracaso y abandono de las sociedades ganaderas en los años ochenta favoreció la regeneración o "transición de selvas" (escenario 2). El establecimiento posterior de Áreas Forestales Permanentes y del Área de Protección Yum Balam (DOF, 1994), sentaron las bases para un paisaje estable, con ccus mínimos (escenarios 3 y 4).

Los objetivos de este estudio fueron:

a) analizar los ccus ocurridos en el período 1979-2000; b) interpretar dichos cambios a la luz de factores ecológicos, geográficos, socio-económicos e institucionales y c) discutir las posibles tendencias en los ccus futuros en función de las actuales actividades productivas, políticas institucionales y tendencias climáticas. Para ello se eligieron dos comunidades rurales colindantes, con características contrastantes que pueden influir en los ccus: San Ángel, de establecimiento relativamente reciente, que abarca parte del Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam, tiene fácil acceso a la mayor parte de su larga y estrecha superficie y un predominio de actividades agropecuarias; y Solferino, colindante con dicha Área, con una historia de uso del suelo más larga, mayor tradición forestal y menor acceso a buena parte de su cuadrada superficie.

Este es el primer estudio de ccus para el norte de Quintana Roo, ya que los estudios previos se han centrado en la zona sur del estado (Abizaid y Coomes, 2004; Bray *et al.*, 2004; Turner *et al.*, 2001). El área en estudio es de gran relevancia por su biodiversidad y porque constituye la zona de recarga de acuíferos para Cancún (Lazcano-Barrero *et al.*, 1995), centro de desarrollo turístico de importancia económica para el estado y para el país. La información aportada será de utilidad para la planificación del desarrollo socioeconómico y del uso y conservación de los recursos naturales de la zona.

## ÁREA EN ESTUDIO

Las comunidades de Solferino y San Ángel se encuentran a una altitud de 20-30 msnm. El clima es cálido subhúmedo, tipo Ax (w1')(i')g, con precipitación y temperatura medias anuales de 1 249 mm y 25.7° C (Orellana *et al.*, 1999). La época de lluvias se presenta en verano y otoño, e incluye huracanes y tormentas tropicales (Olmsted *et al.*, 2000); la temporada de sequía corresponde a la primavera. La geología está

constituida por cuerpos de caliza, dolomita y evaporitas del Cenozoico (Tulackczyk, 1993). Los suelos son delgados, pedregosos y con poca materia orgánica; predominan los luvisoles crómicos, aunque también existen asociaciones de litosoles y rendzinas (Lazcano-Barrero *et al.*, 1995). No existen escurrimientos superficiales, el agua de lluvia se percola a través de la roca caliza, formando una red hidrológica subterránea con un manto freático poco profundo que fluye hacia el mar y que en ocasiones genera fuentes de agua dulce como lagunas y aguadas.

Como producto de actividades humanas que datan de por lo menos tres mil años, aunadas a perturbaciones naturales como huracanes, incendios y cambios climáticos (Schultz, 2001), el paisaje del área en estudio es un mosaico de selvas medianas subcaducifolias y subperennifolias de diferentes edades sucesionales, palmares, sabanas o pastizales inundables y zonas abiertas dedicadas a actividades agropecuarias (Olmsted *et al.*, 2000). Las comunidades de estudio son parte del municipio Lázaro Cárdenas (3881 km<sup>2</sup>), considerado el más pobre del estado (Secretaría de Gobernación, 1988), caracterizado por su baja densidad poblacional (5.0 hab/km<sup>2</sup>) y su carácter rural. El 74% de los habitantes es de origen indígena, en su mayoría mayas (93%); (INEGI, 1994; 2000). Las comunidades de San Ángel (797 pobladores) y Solferino (762) conforman el 36% de la población del municipio (INEGI, 2000). El 71% del área del municipio es del de propiedad comunal, 20% de propiedad particular y 9% de propiedad nacional (Lazcano-Barrero *et al.*, 1995). Ambas comunidades se encuentran en la zona de amortiguamiento del Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam, decretada el 6 de junio de 1994 (DOF, 1994).

## MÉTODOS

El área seleccionada para este estudio es un polígono de alrededor de 27 822 ha, de las cuales 15 545 (54%) corresponden a la comunidad de

Solferino, 11 057 (44%) a San Ángel y 1 200 (4%) a Terrenos Nacionales (Figura 1). El área dentro del polígono estudiado abarca las zonas donde se concentran las actividades productivas y donde se registraron los principales cambios de cobertura en estas dos comunidades durante el período en estudio.

Los tipos de vegetación y cubierta del suelo fueron identificados a través de la interpretación de fotografías aéreas escala 1:75 000, en tonos de gris, de dos fechas distintas: febrero de 1979 y enero de 2000. Adicionalmente, se utilizaron imágenes de satélite Landsat mss de 1976 y Landsat TM de 2000, únicamente como material de apoyo para la fotointerpretación, dado que la imagen del 1976 presenta una resolución más baja que las fotografías aéreas y la del 2000, aunque con mayor resolución, presenta una alta cobertura de nubes. En particular, la imagen satelital de 1976 se utilizó para el cálculo del área deforestada como resultado de la implementación de los programas de fomento a la ganadería en la zona (1968-1972). Las fotografías aéreas fueron digitalizadas y georreferenciadas mediante un sistema de información geográfica, de acuerdo con las cartas topográficas de INEGI escala 1:50 000, en el sistema de coordenadas UTM y restituidas a una resolución de 10 m/píxel (error medio cuadrático RMS = 9.62 m). El material fotográfico fue interpretado con base en su tonalidad, textura y geometría. En las fotografías de 2000 se identificaron las siguientes categorías de cobertura: agropecuario (zonas abiertas dedicadas a la agricultura o la ganadería), abandonado (zonas relativamente abiertas con vegetación sucesional temprana: aproximadamente 1-3 años de abandono), sucesión secundaria (zonas con vegetación sucesional arbustiva o arbórea de aproximadamente 3-15 años de abandono), bajos (sabanas inundables), selvas (principalmente mediana subperennifolia y, en menor medida, mediana subcaducifolia y baja inundable; Miranda, 1964) y zonas urbanas. En las fotografías de 1979 se distinguió otra categoría de cober-

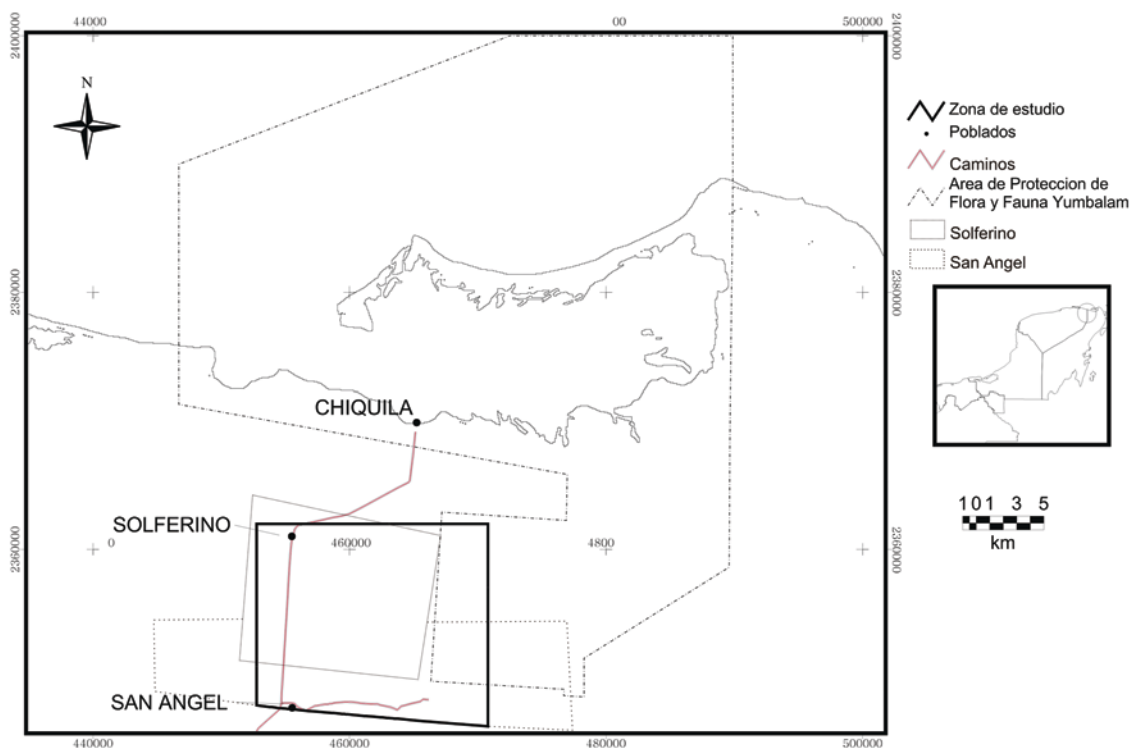


Figura 1. Localización del área en estudio (achurado) en el noroeste de Quintana Roo. Se indica también la ubicación de las comunidades de Solferino (línea continua) y San Ángel (línea punteada) y sus respectivos poblados, así como de la Reserva de Flora y Fauna Yum Balam (línea con punteado fino) y de los caminos (línea gruesa).

tura: quema (zonas relativamente abiertas afectadas por incendios, de forma y textura muy heterogéneas; Figura 2). Al comparar las fotografías de ambas fechas, se inferió otra categoría: sucesión secundaria avanzada (zonas visualmente indistinguibles de selvas en la fotografía de 2000 y que en 1979 fueron clasificadas como agropecuario, abandonado o sucesión secundaria, es decir, de al menos 21 años de abandono). Para simplificar la interpretación de los resultados, se agruparon las categorías agropecuario y zonas urbanas en una sola categoría: en uso.

La verificación de la fotointerpretación de 2000 se hizo mediante varios recorridos de campo entre mayo de 2003 y agosto de 2004,

con ayuda de un geoposicionador (GPS GARMIN iQue 3600), totalizando alrededor de 70 puntos de verificación de la cobertura para comparar y, en su caso, rectificar la interpretación de la fotografía aérea.

Con el fin de obtener información sobre la historia de uso del suelo y sobre las actividades económicas actuales, se elaboraron dos tipos de entrevistas semi-estructuradas a los pobladores de Solferino y de San Ángel. Para documentar la historia de uso del suelo se entrevistaron en cada poblado 12-18 ejidatarios de 44 a 88 años de edad que hubiesen participado en alguna sociedad ganadera. Para la encuesta sobre las actividades productivas y el uso actual de las parcelas se entrevistaron 50 ejidatarios en

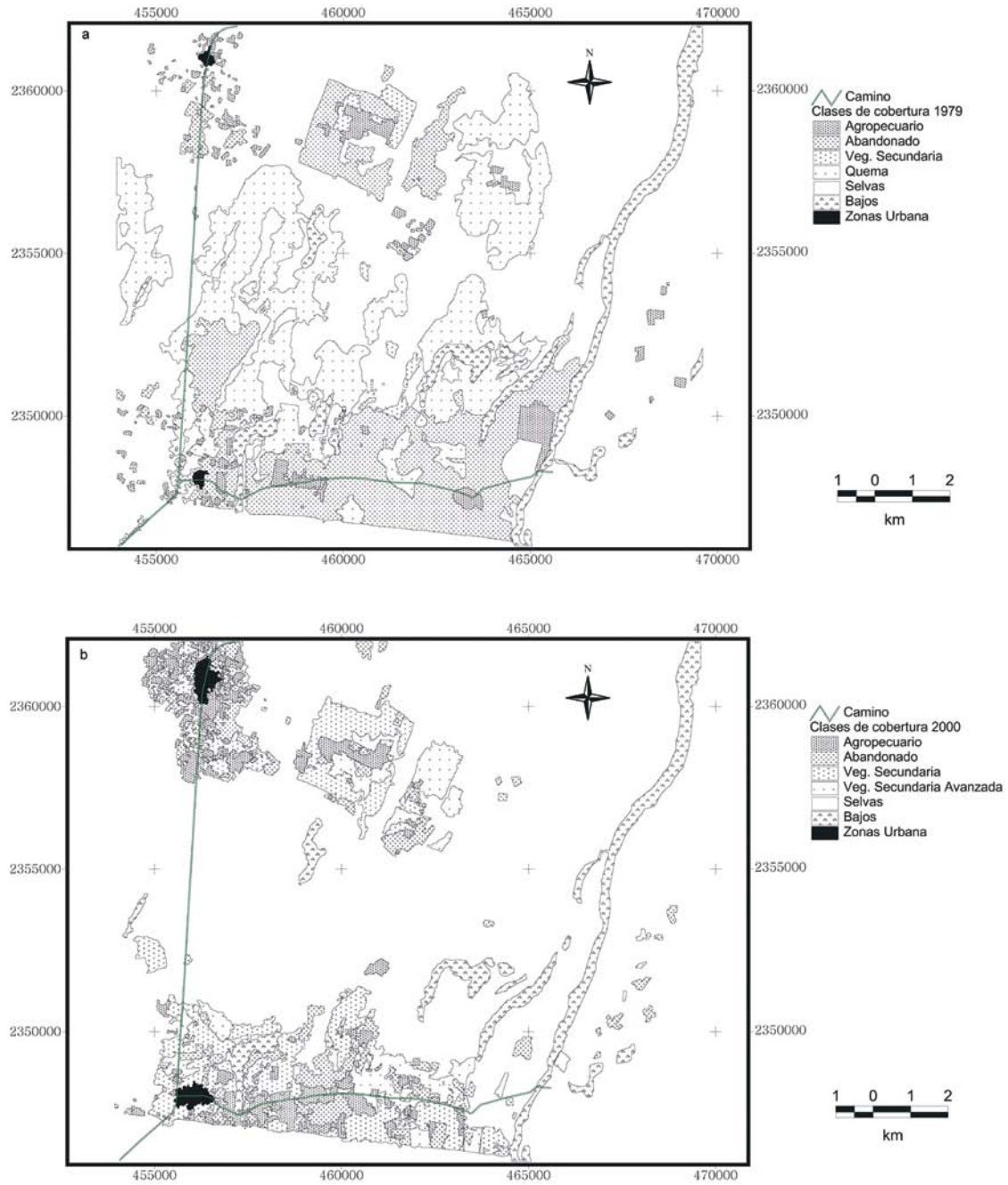


Figura 2. Interpretaciones de las fotografías aéreas del área en estudio en 1979 (A) y 2000 (B). Se indican las categorías de cobertura identificadas en cada fecha (véase Métodos). Veg.Sec.= vegetación secundaria.

edad económicamente activa en cada poblado. La información recabada en las encuestas se complementó con información bibliográfica y oficial a nivel municipal y estatal.

### Análisis de datos

Para analizar los cambios en la cobertura terrestre ocurridos entre 1979 y 2000, se elaboraron, mediante el método de tabulación cruzada y la construcción de matrices de transición que muestran las superficies que cambiaron a otra categoría de cobertura y las que permanecieron, tres matrices de transición: una para el área en estudio en su totalidad y una para cada comunidad por separado (Anexo 1). Posteriormente, se calculó el cambio neto de cobertura de cada categoría como la suma algebraica de los cambios netos (ganancias-pérdidas) con respecto a cada una de las demás categorías.

Por otro lado, la tasa de cambio de cada categoría de cobertura se calculó utilizando la siguiente fórmula (FAO, 1996):

$$r = ([1 - (A_1 - A_2)/A_1]^{1/n} - 1) * 100 \quad (1)$$

donde  $r$  es la tasa porcentual de cambio anual,  $A_1$  es el área de la categoría en cuestión al comienzo del período en estudio,  $A_2$  es el área de dicha categoría al final del período y  $n$  es el número de años del período. Puesto que:

$$A_2 = A_1 + \Sigma G - \Sigma P$$

donde  $\Sigma G$  es la sumatoria de las ganancias, es decir, la suma de las áreas de otras coberturas que transitaron a la categoría en cuestión y  $\Sigma P$  es la sumatoria de pérdidas, es decir, la suma de las áreas de la categoría en cuestión que transitaron a otras coberturas; se puede reemplazar a  $A_2$  en la primera fórmula y obtener la siguiente fórmula:

$$r = ([1 - (\Sigma P - \Sigma G)/A_1]^{1/n} - 1) * 100 \quad (2)$$

Ésta permite calcular la tasa de cambio de cobertura tomando en cuenta las transiciones de y hacia otras categorías de cobertura, ya sea individualmente o en forma conjunta.

Finalmente, se elaboraron mapas de distancias para investigar la deforestación y la regeneración de selvas en función de la distancia a los poblados de Solferino y San Ángel.

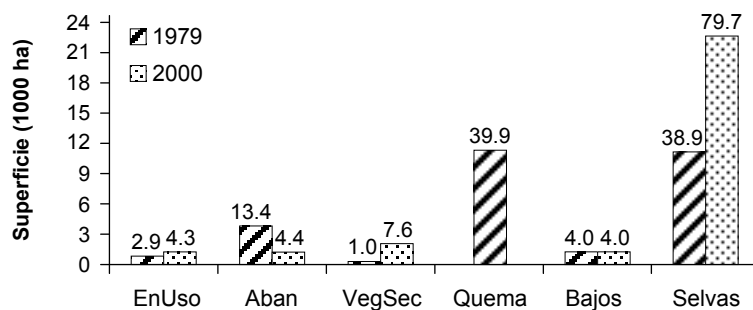
## RESULTADOS

### Patrones y cambios de cobertura en el área total en estudio

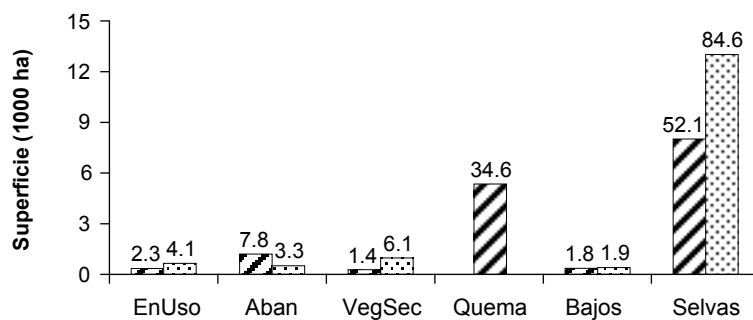
En 1979 las categorías de cobertura predominantes fueron las de quema (11 089 ha, 40% del área total en estudio) y selvas (10 832 ha, 39%; Figura 3A). Las categorías en uso (797 ha) y abandonado (3 722 ha), juntas representaron 16% del área total, mientras que la vegetación secundaria representó menos del 1% (266 ha). Para el 2000, la cobertura de selvas se duplicó alcanzando 22 167 ha (80% del área total), debido en gran parte a la regeneración de quemados –categoría que no se registró en ese año. En este lapso de tiempo, la cobertura de vegetación secundaria aumentó casi ocho veces, pasando a ser la segunda categoría en importancia (2 103 ha, 8% del área total). Los terrenos en uso también aumentaron ligeramente (a 1 203 ha, 4% del área total), mientras que los terrenos abandonados se redujeron a un tercio de su cobertura inicial (1 221 ha, 4% del área total; Figura 3A).

El principal cambio de cobertura en el área y tiempo de estudio correspondió a la categoría de quema, cuya transición predominante (93% del área original de quema) fue hacia selvas: 10 346 ha, 37% del área total de estudio (Figura 4A). Las selvas también presentaron la mayor permanencia (9 432 ha, 34% del área total) y una pérdida (transición a otras categorías) relativamente baja (1 400 ha, 5%; Anexo 1). Por lo tanto, el cambio neto de cobertura de selvas fue altamente positivo (+11 335 ha, +41% del área total; Figura 4A), así como su tasa de cambio anual (+3.47%; Cuadro 1).

**A) Área de estudio**



**B) Solferino**



**C) San Ángel**

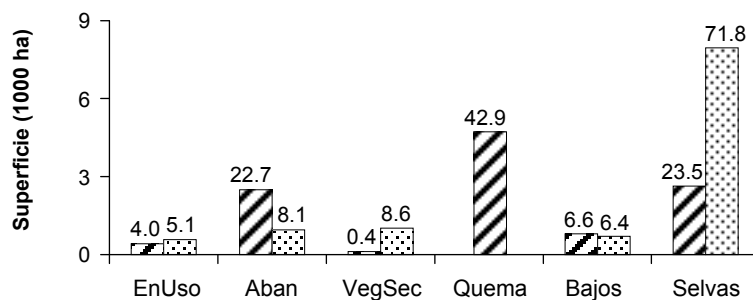


Figura 3. Superficie por categoría de cobertura en 1979 y 2000. Se presenta la superficie en miles de hectáreas (barras) y el porcentaje de la superficie total (valores numéricos) de las categorías de cobertura en 1979 (barras rayadas) y en 2000 (barras punteadas) en el área total en estudio (A), Solferino (B) y San Ángel (C). Las superficies fueron calculadas a partir de fotografías aéreas digitalizadas del INEGI (véase Métodos). Nótese las diferentes escalas en los ejes Y. Aban: abandonado, VegSec: vegetación secundaria.

Teniendo en cuenta que la regeneración de selvas en terrenos quemados podría considerarse como un cambio de condición más que de cobertura, y con el fin de investigar los cambios de cobertura debidos únicamente a cambios de uso del suelo y no a perturbaciones, se calcularon las tasas de cambio de cobertura excluyendo la categoría de quema en la ecuación (2) de los Métodos. La tasa de cambio anual de selvas obtenida de esta manera fue considerablemente menor, pero igualmente positiva: +0.32 % (Cuadro 1). Esto indica que, aunque más del 90% del aumento en la cobertura boscosa puede atribuirse a la regeneración de selvas en terrenos quemados, aun en las áreas que no se quemaron hubo una regeneración o expansión neta de las selvas.

La vegetación secundaria también presentó un notable aumento de cobertura (+1838 ha, +7% del área total; Figura 4A). De hecho, fue la categoría que presentó el mayor aumento en relación con su cobertura inicial (casi ocho veces; Figura 3A) y la mayor tasa de cambio anual: +10.35% (Cuadro 1). Este aumento provino principalmente de terrenos abandonados y en menor medida de terrenos quemados y selvas (Anexo 1).

La categoría de terrenos en uso aumentó ligeramente en cobertura (+407 ha, +1% del área total; Figura 4A), debido en gran parte a los aportes de terrenos abandonados y del

desmonte de selvas. Por el contrario, la cobertura de terrenos abandonados mostró una fuerte disminución (-2501 ha, -9%; Figura 4A), debida principalmente a su transición a selvas y a vegetación secundaria (Anexo 1). Las tasas de cambio anual de estas dos categorías fueron de +1.98 y -5.17%, respectivamente (Cuadro 1). La cobertura de bajos se mantuvo constante y baja (Figuras 3A, 4A).

### Patrones y cambios de cobertura en Solferino y San Ángel

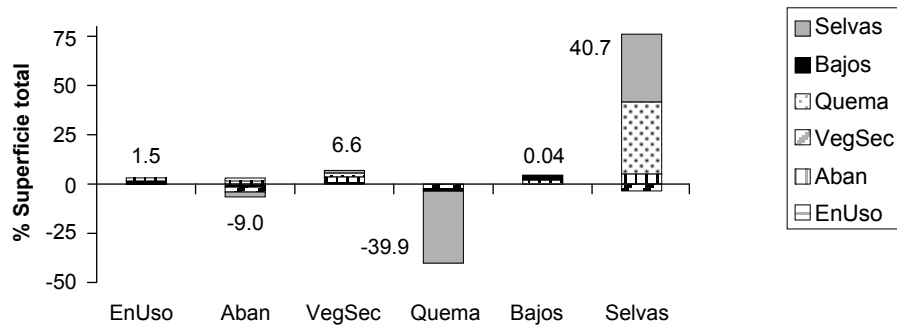
En 1979 Solferino y San Ángel presentaron patrones de cobertura diferentes (Figura 3B, C). En Solferino, la categoría dominante fue la de selvas (8095 ha, 52% de su superficie), seguida por quema (5379 ha, 35%), mientras que los terrenos en uso (356 ha) o abandonados (1218 ha) juntos representaron 10% de su superficie. En San Ángel, en cambio, la categoría dominante fue la de quema (4746 ha, 43% de su área), mientras que las selvas (2597 ha) representaron un porcentaje de cobertura mucho menor (23%) e inferior al de los terrenos abandonados (2504 ha) o en uso (441 ha) juntos (27%).

A pesar de estas diferencias iniciales, en 2000 los patrones de cobertura de estas dos comunidades fueron similares (Figura 3B, C). En ambas, la categoría dominante fue la de selvas (13148 ha, 85% del área de Solferino;

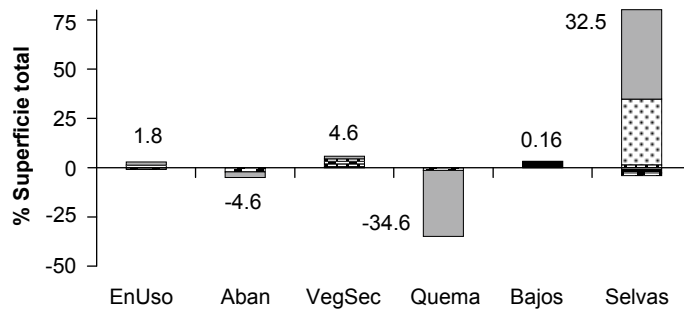
Cuadro 1. Tasas de cambio neto anual de las categorías de cobertura: 1979–2000. Para facilitar la comparación entre comunidades, se presentan los valores porcentuales. Los números en paréntesis corresponden a las tasas de cambio calculadas excluyendo las áreas que estaban quemadas en 1979 (véase Métodos)

| Categoría             | Tasa de cambio neto anual (%) |         |           |         |           |         |
|-----------------------|-------------------------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
|                       | Área total                    |         | Solferino |         | San Ángel |         |
| Selvas                | 3.47                          | (0.32)  | 2.34      | (-0.09) | 5.47      | (1.78)  |
| Bajos                 | 0.04                          | (-0.43) | 0.42      | (-0.10) | -0.11     | (-0.58) |
| Vegetación secundaria | 10.35                         | (9.09)  | 7.16      | (6.40)  | 15.64     | (14.76) |
| Abandonado            | -5.17                         | (-5.75) | -4.07     | (-4.14) | -4.79     | (-6.79) |
| En uso                | 1.98                          | (1.83)  | 2.86      | (2.86)  | 1.15      | (0.83)  |

**A) Área de estudio**



**B) Solferino**



**C) San Ángel**

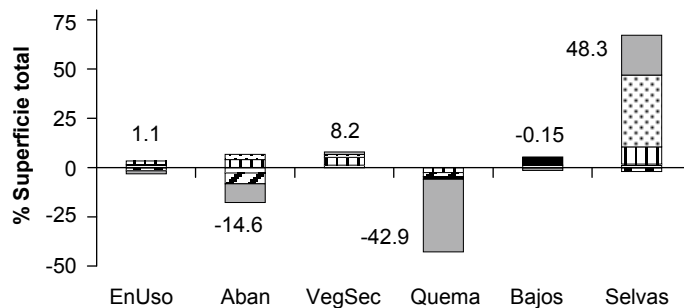


Figura 4. Cambios netos de cobertura (1979-2000) por categoría calculados mediante el método de tabulación cruzada (véase Métodos). Para cada categoría se presentan los cambios netos de cobertura con respecto a las demás categorías (diferentes patrones de barras), expresados como porcentaje de la superficie total en el área total de estudio (A), Solferino (B) y San Ángel (C). Los valores numéricos representan los cambios de cobertura excluyendo las permanencias (áreas que fueron clasificadas en la misma categoría en 1979 y 2000). Aban: abandonado, VegSec: vegetación secundaria.

7943 ha, 72% de San Ángel), seguida de vegetación secundaria (942 ha, 6% del área de Solferino; 953 ha, 9% de San Ángel).

La dinámica de la cobertura terrestre en ambas comunidades estuvo dominada por la transición de quema a selvas (34% del área total de Solferino y 38% de la de San Ángel) y la permanencia de selvas (45 y 21%, respectivamente). Sin embargo, a diferencia de Solferino, en San Ángel se registraron además otros cambios importantes de cobertura, como la transición de terrenos abandonados a selvas (10%; Anexo 1).

Las comunidades de estudio también difirieron en la magnitud relativa de los cambios de cobertura. La deforestación (transición de selvas a otras coberturas) fue 2.5 veces mayor en Solferino (6.9%) que en San Ángel (2.7%), mientras que la regeneración (transición de otras coberturas a selvas) fue mayor en San Ángel (51%) que en Solferino (39%; Anexo 1). Por lo tanto, el cambio neto de selvas fue mayor en San Ángel (+48%) que en Solferino (+33%; Figura 4B, C). Asimismo, la tasa de cambio anual de esta cobertura fue más del doble en San Ángel (+5.47%) que en Solferino (+2.34%; Cuadro 1). Al excluir de los cálculos la transición de quema a selvas, la tasa de cambio anual de la cobertura de selvas fue bastante menor en ambas comunidades, e incluso fue ligeramente negativa en Solferino (-0.09% *versus* +1.78% en San Ángel; Cuadro 1). Estos resultados indican que, para los terrenos que no estaban quemados en 1979, en Solferino hubo una ligera deforestación neta, mientras que en San Ángel hubo una regeneración o expansión de selvas.

El aumento en la cobertura de vegetación secundaria también fue mucho mayor en San Ángel (21 veces) que en Solferino (4 veces; Figura 3B, C). Asimismo, el cambio neto de esta cobertura y su tasa de cambio anual fueron el doble en San Ángel (+8.2 y +15.64%, respectivamente) que en Solferino (+4.6 y +7.16% anual; Figura 4B, C, Cuadro 1). Este aumento provino principalmente de terrenos abandonados y selvas (Anexo 1).

Por otro lado, los terrenos en uso presentaron un mayor aumento de cobertura en Solferino (+1.8%, Figura 4B) –provenientes principalmente de selvas, que en San Ángel (1.1%, Figura 4C), provenientes principalmente de terrenos abandonados (Anexo 1). Asimismo, la tasa anual de cambio de cobertura de terrenos en uso fue más de dos veces mayor en Solferino (+2.86%) que en San Ángel (+1.15%, Cuadro 1).

La cobertura de terrenos abandonados disminuyó en ambas comunidades, transitiendo principalmente a selvas y a vegetación secundaria (Anexo 1), pero esta disminución fue tres veces mayor en San Ángel (-14.6%, Figura 4C), que en Solferino (-4.6%, Figura 4B). No obstante, y debido a la mayor cobertura inicial de terrenos abandonados en San Ángel (23%) que en Solferino (8% Anexo 1), su tasa de cambio fue similar en ambas comunidades (-4.79 y -4.07% anual, respectivamente, Cuadro 1). La cobertura de bajos se mantuvo relativamente constante y baja en ambas comunidades (Figura 4B, C).

### **Deforestación y regeneración de selvas en función de la distancia a los poblados**

Tanto en Solferino como en San Ángel, 80% de la deforestación (transición de selvas a otras categorías) ocurrió en los primeros 6 km de distancia del poblado (Figura 5A). Sin embargo, en San Ángel la deforestación se dio a todo lo largo del camino vecinal, incluso en terrenos pertenecientes al Área de Protección Yum Balam, mientras que en Solferino se concentró más en las cercanías del pueblo (Figuras 2 y 5A).

Por otro lado, la regeneración de las selvas (transición de otras categorías a selva) se concentró en zonas más distantes de los poblados y estuvo más extendida (a lo largo del camino vecinal) en San Ángel que en Solferino: aproximadamente 84% de la regeneración ocurrió entre 7 y 12 km de distancia del poblado en San Ángel y entre 8 y 10 km en Solferino (Figura 5B). Como resultado de

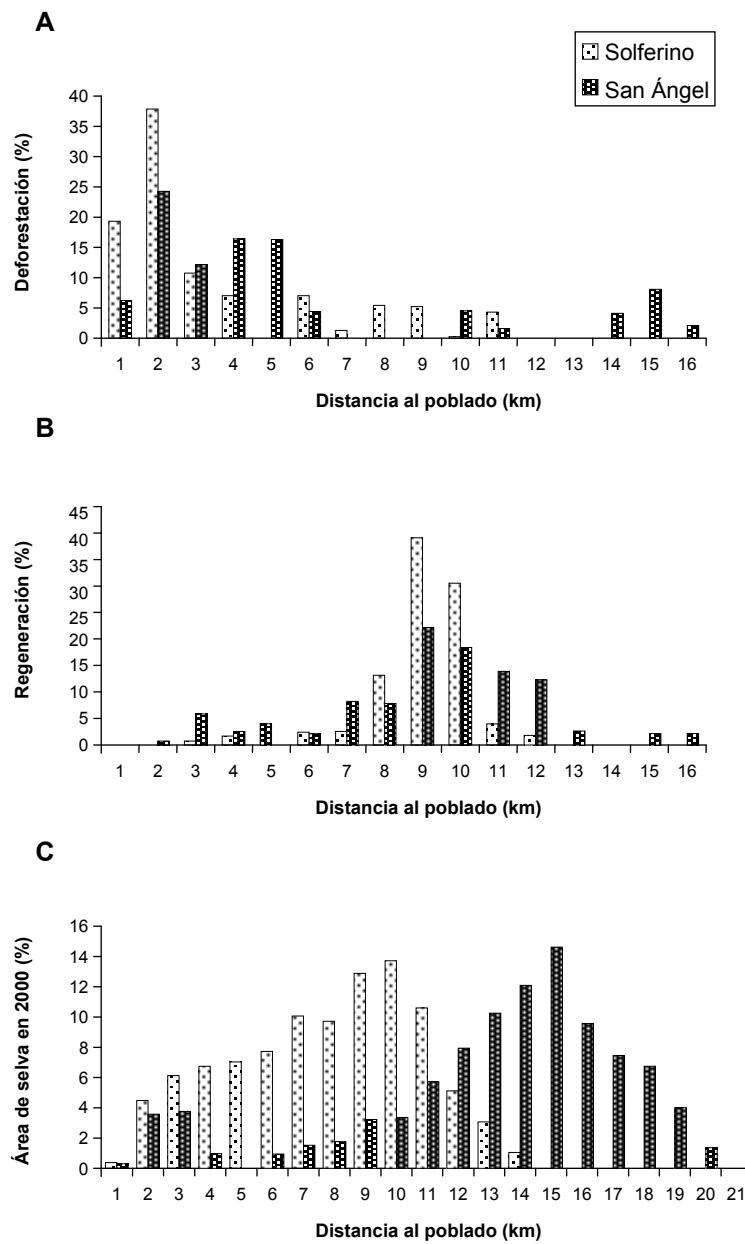


Figura 5. Transición de selvas a terrenos en uso o abandonados (deforestación (A)) y de terrenos en uso o abandonados a selvas (regeneración (B)) entre 1979 y 2000, y distribución de selvas (C) en función de la distancia a los poblados de Solferino y San Ángel, noroeste de Quintana Roo.

los procesos de deforestación y regeneración, así como de la disposición espacial de los terrenos pertenecientes a cada comunidad, las selvas están predominantemente distribuidas a mayor distancia del poblado de San Ángel en comparación con Solferino: aproximadamente 86% de las selvas se encuentran a 9-19 km de distancia de San Ángel y a 3-11 km de Solferino (Figura 5C).

### Demografía, uso del suelo y actividades productivas en Solferino y San Ángel

En la década de los sesenta el poblado de San Ángel, fundado en 1958, quintuplicó su población, pasando de 45 a 275 habitantes; mientras que Solferino, de mayor antigüedad, presentó apenas un leve aumento poblacional, pasando de 282 a 307 habitantes (INEGI, 1994). Buena parte del gran aumento poblacional de San Ángel se debió al establecimiento de colonos provenientes de Yucatán y Veracruz, principal-

mente (Torre-Cuadros e Islebe, 2003). A partir de la década de los ochenta, ambos poblados presentan tamaños y tasas de aumento poblacional muy similares (INEGI, 1994; 2000).

Durante los años sesenta y setenta en el área en estudio y en todo el país se implementaron programas gubernamentales de fomento a actividades agropecuarias, principalmente la ganadería, a través de créditos otorgados a sociedades formadas por campesinos y ejidatarios (Merino, 2004). El Cuadro 2 muestra algunas características de las sociedades ganaderas formadas en Solferino y San Ángel durante el período 1968-1972. Con base en las encuestas hechas a los ejidatarios, estos programas generaron la deforestación de un área aproximada de 800-1 200 ha en Solferino y 1 600-2 400 ha en San Ángel. Con base en la imagen satelital de 1976, se calcula que para entonces existía un área claramente deforestada de aproximadamente 760 ha en Solferino y 2 220 ha en San Ángel. Gran parte de este área se regeneró rá-

Cuadro 2. Características de las sociedades ganaderas de Solferino y San Ángel, formadas en los años sesenta y setenta (previo al período en estudio)

| Características de las sociedades ganaderas de Solferino y San Ángel | Solferino                                                                                  | San Ángel                                     |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Núm. de sociedades ganaderas                                         | 3                                                                                          | 2                                             |
| Fecha de primer desmonte                                             | 1968 – 1971 (1969)                                                                         | 1969 – 1972 (1972)                            |
| Área total desmontada                                                | 800 - 1200 ha (1200)                                                                       | 1600 -2400 ha (2000)                          |
| Núm. inicial de Ejidatarios                                          | 71 – 95 (79)                                                                               | 54-90 (63)                                    |
| Núm. inicial de cabezas de ganado                                    | 700 – 1000 (800)                                                                           | 700 – 900 (900)                               |
| Fecha de abandono de las sociedades                                  | 1983-1989 (1988*)                                                                          | 1983-1988* (1986)                             |
| Uso inicial del suelo                                                | Ganadería, agricultura, apicultura                                                         | Ganadería, agricultura                        |
| Uso actual predominante                                              | Vegetación secundaria, ganadería                                                           | Agricultura, vegetación secundaria, ganadería |
| Fuente de apoyo técnico y financiero                                 | Gobierno Federal (Banrural), Banco Mundial: Programa PIDER (Banco Internacional de México) |                                               |

Se presentan los rangos y, entre paréntesis, la mediana.

\*Año del Huracán Gilberto

pidamente, pues en la fotografía aérea de 1979 el área desmontada para el establecimiento de potreros ocupaba sólo unas 300 ha en Solferino y unas 400 ha en San Ángel (Figura 2A).

La información recabada en las encuestas reveló que, para mediados de los años ochenta, las sociedades ganaderas se habían disuelto casi en su totalidad. Los principales motivos del fracaso fueron el endeudamiento con las fuentes financieras (los créditos otorgados tenían asociadas tasas de interés), la falta de experiencia administrativa y organizativa de las sociedades, la falta de conocimiento técnico del manejo del ganado y la falta de apoyo técnico y logístico. La mayor parte de los socios ganaderos en ambas comunidades refirieron no haber recibido beneficios de estas sociedades, más allá de la inversión en infraestructura, especialmente pozos y el camino blanco que actualmente utilizan los pobladores de San Ángel para realizar sus actividades agropecuarias.

Actualmente, la agricultura (el cultivo de la milpa y en menor medida hortalizas) es la actividad productiva predominante y la practican todos los ejidatarios entrevistados en ambas comunidades (Cuadro 3). En Solferino le siguen en orden de importancia la extracción de madera y la agroforestería de especies maderables, principalmente cedro y caoba. En San

Ángel no se reporta esta última actividad y en cambio tienen mayor importancia la ganadería y el cultivo de especies frutales (principalmente cítricos). Otras actividades, como la pesca y el trabajo asalariado, tienen mayor importancia en Solferino que en San Ángel (Cuadro 3).

## DISCUSIÓN

### Patrones y cambios de cobertura y uso del suelo en el área total en estudio

Aunque el tipo de vegetación predominante en la región es la selva mediana sub-perennifolia (Olmsted *et al.*, 2000) en 1979 la categoría de cobertura dominante en el área en estudio fue la de quema (Figura 3A). Este fue un resultado inesperado e ilustra la importancia de los incendios, ya sean naturales o antropogénicos, como agente de perturbación de las selvas y de cambio de la cobertura terrestre. El papel del fuego en los ccus ha sido documentado tanto en ecosistemas secos y estacionales (sabanas, pastizales), como en selvas tropicales (Cochrane *et al.*, 1999, Eva and Lambin, 2000; Goldammer, 1999). En este estudio, las quemadas se ubicaron asociadas a las sabanas; varios pobladores de San Ángel entrevistados dieron testimonio de incendios ocurridos antes y

Cuadro 3. Frecuencia relativa de las actividades económicas actuales en las comunidades de Solferino y San Ángel, estimada a partir de una muestra aleatoria de 50 campesinos por comunidad

| Actividad económica                  | Solferino | San Ángel |
|--------------------------------------|-----------|-----------|
| Agricultura                          | 100       | 100       |
| Extracción de madera                 | 64        | 10        |
| Ganadería                            | 24        | 34        |
| Cultivo de frutales                  | 14        | 34        |
| Agroforestería (especies maderables) | 26        | 0         |
| Apicultura                           | 12        | 4         |
| Otras actividades*                   | 22        | 2         |

\*Pesca, trabajo asalariado y comercio.

durante el período en estudio, los cuales fueron iniciados en las sabanas, aparentemente de manera accidental por cazadores y no como resultado de las prácticas agropecuarias.

La transición de áreas de quema a selvas fue, por su magnitud, el principal cambio de cobertura terrestre (Figura 4A). Lo anterior, aunado a la imposibilidad de diferenciar en la fotografía de 2000 las categorías de selvas y sucesión secundaria avanzada sugiere una rápida regeneración de las selvas (21-36 años). Para el mismo tipo de selva en el sur de Campeche, Turner *et al.* (2001) estiman el tiempo de recuperación de la composición florística después de un uso agropecuario en 25-30 años. El tiempo y la capacidad de recuperación de las selvas pueden variar considerablemente según las condiciones edáficas, ambientales y las características de la perturbación (Aide *et al.*, 1995; Guariguata y Ostertag, 2000; Pascarella *et al.*, 2000; Pickett y White, 1985; Sousa, 1984; Uhl *et al.*, 1988). Por lo tanto, para evaluar la resiliencia a incendios y cambios de uso del suelo, así como el tiempo de recuperación de estos ecosistemas se requieren estudios ecológicos a largo plazo de su estructura, composición y dinámica.

El gran aumento en la cobertura de selvas no se debió únicamente a la regeneración de las mismas en terrenos quemados, puesto que, aun excluyendo éstos, la tasa de cambio anual de selvas fue positiva (Cuadro 1). Otros factores ayudan a explicar este balance favorable a la regeneración neta de selvas. Si bien la tasa de cambio anual de los terrenos en uso fue positiva e inclusive mayor que la de las selvas al excluir de los cálculos los terrenos quemados, la ganancia provino de terrenos abandonados (previamente deforestados) en mayor medida que de selvas (deforestación *de novo*). Además, la tasa de cambio anual de la vegetación secundaria (selva en proceso de regeneración) fue la más alta registrada en este estudio y provino principalmente de terrenos abandonados. Finalmente, la mayor parte del cambio de cobertura de los terrenos abandonados fue

hacia selvas y vegetación secundaria y no hacia terrenos en uso (Anexo 1).

El análisis de la información sobre la historia de uso del suelo del área en estudio en las últimas décadas ayuda a entender mejor estos resultados. Como resultado de programas federales de fomento a la ganadería (Cernea, 1983), en los años sesenta y setenta se desmontaron superficies considerables de selva (escenario 1: deforestación y degradación *sensu* Bray *et al.*, 2004). La superficie deforestada fue relativamente pequeña: 2 980 ha (calculada a partir de la imagen satelital de 1976), lo que representa 10.7% del área en estudio. No obstante, si referimos el área deforestada al tamaño poblacional de ambas comunidades, ésta fue considerable: más de 5 ha/habitante (tomando los datos de población de 1970); especialmente si se considera que el área promedio que actualmente se utiliza para las actividades agropecuarias es de 0.8 ha/habitante (calculada a partir del censo de población y la cobertura de áreas agropecuarias en 2000).

El posterior abandono de la mayor parte de los terrenos desmontados tras el fracaso de las sociedades ganaderas en los años ochenta, aunado a la regeneración de las selvas en los terrenos quemados, podría catalogarse como una "transición de selvas" (escenario 2 *sensu* Bray *et al.*, 2004) y ayuda a explicar el aumento en la cobertura boscosa observado en este estudio. Si bien en la zona en estudio hay una larga historia de uso del suelo, existen también valores bajos de densidad ( $< 1$  habitante/km<sup>2</sup>) y de tasa de aumento poblacional ( $< 0.2\%$  en 1990-2000), lo cual aunado al establecimiento de áreas forestales permanentes en los años ochenta (10 000 ha en Solferino y 45 000 ha en el ejido de Chiquilá-San Ángel) y del Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam en 1994 (154 000 ha), actualmente apuntan hacia un escenario de cambio de cobertura estable y favorable para la conservación de las selvas en el área en estudio (escenario 3 o 4 *sensu* Bray *et al.*, 2004). Sin embargo, y como se discute más adelante, cabe esperar nuevos cambios de

escenario en el futuro cercano, como resultado de las políticas institucionales y las tendencias socio-económicas y climáticas actuales.

### **Patrones y cambios de cobertura y uso del suelo en Solferino y San Ángel**

La mayor cobertura inicial de terrenos en uso o abandonados (superior incluso a la de selvas) en San Ángel que en Solferino, puede atribuirse en parte a la mayor deforestación que se dio en San Ángel entre 1968 y 1972 (Cuadro 2, Figura 3), asociada al efecto combinado de la implementación de programas federales de fomento a la ganadería y a un gran aumento poblacional durante la década de los años sesenta (INEGI, 1994). El hecho de que las mayores pérdidas de selvas en Solferino fueron hacia terrenos en uso o abandonados, mientras que en San Ángel fueron hacia vegetación secundaria, también sugiere que la deforestación es más reciente en Solferino. Asimismo, el mayor aumento en la cobertura de selvas observado en San Ángel en comparación con Solferino, puede atribuirse en parte a la mayor deforestación previa en San Ángel y a su mayor cobertura relativa en 1979 de terrenos quemados, aunados al fracaso y abandono de las sociedades ganaderas y la regeneración de la vegetación tanto en los terrenos quemados como en los abandonados.

La similitud en los patrones de cobertura de Solferino y San Ángel en 2000, pese a las diferencias iniciales, se debe a que en ambas comunidades operaron los mismos procesos generales de ccus, principalmente la regeneración de selvas en terrenos quemados y la transición de terrenos abandonados a selvas (sucesión secundaria). Sin embargo, la magnitud de estos procesos fue mucho mayor en San Ángel que en Solferino (Figuras 3 y 4).

Aunque en ambas comunidades se dio un gran aumento neto en la cobertura de selvas, al excluir la transición de quema a selvas, la tasa de cambio de éstas fue ligeramente negativa en Solferino, lo cual indica que allí el uso del suelo favoreció ligeramente la deforestación,

mientras que en San Ángel favoreció la regeneración de selvas (Cuadro 1). Lo anterior es un ejemplo claro de la utilidad de calcular las tasas de cambio de cobertura con base en las pérdidas (transiciones hacia otras categorías) y las ganancias (transiciones de otras categorías), dado que permite evaluar la contribución relativa de las diferentes categorías al cambio de cobertura analizado.

Varios factores ayudan a explicar porqué el uso del suelo favoreció la regeneración de selvas en San Ángel y no en Solferino. Por un lado, la disposición longitudinal de la superficie de San Ángel determinó que el patrón de deforestación se diera primero en las cercanías del poblado; al abrirse el camino blanco hacia el oriente, el proceso continuó en ese sentido (Figura 2). En Solferino, con una disposición más cuadrada, la deforestación se dio primero alejada del pueblo, asociada a las sociedades ganaderas; tras el fracaso y abandono de éstas, el desmonte se concentró en los terrenos cercanos al poblado, permitiéndose la regeneración de las selvas en lugares más alejados. Por lo tanto, la mayor deforestación en Solferino puede deberse en parte a su mayor disponibilidad de selvas cercanas al poblado, comparado con San Ángel (Figura 5C).

Por otro lado, la categoría de terrenos en uso en 2000 mostró una diferencia importante en los patrones de cambio de uso del suelo entre estas dos comunidades. En Solferino, estos terrenos provienen en su mayoría del desmonte de selvas, provocando mayores niveles de deforestación. En San Ángel, en cambio, los terrenos en uso en 2000 provienen en su mayoría de áreas de vegetación secundaria, es decir, como producto de un uso más intensivo y del acortamiento del tiempo de barbecho o descanso de terrenos previamente cultivados.

### **Tendencias actuales y posibles ccus futuros**

Aunque una proyección de los resultados de cambio de cobertura obtenidos en este estudio sugeriría un escenario futuro más favorable a

la regeneración y conservación de las selvas en San Ángel que en Solferino, es necesario tener en cuenta la posible influencia de diversos factores en los posibles ccus futuros. Por ejemplo, la ausencia de una tradición forestal en San Ángel, la menor disponibilidad de selvas maduras en las cercanías del poblado y la presencia de un camino vecinal a lo largo de su territorio que facilite el acceso a la mayor parte del mismo, podrían redundar en una mayor presión humana sobre las selvas en San Ángel (especialmente dentro del Área de Protección Yum Balam) que en Solferino.

En términos generales, se vislumbran dos tendencias contrapuestas que podrían incidir en los ccus futuros en el área en estudio. Por un lado, la tendencia a la privatización y la venta de terrenos ejidales, ya sea para desarrollos turísticos, o para proyectos productivos destinados a abastecer los centros turísticos (Holbox, Cancún, Riviera Maya). Ejemplos de esto son la venta en ciernes de unas 17 000 ha del ejido Chiquilá-San Ángel para un desarrollo turístico (May, 2003) y el establecimiento de monocultivos de papaya Maradol en el municipio. Esta tendencia podría conducir a la deforestación de grandes áreas de selva para la construcción de infraestructura y para el cultivo de productos agropecuarios y forestales para abastecer al sector turístico (Torres, 2003).

Por otro lado, la tendencia climática a una mayor incidencia de huracanes de gran intensidad en la península de Yucatán, como posible resultado del calentamiento global, podría tener efectos contrapuestos sobre la deforestación. Si bien la remoción de parte de la biomasa vegetal que producen los huracanes generalmente no conllevan por sí mismos a la deforestación, hacen que las selvas sean más vulnerables a incendios forestales de gran extensión que podrían representar una pérdida considerable de cobertura boscosa. No obstante, los resultados de este estudio muestran que las selvas afectadas por incendios pueden recuperar sus características a nivel de paisaje en poco tiempo (21 años) –lo cual no necesariamente implica

la recuperación de la composición de especies y el funcionamiento de las selvas originales. A la postre, las grandes pérdidas económicas que ocasionan los huracanes de alta intensidad podrían favorecer la conservación de las selvas y ecosistemas costeros, directamente como zonas de amortiguamiento para el impacto de meteoros, así como de manera indirecta al desalentar la inversión en la zona en estudio para proyectos turísticos y productivos considerados como de alto riesgo.

## CONCLUSIONES

Contrario a la mayoría de estudios de ccus, en éste se documenta un gran aumento de selvas provenientes en su mayoría de áreas quemadas (categoría de cobertura dominante en 1979); esto resalta el papel de los incendios como agentes de cambio de cobertura, así como la capacidad de regeneración de las selvas. El calcular las tasas de cambio de cobertura en función de ganancias y pérdidas (desde y hacia otras categorías), permitió explorar los cambios netos debidos al uso del suelo. El cambio en el uso del suelo favoreció una ligera y relativamente reciente deforestación en Solferino, debida a una mayor disponibilidad de selvas para usos agropecuarios en las cercanías del poblado. En San Ángel se observó una mayor regeneración de selvas, lo cual puede deberse a una mayor deforestación previa al período en estudio, asociada a un gran aumento poblacional y a la implementación de programas federales de fomento a la ganadería, seguida del abandono de dichos programas. Los ccus futuros en la zona en estudio serán el resultado del balance entre diversos factores y tendencias institucionales, socioeconómicas, demográficas, ecológicas y climáticas. Esto resalta la importancia de desarrollar estudios interdisciplinarios que integren los diversos factores que inciden en los ccus desde una escala local hasta la global, y que permitan una planificación adecuada para el desarrollo económico y social basado en un uso sostenible de los recursos naturales.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los ejidatarios de las poblaciones de Solferino y San Ángel su hospitalidad y la valiosa información que nos brindaron; a los estudiantes de licenciatura del Instituto Tecnológico de Conkal: José Edgar Chim Canul, Jorge Felipe Aguilar Dzib, Juan Pablo Camal Sosa, Reina Zulema Navarrete Mapen y Julio Ramiro Chin, su gran ayuda en el campo; al Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. (CICY) el apoyo logístico y financiero y, en especial, al Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del CICY el apoyo técnico imprescindible para este estudio.

## REFERENCIAS

- Abizaid, Ch. and O. Coomes (2004), "Land use and forest fallowing dynamics in seasonally dry forests of the southern Yucatán Peninsula, Mexico", *Land Use Policy*, 21, pp. 71-84.
- Aide, T. M., J. K. Zimmerman, L. Herrera, M. Rosario and M. Serrano (1995), "Forest recovery in abandoned tropical pastures in Puerto Rico" *Forest Ecology and Management*, 77, pp. 77-86.
- Bray, D. B., E. A. Ellis. N. Armijo-Canto and C. T. Beck (2004), "The institutional drivers of sustainable landscapes: a case study of the 'Mayan Zone' in Quintana Roo, Mexico", *Land Use Policy*, 21, pp. 333-346.
- Careaga, L. (1979), *Lecturas básicas para la historia de Quintana Roo. Antología*, tomo 1, Fondo de Fomento Editorial del Gobierno del Estado de Quintana Roo, México.
- Cernea, M. M. (1983), "A social methodology for community participation in local investments. The experience of Mexico's PIDER program", The International Bank for Reconstruction and Development/WORLD BANK, Washington, D.C., U.S.A.
- Cochrane, M. A., A. Alencar, M. D. Schulze, C. M. Sousa Jr., D. Nepstad, P. Lefebvre and E. A. Davidson (1999), "Positive feedbacks in the fire dynamics of closed canopy tropical forests", *Science*, 284, pp. 1832-1835.
- Dachary, A. C. and S. M. Arnaiz (1990), *Quintana Roo: sociedad, economía, política y cultura*, UNAM, México.
- DOF (1994), "Decreto por el que se declara como área natural protegida, con carácter de área de protección de flora y fauna, la región conocida como Yum Balam, ubicada en el Municipio de Lázaro Cárdenas, estado de Quintana Roo", *Diario Oficial de la Federación* 6 de junio de 1994.
- Eva, H. and E. F. Lambin (2000), "Fires and land-cover change in the tropics: a remote sensing analysis at the landscape scale", *Journal of Biogeography*, 27, pp. 765-776.
- Everham III, E. M. and N. V. L. Brokaw (1996), "Forest damage and recovery from catastrophic wind", *The Botanical Review*, 62, pp. 114-185.
- FAO (1996), "Forest Resources Assessment 1990 – survey of tropical forest cover and study of change processes", *FAO Forestry Paper No. 130*, Food and Agriculture Organization, Roma.
- FAO (1997), *State of the World's Forests 1997*, Food and Agriculture Organization, Roma.
- FAO (2001), "Forest Resources Assessment 2000 Main Report", *FAO Forestry Paper 140*, Food and Agriculture Organization, Roma.
- Fort, O. (1979), *La colonización ejidal de Quintana Roo. Estudio de casos*, INI, México.
- Goldammer, J. G. (1999), "Forests on fire", *Science*, 284, pp. 1782-1783.
- Guariguata, M. R. and R. Ostertag (2000), "Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics", *Forest Ecology and Management*, 5292, pp. 1-22.
- Houghton, R. A., J. L. Hackler and K. T. Lawrence (1999), "The U.S. carbon budget: contribution from land-use change", *Science*, 285, pp. 574-578.
- INEGI (1994), *Lázaro Cárdenas, estado de Quintana Roo. Cuaderno Estadístico Municipal*, Edición Gobierno del Estado de Quintana Roo/ INEGI/ H. Ayuntamiento Constitucional de Lázaro Cárdenas, México.

- INEGI (2000), "Principales resultados por localidad", *xii Censo General de Población y Vivienda 2000*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- Kasperson, J. X., R. E. Kasperson and B. L. Turner II (1995), *Regions at risk: comparisons of threatened environments*, United Nations University Press, Tokyo.
- Lambin, E. F., B. L. Turner, H. J. Geista, S. B. Agbola, A. Angelsen, J. W. Bruce, O. T. Coomes, R. Dirzo, G. Fischer, C. Folke, P. S. George, K. Homewood, J. Imbernon, R. Leemans, X. Lin, E. F. Moran, M. Mortimore, P. S. Ramakrishnan, J. F. Richards, H. Skanes, W. Steffent, G. D. Stone, U. Svedin, T. A. Veldkamp, C. Vogel and J. Xu (2001), "The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths", *Global Environmental change*, 11 pp. 261-269.
- Lazcano-Barrero, M., M. Vázquez-Sánchez, I. March, H. Núñez, y M. Fuller (1995), *La región de Yalahau: propuesta para el establecimiento de una zona de conservación y desarrollo sostenible en el norte de Quintana Roo*, CECRN, Colegio de la Frontera Sur, México.
- Mas, J. F., A. Velázquez, J. Reyes Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, C. Alcántara, G. Bocco, R. Castro, T. Fernández and A. Pérez-Vega (2004), "Assessing land use/cover changes: a nationwide multirate spatial database for Mexico", *Internacional Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5 pp. 249-261.
- Masera, O. R., M. J. Ordóñez and R. Dirzo (1997), "Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long-term scenarios", *Climatic Change*, 35, pp. 265-295.
- May, J. (2003), "Proyectan 'otro Cancún' en área natural protegida", *El Universal*, jueves 18 de diciembre de 2003. [[http://www2.eluniversal.com.mx/pls/impreso/noticia.html?id\\_nota=51791&tabla=ESTADOS\\_h](http://www2.eluniversal.com.mx/pls/impreso/noticia.html?id_nota=51791&tabla=ESTADOS_h)]
- Merino, L. (2004), "Las políticas forestales de conservación en México y en Quintana Roo", Armijo N. y C. Llorens (eds.), *Uso, conservación y cambio en los bosques de Quintana Roo*, Universidad de Quintana Roo-CONACYT, Chetumal, Quintana Roo, México, pp. 15-42.
- Miranda, F. (1964), *Vegetación de la península Yucateca*, Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México.
- Ojima, D. S., K. A. Galvin and B. L. Turner II (1994), "The global impact of land-use change", *BioScience*, 44, pp. 300-304.
- Olmsted, I., J. A. González-Iturbide, L. M. Calvo, F. Remolina y J. Canela (2000), *Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Silvestre Yum Balam*, Mérida, Yucatán, Centro de Investigación Científica de Yucatán.
- Orellana, R., M. Balam, I. Banuelos, E. Garcia, J. A. Gonzalez-Iturbe, F. Herrea y J. Vidal (1999), "Evaluación climática (Climatología de la península de Yucatán)", García de Fuentes, A., J. Córdoba y Ordóñez, P. Ponce de León Ch. (eds.), *Atlas de Procesos Territoriales de Yucatán*, Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida.
- Pascarella, J. B., T. M. Aide, M. I. Serrano and J. K. Zimmerman (2000), "Land-use history and forest regeneration in the Cayey Mountains, Puerto Rico", *Ecosystems*, 3 pp. 217-228.
- Pickett, S. T. A. and P. S. White (1985), *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*, Academic Press, San Diego, California.
- Ramankutty, N. and J. A. Foley (1999), "Estimating historical changes in global land cover: croplands from 1700 to 1992", *Global Biogeochemical Cycles*, 13, pp. 997-1027.
- Sala, O. E., F. S. Chapin, J. J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber-Sanwald, L. F. Huenneke, R. B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D. M. Lodge, H. A. Mooney, M. Oesterheld, N. L. Poff, M. T. Sykes, B. H. Walker, M. Walker and D. H. Wall (2000), "Biodiversity: global biodiversity scenarios for the year 2100", *Science*, 287 pp. 1770-1774.
- SARH (1984), *Comisión del Plan Nacional Hidráulico 1984: Desarrollo Rural Integral de la Selva Lacandona*, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México.

- Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Estudios Municipales, Gobierno del Estado de Quintana Roo (1988), *Enciclopedia de los municipios de México, Los municipios de Quintana Roo*, Talleres Gráficos de La Nación, México.
- Schultz, G. (2001), *Vegetation and floristics of the El Edén Ecological Reserve, Quintana Roo, México*, tesis de Doctorado, University of California Riverside, EUA.
- Sousa, W. P. (1984), "The role of disturbance in natural communities", *Annual Review of Ecology and Systematics*, 15 pp. 353-91.
- Tolba, M. K. and O. A. El-Kholy (1992), *The World Environment 1972-1992: Two Decades of Challenge*, Chapman & Hall, Londres.
- Torre-Cuadros, M. A. y G. A. Islebe (2003), "Traditional ecological knowledge and use of vegetation in southeastern Mexico: a case study from Solferino, Quintana Roo", *Biodiversity and Conservation*, 12, pp. 2455-2476.
- Torres, R. (2003), "Linkages between tourism and agriculture in Mexico", *Annals of Tourism Research*, 30 pp. 546-566.
- Tulazyck, S. (1993), *Karst geomorphology and hydrology of the northeastern Yucatán Peninsula, Mexico*, tesis de Maestría, Department of Geology, Northern Illinois University, EUA.
- Turner II, B. L., S. Cortina-Villar, D. Foster, J. Geoghegan, E. Keys, P. Klepeis, D. Lawrence, P. Macario, S. Manson, Y. Ogneva-Himmelberger, A. B. Plotkin, D. Pérez-Salicurp, B. Schmook and C. Vance (2001), "Deforestation in the southern Yucatan peninsular region: an integrative approach", *Forest Ecology and Management*, 154 pp. 353-370.
- Uhl, C., R. Buschbacher and E. A. Serrão (1988), "Abandoned pastures in eastern Amazonia I. Patterns of plant succession", *Journal of Ecology*, 76, pp. 663-681.
- Velázquez, A., J. F. Mas, R. Mayorga Saucedo, J. L. Palacio, G. Bocco, G. Gómez Rodríguez, L. Luna González, I. Trejo, J. López García, M. Palma, A. Peralta, J. Prado Molina y F. González Medrano (2001), "El Inventario Forestal Nacional 2000", *Ciencias*, 64, pp. 12-19.
- Vitousek, P. M., H. A. Mooney, J. Lubchenco and J. M. Melillo (1997), "Human domination of Earth's ecosystems", *Science*, 277, pp. 494-499.
- World Bank (1995), *Mexico: Resource Conservation and Forest Sector Review*, 13114-ME, The World Bank, SARH, Washington, D. C.

Anexo 1. Matriz de transición entre categorías de cobertura, A) en el Área total en estudio, B) en Solferino, C) en San Ángel. Para cada categoría (filas), se presenta la superficie en hectáreas y el porcentaje del área total (en paréntesis) que transitó a cada una de las categorías de cobertura (columnas) entre 1979 y 2000. Los números en negrilla representan la permanencia: superficie (y porcentaje) clasificado en la misma categoría en ambas fechas. La categoría de quema sólo se registró en 1979. Aban: abandonado; VegSec: vegetación secundaria

| <b>A) Área total en estudio</b> |                    |                   |                   |                   |                     |                      |
|---------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|----------------------|
| Categorías en 1979              | Categorías en 2000 |                   |                   |                   |                     |                      |
|                                 | EnUso              | Aban              | VegSec            | Bajos             | Selvas              | Total 1979           |
| EnUso                           | 181.92<br>(0.65)   | 128.49<br>(0.46)  | 174.50<br>(0.63)  | 4.56<br>(0.02)    | 307.12<br>(1.10)    | 796.59<br>(2.86)     |
| Aban                            | 501.12<br>(1.80)   | 464.43<br>(1.67)  | 917.23<br>(3.30)  | 11.48<br>(0.04)   | 1827.73<br>(6.57)   | 3721.99<br>(13.38)   |
| VegSec                          | 21.07<br>(0.08)    | 17.46<br>(0.06)   | 111.20<br>(0.40)  | 0                 | 116.0<br>(0.42)     | 265.73<br>(0.96)     |
| Quema                           | 36.31<br>(0.13)    | 148.72<br>(0.53)  | 451.30<br>(1.62)  | 106.11<br>(0.38)  | 10346.37<br>(37.19) | 11088.80<br>(39.86)  |
| Bajos                           | 5.09<br>(0.02)     | 1.24<br>(0.00)    | 2.09<br>(0.01)    | 969.70<br>(3.49)  | 138.15<br>(0.50)    | 1116.27<br>(4.01)    |
| Selvas                          | 457.62<br>(1.64)   | 460.96<br>(1.66)  | 447.06<br>(1.61)  | 34.68<br>(0.12)   | 9431.60<br>(33.90)  | 10831.91<br>(38.93)  |
| Total 2000                      | 1203.13<br>(4.32)  | 1221.30<br>(4.39) | 2103.37<br>(7.56) | 1126.52<br>(4.05) | 22166.97<br>(79.68) | 27821.29<br>(100.00) |
| <b>B) Solferino</b>             |                    |                   |                   |                   |                     |                      |
| Categorías en 1979              | Categorías en 2000 |                   |                   |                   |                     |                      |
|                                 | EnUso              | Aban              | VegSec            | Bajos             | Selvas              | Total 1979           |
| EnUso                           | 97.66<br>(0.63)    | 64.35<br>(0.41)   | 83.69<br>(0.54)   | 0                 | 110.06<br>(0.71)    | 355.76<br>(2.29)     |
| Aban                            | 105.96<br>(0.68)   | 62.38<br>(0.40)   | 352.51<br>(2.27)  | 0.83<br>(0.01)    | 695.96<br>(4.48)    | 1217.65<br>(7.83)    |
| VegSec                          | 10.57<br>(0.07)    | 12.31<br>(0.08)   | 103.52<br>(0.67)  | 0                 | 94.29<br>(0.61)     | 220.68<br>(1.42)     |
| Quema                           | 0.21<br>(0.00)     | 7.57<br>(0.05)    | 129.69<br>(0.83)  | 31.45<br>(0.20)   | 5210.39<br>(33.52)  | 5379.31<br>(34.60)   |
| Bajos                           | 0                  | 0                 | 0                 | 259.29<br>(1.67)  | 17.26<br>(0.11)     | 276.55<br>(1.78)     |
| Selvas                          | 428.44<br>(2.76)   | 362.57<br>(2.33)  | 272.93<br>(1.76)  | 10.59<br>(0.07)   | 7020.49<br>(45.16)  | 8095.03<br>(52.07)   |
| Total 2000                      | 642.84<br>(4.14)   | 509.18<br>(3.28)  | 942.34<br>(6.06)  | 302.16<br>(1.94)  | 13148.45<br>(84.58) | 15544.98<br>(100.00) |
| <b>C) San Ángel</b>             |                    |                   |                   |                   |                     |                      |
| Categorías en 1979              | Categorías en 2000 |                   |                   |                   |                     |                      |
|                                 | EnUso              | Aban              | VegSec            | Bajos             | Selvas              | Total 1979           |
| EnUso                           | 84.26<br>(0.76)    | 64.13<br>(0.58)   | 90.81<br>(0.82)   | 4.56<br>(0.04)    | 197.06<br>(1.78)    | 440.83<br>(3.99)     |
| Aban                            | 395.16<br>(3.57)   | 402.05<br>(3.64)  | 564.72<br>(5.11)  | 10.65<br>(0.10)   | 1131.77<br>(10.24)  | 2504.34<br>(22.65)   |
| VegSec                          | 10.50<br>(0.09)    | 5.16<br>(0.05)    | 7.68<br>(0.07)    | 0                 | 21.71<br>(0.20)     | 45.05<br>(0.41)      |
| Quema                           | 36.10<br>(0.33)    | 321.61<br>(2.91)  | 141.15<br>(1.28)  | 67.15<br>(0.61)   | 4180.06<br>(37.80)  | 4746.06<br>(42.92)   |
| Bajos                           | 5.09<br>(0.05)     | 1.24<br>(0.01)    | 2.09<br>(0.02)    | 601.07<br>(5.44)  | 114.55<br>(1.04)    | 724.03<br>(6.55)     |
| Selvas                          | 29.17<br>(0.26)    | 99.85<br>(0.90)   | 146.53<br>(1.33)  | 24.09<br>(0.22)   | 2297.53<br>(20.78)  | 2597.17<br>(23.49)   |
| Total 2000                      | 560.28<br>(5.07)   | 894.04<br>(8.09)  | 952.97<br>(8.62)  | 707.51<br>(6.40)  | 7942.68<br>(71.83)  | 11057.49<br>(100.00) |