Nº 59, enero - junio de 2013, pp. 43 - 55.
ISSN: 0213 - 4691. eISSN: 1989 - 9890.
DOI: 10.14198/INGEO2013.59.03

Investigaciones Geográficas
Instituto Interuniversitario de Geografía
Universidad de Alicante

EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE VEGETACIÓN Y USO DE SUELO DE LA CUENCA RÍO CALIENTE, JALISCO, MÉXICO.

Ramírez-Sánchez H.U., García-Guadalupe M.E. y Villalpando-Piña G.
Instituto de Astronomía y Meteorología
Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías
Universidad de Guadalajara, México

RESUMEN

El territorio mexicano ha sufrido un proceso acelerado de degradación de bosques con transformación en áreas de uso agropecuario o urbano. Los estudios de procesos dinámicos del uso del suelo son importantes y necesarios, ya que proporcionan información de la degradación producto de factores antrópicos. El objetivo de este trabajo fue identificar y cuantificar la variación espacial de los tipos de vegetación y usos de suelo en la Cuenca Río Caliente del Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera de 1990 a 1999. Se clasificaron escenas del satélite Landsat TM 1990 y Landsat ETM 1999. Se generaron mapas de vegetación y uso del suelo y se sobrepusieron para obtener un mapa de cambios entre 1990 y 1999. Las clases que perdieron área en 1999 con respecto a 1990 fueron el bosque de encino-pino 58%, bosque de pino-encino 51%, pastizal inducido 23% y vegetación secundaria 8%. Las clases que ganaron superficie en 1999 con respecto a 1990 fueron suelo desnudo 119%, zona agrícola 83%, encino 70% y pino 50%. Esto muestra la tendencia hacia la consolidación de rodales puros desplazando a las mezclas. La tasa de cambio anual para encino fue de 6.27%, pino 4.83%, pino-encino -7.51%, encino-pino -8.92%, vegetación secundaria -0.75%, pastizal inducido -2.65%, zona agrícola 7.20% y suelo desnudo 9.30%. Los cambios pueden atribuirse a diversas causas como: incendios, apertura de caminos, sobreexplotación de recursos, expansión ganadera, extracción de madera y quema intencional para cambio de uso de suelo; esto debido a los problemas de tenencia de la tierra.

Palabras clave: Área Natural Protegida "La Primavera", percepción remota, sistemas de información geográfica, vegetación y uso de suelo.

ABSTRACT

Space-temporary evaluation of vegetation and land use of the "Rio Caliente", Jalisco (Mexico)

The Mexican territory has undergone a rapid transformation from forest degradation in areas of agricultural or urban use. Studies of dynamic processes of land use are important and necessary, as they provide information on the degradation product of human factors. The aim of this study was to identify and quantify the spatial variation of vegetation types and land uses in the "Rio Caliente" Basin in the Protection Area of Flora and Fauna in the forest "La Primavera" during 1990 to 1999. Scenes were classified Landsat TM 1990 and Landsat ETM 1999. Vegetation maps were generated and land use and overcame to get a map of changes between 1990 and 1999. Classes that area lost in 1999 compared to 1990 were the oak-pine forest 58%, pine-oak forest 51%, induced pasture 23% and secondary vegetation 8%. Classes surface won in 1999 compared to 1990 were 119% bare soil, 83% agricultural area, 70% oak and 50% pine. This shows the trend toward consolidation of pure stands displacing mixtures. The annual rate of change was 6.27% oak, 4.83% pine, -7.51% pine-oak, -8.92% oak-pine, -0.75% secondary vegetation, -2.65%, induced pasture, 7.20% agricultural area and 9.30% bare soil. The changes can be

Fecha de recepción: 19 de noviembre de 2012. **Fecha de aceptación: 11 de junio de 2013.**

attributed to various causes as fire, opening roads, overexploitation of resources, livestock expansion, logging and intentional burning for land use change, and this because of the problems of land tenure.

Keywords: Protected Area "La Primavera", remote sensing, geographic information systems, vegetation and land use.

1. INTRODUCCIÓN

La cobertura y el uso del suelo son dos elementos que evidencian la transformación de la superficie terrestre por la acción humana la cual es uno de los principales agentes transformadores de los ecosistemas. En el 2000, los bosques y selvas de América Latina se redujeron en más de 50%; Brasil, México y Costa Rica sufrieron las mayores alteraciones (Guerra y Ochoa, 2006; Reyes *et al.*, 2006; Castelán *et al.*, 2007). Los factores asociados con estas alteraciones son múltiples y variados (Geist y Lambin, 2002); algunos ejemplos, son la creación de infraestructura, la presión demográfica, la tenencia de la tierra y la intensificación del uso del suelo. De modo que, caracterizar la cobertura terrestre, el uso del suelo y sus cambios espacio-temporales, es fundamental para entender y predecir la dinámica de los ecosistemas, así como para diseñar las mejores políticas y estrategias de conservación y manejo sostenible (Ojima *et al.*, 1994). La magnitud de los cambios de cobertura es importante; en el mundo, desde 1850, 6 millones de km^2 de bosques se han convertido en cultivos (Ramankutty y Foley, 1999). Según la FAO (1996, 2001), la tasa (ha $año^{-1}$) global de cambio de cobertura boscosa fue -9.9 millones en la década de 1980 y -9.4 millones en la de 1990. Las mayores tasas (ha $año^{-1}$) de deforestación en la década de 1990 fueron: América Latina y el Caribe, -4.2 millones, -0.51% por año; Asia-Pacífico, -2.3 millones, -0.79% por año; África, -2.1 millones, -0.34% por año (Vitousek *et al.*, 1997). Las tasas de deforestación varían entre 0.51% (Mas *et al.*, 2004) y 2% anual (Masera *et al.*, 1997; FAO, 2001; Velázquez *et al.*, 2001). Las regiones con altas tasas de deforestación (> 2% anual) corresponden a sitios de colonización y extensión agropecuaria, mientras que las tasas bajas se relacionan a áreas protegidas (Bray *et al.*, 2004).

El territorio mexicano ha sufrido un proceso acelerado de degradación de bosques con transformación frecuente de bosques en áreas de uso agropecuario o urbano (Landa *et al.*, 1998; Velázquez *et al.*, 2002a; 2002b; Salazar *et al.*, 2004). La disminución de vegetación puede reducir la recarga de mantos freáticos, aumentar las tasas de erosión y de azolve, así como incrementar las inundaciones y cambiar las condiciones climáticas (Masera, 1996). Los estudios de procesos dinámicos del uso del suelo son importantes y necesarios, ya que proporcionan información de las tendencias de degradación, producto de factores antrópicos (Kaimowitz y Angelsen, 1998; Velázquez *et al.*, 2002a; Priego *et al.*, 2004; Guerra y Ochoa, 2006).

En el Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera (APFFLP) el acelerado crecimiento poblacional y las crecientes expectativas de desarrollo, constituyen una enorme presión sobre los recursos naturales; esto se traduce en la intensificación de cultivos en áreas agrícolas y su expansión hacia zonas marginales y de bajo potencial; además de, estimular el sobrepastoreo y la extracción de leña, con la consecuente deforestación. Estos manejos ambientales se reflejan en la pérdida de recursos naturales y favorecen la ocurrencia de desastres con cuantiosos daños materiales y pérdidas humanas (Vitousek *et al.*, 1997; Mateo y Ortiz, 2001).

El objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios espaciales y temporales de la vegetación y los usos del suelo en la Cuenca Río Caliente del APFFLP, Jalisco, durante los años 1990 y 1999 mediante imágenes de satélite Landsat.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Sitio del estudio

La Cuenca Río Caliente se ubica en el APFFLP bosque localizado al poniente de la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México (Figura 1), con coordenadas extremas 639,632.5 a 655,336.8 y 2'276,989.1

a 2'290,979.4, según la proyección UTM zona 13 Norte y WGS84. Presenta dos tipos de clima: templado subhúmedo C(w1)(w) y semicálido subhúmedo (A)C(w1)(w); ambos con lluvias en verano e invierno y precipitaciones anuales entre 800 y 1000 mm (Curiel, 1994); 77 % de las lluvias se clasifican como torrenciales y erosivas. La temperatura media anual es 20.6±6.5º C, siendo el mes más frío enero y el más cálido junio. El promedio anual de humedad relativa es 63 %. Los vientos dominantes provienen del suroeste con velocidad máxima de 53 km h^{-1}. Los días despejados se presentan con mayor frecuencia en invierno y primavera (CONANP, 2000).

Fisiográficamente la cuenca se ubica en la Sierra La Primavera, localizada sobre el eje neovolcánico trasmexicano. Por sus características, la Sierra La Primavera es uno de los relieves volcánicos con más diversidad en México, donde se combinan domos anulares, mesetas, cerros y montañas que siguen las líneas de fractura de la caldera volcánica y colinas irregulares modeladas por erosión. Si bien, estas formas tienen un origen volcánico, actualmente presentan influencia de fuerzas fluviales y tectónicas. Las máximas elevaciones son el Cerro Planillas y el Cerro San Miguel situados en la parte sur. Hacia el poniente, el relieve está constituido por lomeríos y colinas. Los valles localizados alrededor son planicies originadas por deposiciones de espumas aportadas por la formación La Primavera; la variación fisiográfica se encuentra entre 1400 a 2200 m (CONANP, 2000).

De acuerdo a la clasificación FAO/UNESCO, el suelo está representado por regosol y litosol; el regosol conforma la mayoría de la cuenca y es producto del intemperismo de la toba, pómez y riolita; en menor proporción se encuentra el litosol, resultante de procesos erosivos. El contenido de materia orgánica es < 2 %, lo que indica que no existe el suelo típico de bosque, y además < 15 % arcilla. Los valores de Ca y Mg son limitados, propiciando un pH < 5.5. (CONANP, 2000).

Los patrones de drenaje son de tipo dendrítico y subdendrítico, con una densidad de 2.3 corrientes por km^2 y escurrimiento de 100 a 200 mm anual (Curiel, 1994). Los ríos más importantes son río Caliente y río Salado. Los alumbramientos naturales de agua se dan en la zona de Agua Brava, donde nace el río Salado con temperatura de 70 a 80º C resultado de los remanentes de volcanismo. En la región hay 1.158 pozos, 57 manantiales y 452 norias para las necesidades humanas e industriales (CONANP, 2000).

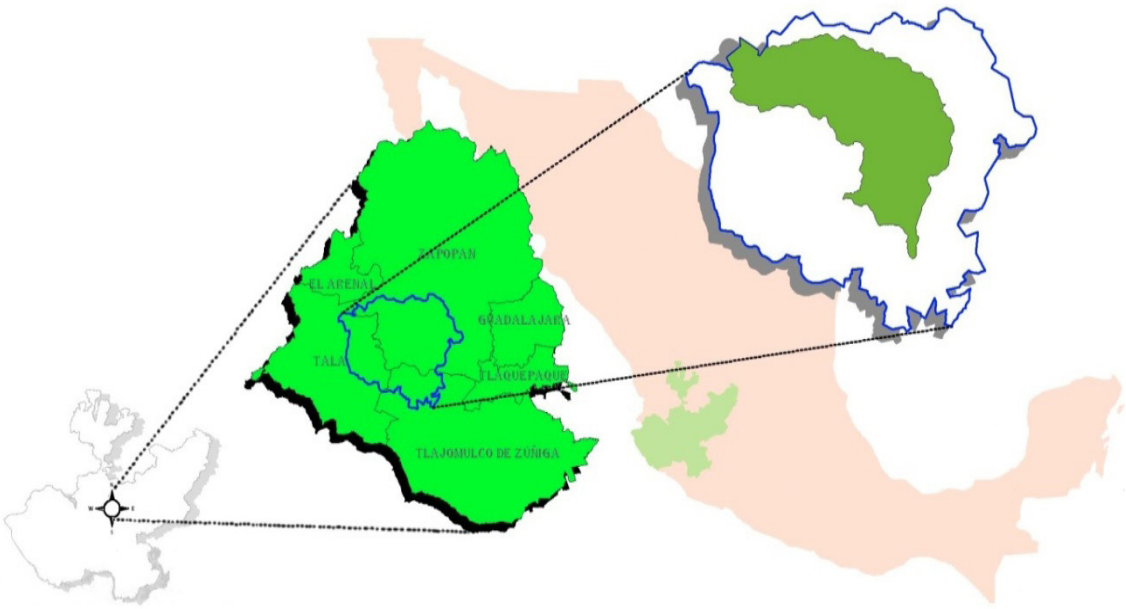

Figura 1. Mapa de ubicación de la Cuenca Río Caliente, Jalisco, México.

Según Rzedowski (1978) y Reyna (2004), en el área de estudio existen cinco tipos de vegetación los cuales corresponden a: Bosque de Encino (*Quercus*); Bosque de Pino (*Pinus*), Bosque Tropical Caducifolio, Vegetación Riparia y Vegetación Secundaria o de sitios alterados, así como, dos comunidades vegetales (la rupícola y la ruderal) que se desarrollan dentro de los diferentes tipos de vegetación antes mencionados.

2.2. Tenencia de la tierra

Un grave problema que presenta el APFFLP es la tenencia de la tierra, ya que dentro del polígono que la comprende el 50% de la superficie es propiedad privada, el 35% es propiedad ejidal y/o comunal y el 15% restante es propiedad del gobierno del Estado. Aunque la declaratoria de Área Natural protegida con carácter de Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera del 7 de junio de 2000 publicada en el Diario Oficial de la Federación prohíbe el cambio de uso de suelo a otras actividades, es de interés de los propietarios tanto privados como ejidales y/o comunales obtener provecho a sus tierras, provocando modificaciones al entorno natural (DOF 2000 y CONANP, 2000).

La región presenta una afectación por el crecimiento de la mancha urbana de Guadalajara, cuyos límites ya inciden en el área boscosa con asentamientos irregulares producto de la venta de terrenos ejidales. En los años cincuenta y sesenta se realizan ampliaciones ejidales con un total de 13 ejidos con más de 2,644 beneficiarios dentro del bosque y sus límites. En la década de los sesenta se inician fraccionamientos urbanos y se observan asentamientos aislados como rancherías y casas campestres. Asimismo, han sido varios los intentos por establecer núcleos campestres al interior del bosque, tanto de propiedad privada como ejidal. Cerca de 0.5% de superficie del APFFLP se encuentra ocupada por construcciones irregulares (CONANP, 2000).

Después de los fraccionamientos, la segunda causa de afectación son los campos de cultivo que han sustituido al bosque sobre todo en los extremos oeste y norte. Además, la ganadería extensiva y sin control; y la recreación en el lado norte con balnearios y al oriente con actividades de ciclismo, motociclismo y campismo también han afectado (CONANP 2000).

2.3. Obtención y procesamiento de imágenes

El APFFLP es una de las zonas protegidas importantes del occidente de México que, dada su colindancia con la Zona Metropolitana de Guadalajara, proporciona una gran cantidad de servicios ambientales; sin embargo, se encuentra sujeta a intensos procesos de deterioro y cambio de uso del suelo. Con el objetivo de evaluar los cambios de cobertura boscosa y los usos del suelo de la cuenca Río Caliente del APFFLP, se generaron mapas de vegetación y usos de suelo bajo un mismo sistema de clasificación, orientado a obtener un análisis comparativo.

Para realizar el análisis comparativo se utilizaron las imágenes de satélite LANDSAT TM 1990 (P029R46_5T900307 del 03/07/90) y ETM 7 1999 ("EDC" del 03/11/99) proporcionadas por la Dirección General de Ecología y Fomento Agropecuario del H. Ayuntamiento Constitucional de Zapopan, Jalisco. La clasificación de la vegetación se basó en la realizada por Rzedowski (1978) y Reyna (2004), siendo imposible separar el bosque tropical caducifolio y la vegetación riparia debido a sus bajas representaciones en la cuenca, a la resolución utilizada y a que se encuentran mezcladas con el bosque de encino. Para la vegetación y los usos de suelo no forestales se utilizaron las siguientes clases: pastizal inducido, zona agrícola, suelo desnudo.

Se recopiló la información de la cuenca y se rectificó su configuración enfatizando los tipos de vegetación y los usos del suelo; además, se delimitó la cuenca con un buffer de 700 m lineales a partir del parteaguas. La información se almacenó en una base de datos de un SIG para su posterior análisis. Las imágenes satelitales fueron procesadas con los programas Arc View **3.3** y Er Mapper 6.4 aplicándose clasificación no supervisada y supervisada con campos de entrenamiento. Para la clasificación no supervisada se obtuvieron dos mosaicos de información de tipos de vegetación y usos del suelo (1990 y 1999).

Las escenas fueron rectificadas mediante una función de transformación utilizando un ajuste cuadrático de segundo grado mediante el vecino más cercano (Eastman, 1992). Posteriormente se hizo el corte correspondiente al área de estudio en las dos escenas, obteniendo dos cortes (1990 y 1999). Las escenas fueron unidas al concluir el proceso de clasificación de las imágenes. Se generaron compuestos en color para el análisis visual de las escenas, seleccionando aquellos en los que se obtuvo mejor reconocimiento de los tipos de vegetación (Chuvieco, 1995). Se realizó la clasificación no supervisada para detectar las firmas espectrales de las diferentes clases de vegetación y usos de suelo presentes en la cuenca. Para la clasificación supervisada se realizaron cinco visitas al área de estudio para obtener información de campo acerca de la vegetación y su localización; se identificó el mayor número y variedad posible de puntos de verificación. Se registraron 21 campos de entrenamiento distribuidos en toda la cuenca y que representaran cada uno de los diferentes tipos de vegetación y usos de suelo. Los campos de entrenamiento fueron seleccionados de acuerdo a las condiciones y representatividad de las comunidades vegetales y usos de suelo identificados en el área de estudio y a la accesibilidad a dichos puntos (Figura 2 y Tabla 1). Se obtuvieron cartas de vegetación y uso de suelo con 9 clases (Tabla 2). La cuantificación de las superficies y de los cambios ocurridos se realizó mediante un proceso de sobreposición utilizando los mapas correspondientes a 1990 y 1999, lo que generó un mapa de cambios.

Tabla 1. Registros de salidas de campo y campos de entrenamiento.

No. de salida	Nombre del predio	Campos de entrenamiento
1	Intersección arroyo a Tala	1
1	Hora de comida	2
1	Torres de transmisión	3
2	Ejido Emiliano Zapata	4
2	Entre dos escurrimientos	5
2	Zona urbana	6
3	Planillas uno	7
3	Zona agrícola Los tomates	8
3	Rodal de pino	9
3	Guayabo Colorado	10
3	Faldas del Cerro de Planillas	11
4	Torre de obs. Nejahuete	12
4	Punto dos	13
4	*Quercus lanceolata*	14
4	Geotérmia Cerritos Colorados	15
4	Cinco	16
4	Zona agrícola	17
4	Cerro del Collí	18
5	Arroyo los Guayabos	19
5	Balneario la Primavera	20
5	Río Caliente	21

Tabla 2. Clasificación de vegetación y usos de suelos para la cuenca Río Caliente del APFFLP.

Clase	Siglas
Encino	ENC
Pino	PIN
Pino encino	PIN-ENC
Encino pino	ENC-PIN
Vegetación secundaria	VS
Pastizal inducido	PI
Zona agrícola	ZA
Suelo desnudo	SD

Finalmente utilizando el programa Excel se cuantificaron las superficies ocupadas por cada clase, el número de fragmentos, su tamaño en hectáreas y el tamaño mínimo de fragmentos en metros durante 1990 y 1999 para la Cuenca Río Caliente. Además, se calculó la tasa de cambio con la fórmula FAO, 1995:

$$T_c = \left\{ \left[1 - \left(\frac{S_1 - S_2}{S_1} \right) \right]^{1/T} - 1 \right\} \times 100\%$$

donde:

T_c = % Tasa de cambio,
S_1 = Superficie de la cobertura de uso de suelo en el tiempo inicial (ha),
S_2 = Superficie de la cobertura de uso de suelo en el tiempo final (ha),
T = amplitud del periodo analizado (año).

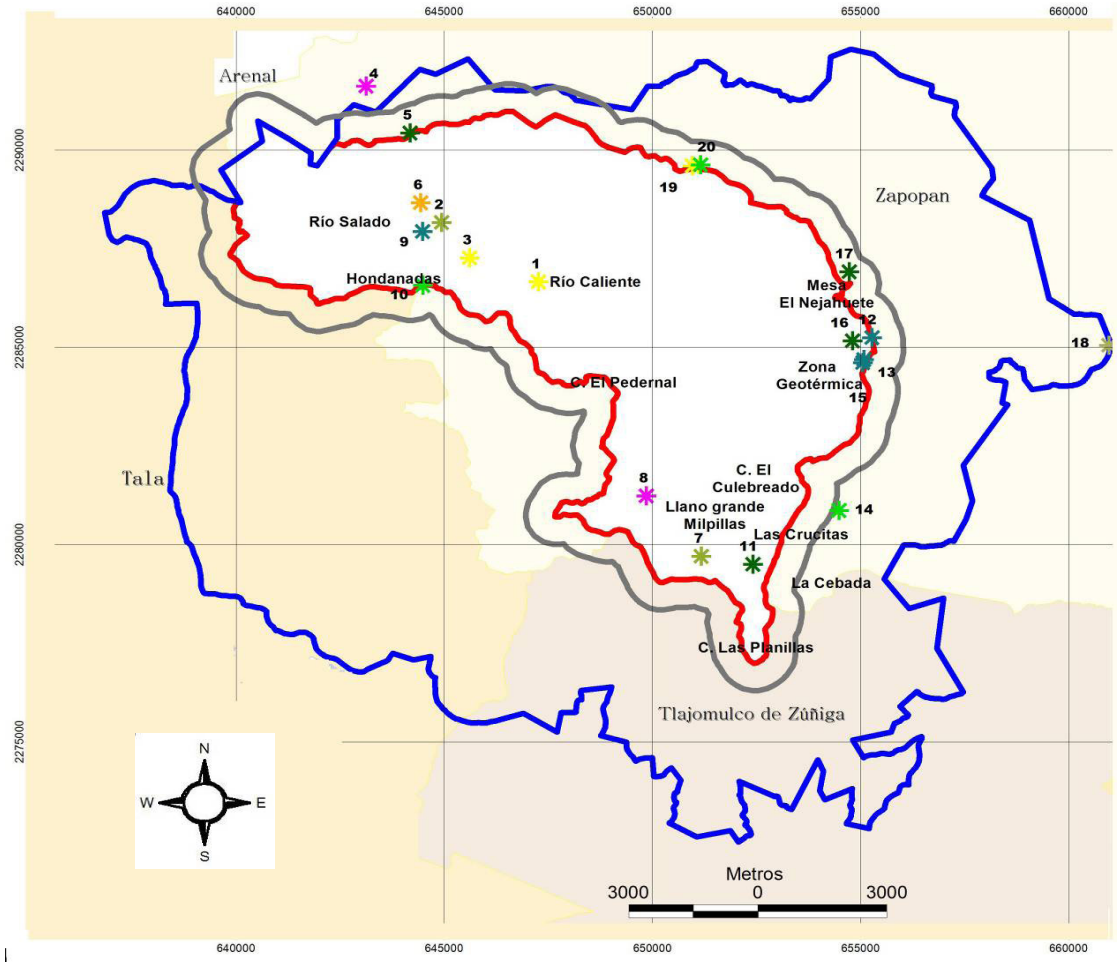

Figura 2. Campos de entrenamiento para la clasificación supervisada de la cuenca Rio Caliente, Jalisco.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se generaron dos mapas supervisados de la cobertura vegetal y los usos del suelo de la Cuenca Río Caliente en el APFFLP para los años 1990 (Figura 3) y 1999 (Figura 4). Los mapas se generaron a partir de sus respectivas clasificaciones no supervisadas, identificándose los 8 tipos de clases descritas en el Tabla 2. Además, se generaron mapas para cada una de las coberturas vegetales y usos de suelo para los dos periodos analizados.

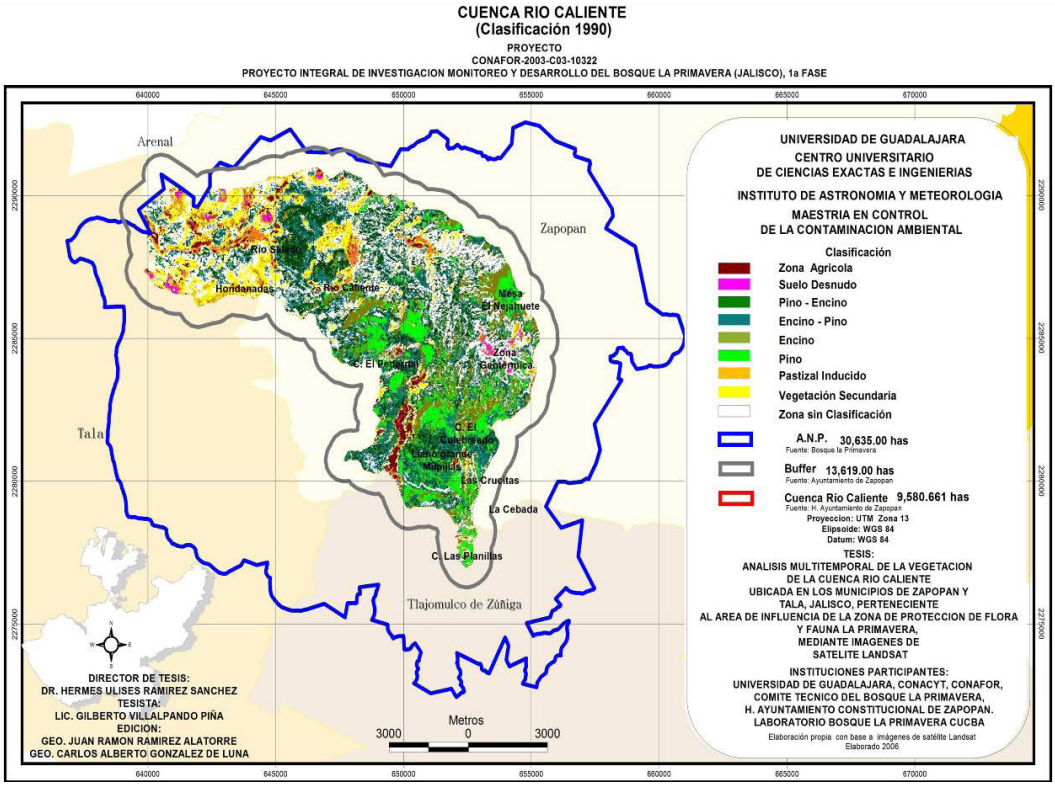

Figura 3. Clasificación supervisada de 1990 de los tipos de vegetación y usos de suelo en la Cuenca Río Caliente, Jalisco.

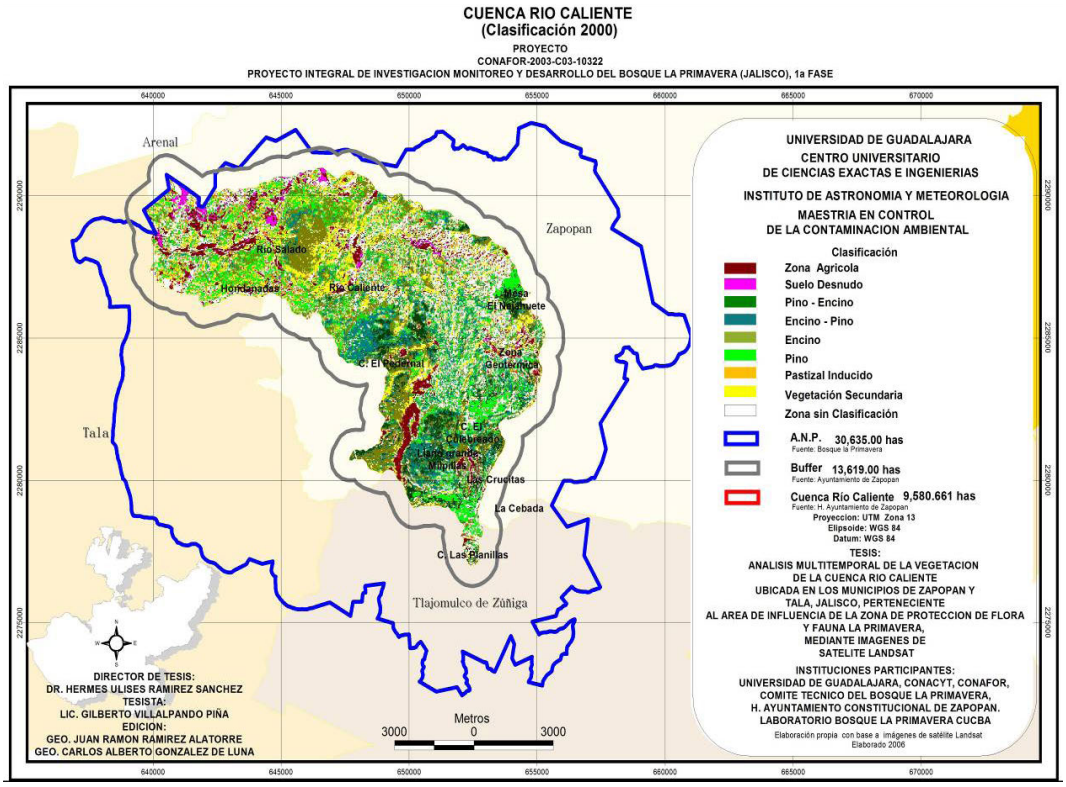

Figura 4. Clasificación supervisada de 1999 de los tipos de vegetación y usos de suelo en la Cuenca Río Caliente, Jalisco.

Con el mapa de delimitación del polígono del APFFLP se calculó una superficie de 30,635 ha, mientras que el buffer de la zona de estudio (Cuenca Río Caliente más 700 m lineales a partir del parteaguas) presentó un área de 13.620 ha (equivalente a 44.5%). Para la Cuenca de Río Caliente se calculó un área de 9.591 ha (equivalente a 31.3%).

La Tabla 3 muestra las áreas dominadas por cada tipo de cobertura vegetal y de usos de suelo, su representación porcentual, las diferencias de áreas entre 1990 y 1999 con sus respectivos porcentajes de cambios y las tasas de cambio anual para cada clase.

Tabla 3. Áreas y porcentajes de cobertura de vegetación y uso de suelo, cambios de áreas entre 1990-1999 y tasas de cambio anual de cada clase de la cuenca Río Caliente, Jalisco

	1990		1999		Cambio 1990-1999		Tasa De Cambio Anual
Clase	Total (Ha)	%	Total (ha)	%	ha	%	1990-1999 (%)
Enc	1507.06	15.71	2604.48	27.16	1097.42	72.82	6.27
Pin	1375.28	14.34	2102.26	21.92	726.97	52.86	4.83
Pin-Enc	1614.19	16.83	799.41	8.34	-814.78	-50.48	-7.51
Enc-Pin	2522.66	26.30	1088.37	11.35	-1434.30	-56.86	-8.92
VS	1275.14	13.30	1191.68	12.43	-83.46	-6.54	-0.75
PI	621.02	6.48	487.68	5.08	-133.34	-21.47	-2.65
ZA	523.17	5.45	977.76	10.19	454.58	86.89	7.20
SD	152.48	1.59	339.37	3.54	186.89	122.57	9.30
Total	13619.538	100.00	13619.538	100.00			

La Figura 5 presenta un comparativo de la superficie que ocupaba cada tipo de vegetación y uso del suelo entre 1990 y 1999.

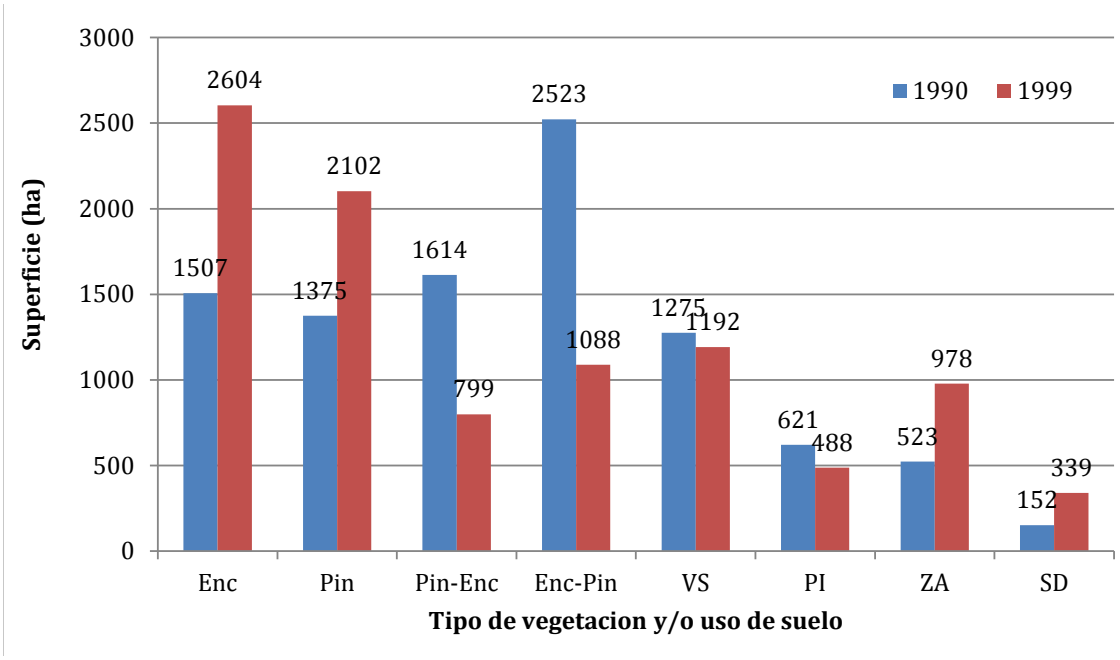

Figura 5. Comparativo de los tipos de vegetación y usos de suelo en la Cuenca Río Caliente, Jalisco en la década 1990-1999.

Para 1990, en la Cuenca Río Caliente el uso de suelo forestal era 73.1%, conformado por encino 15.7%, pino 14.3%, pino–encino 16.8% y encino–pino 26.3%; el uso de suelo no forestal representó 26.9%

(vegetación secundaria 13.3%, pastizal inducido 6.5%, zona agrícola 5.5% y suelo desnudo 1.6%), mientras que para 1999, el uso de suelo forestal era 68.8%, conformado por encino 27.2%, pino 21.9%, pino–encino 8.3% y encino–pino 11.4%; el uso de suelo no forestal representó 31.2% (vegetación secundaria 12.4%, pastizal inducido 5.1%, zona agrícola 10.2% y suelo desnudo 3.5%).

En el análisis espacio-temporal entre los años 1990 y 1999 se estimaron las siguientes categorías de vegetación y usos de suelo (Tabla 3):

- El bosque de encino en 1990 presentó un área de 1,507 ha, disperso a lo largo de toda la cuenca; para 1999 presentó 2.604 ha teniendo una ganancia de 1,097 ha que representa 72.8% superior a 1990, logrando conformar rodales de mayor pureza.
- En el caso del bosque de pino en 1990 su área era de 1375 ha, principalmente como rodales puros y en zonas como los Cerros el Culebreado, el Pedernal y Mesa del Nejahuete; para 1999 presentó un área de 2,102 ha con una ganancia de 727 ha que representa 52.9% más en relación a 1990, logrando una distribución más amplia en la cuenca.
- El bosque de pino-encino presentó en 1990 un área de 1,614 ha distribuidas homogéneamente en toda la cuenca; para 1999 presentó un área de 799 ha con una pérdida de 815 ha que representa -50.5% con relación a 1990, restringiéndose a las áreas de los Cerros el Culebreado, el Pedernal y Mesa el Nejahuete.
- El bosque de encino-pino presentaba para 1990 un área de 2,523 ha distribuidas de forma homogénea en toda la cuenca; para 1999 presentó un área de 1.088 ha con una pérdida de 1.434 ha que representan -56.9% con relación a 1990, restringiéndose a las áreas del Cerro el Culebreado y Cerro el Pedernal.
- La vegetación secundaria presentó para 1990 un área de 1.275 ha en zonas restringidas del noroeste de la cuenca en las localidades de Río Salado, Hondonadas y Río Caliente; para 1999 presentó un área de 1,192 ha con una pérdida de 83.5 ha que representan -6.5% con respecto a 1990, con importante recuperación en Hondonadas y Río Salado.
- El pastizal inducido presentó en 1990 un área de 621 ha ubicadas en la parte baja de la cuenca; para 1999 presentó 488 ha con una pérdida de 133 ha que representa -21.5% con respecto a 1990, distribuida en manchones discontinuos en la cuenca.
- La zona agrícola presentó en 1990 un área de 523 ha localizada en la parte baja de la cuenca (localidad del Río Salado y Llano Grande); para 1999 presentó un área de 978 ha consolidando su presencia en las áreas de Río Salado, Río Caliente y Llano Grande con una ganancia de 455 ha que representa 86.9% con respecto a 1990.
- El suelo desnudo presentó en 1990 un área de 152 ha representadas en la parte baja de la cuenca en los márgenes del Río Salado, Río Caliente, Llano Grande y Zona Geotérmica; para 1999 presentó un área de 339 ha con una ganancia de 187 ha que representan 122.6% con respecto a 1990, logrando su consolidación en las áreas señaladas.

La tasas de cambio anual fueron para encino 6.27%, pino 4.83%, pino-encino -7.51%, encino-pino -8.92%, vegetación secundaria -0.75%, pastizal inducido -2.65%, zona agrícola 7.20% y suelo desnudo 9.30% (Figura 6).

El área en estudio incluyendo el buffer fue de 13,620 ha, equivalentes a 44% del total del APFFLP donde la superficie forestal estuvo dominada en la década de 1990 por el encino-pino el cual representaba 26.3% del área forestal en estudio. Para el año de 1999, la mezcla de vegetación encino-pino dejo de dominar pasando a ser un área forestal dominada por el encino con el 27.2%, seguida del pino con el 21.9% del área forestal, presentando una clara tendencia a la conformación de rodales de un solo género ya sea encino o pino.

En cuanto a la zona no forestal, el porcentaje de cambio en la Cuenca Río Caliente presentó una disminución para la vegetación secundaria de 0.9%, el pastizal inducido de 1.4%, mientras que la zona agrícola se incrementó 4.7% y el suelo desnudo 1.9%.

Quezada (1984), reportó que la década de 1980 la Sierra la Primavera estaba constituida principalmente por encino-pino en un 35.2 % en un área de estudio de 37.332 ha. El análisis espacio temporal realizado en este trabajo evidencia que esta tendencia se mantuvo en 1990, sin embargo, para 1999 esta ha cambiado ya que la mezcla de encino-pino está tendiendo a la separación para formar rodales de vegetación sin mezcla ya sea del género encino o pino.

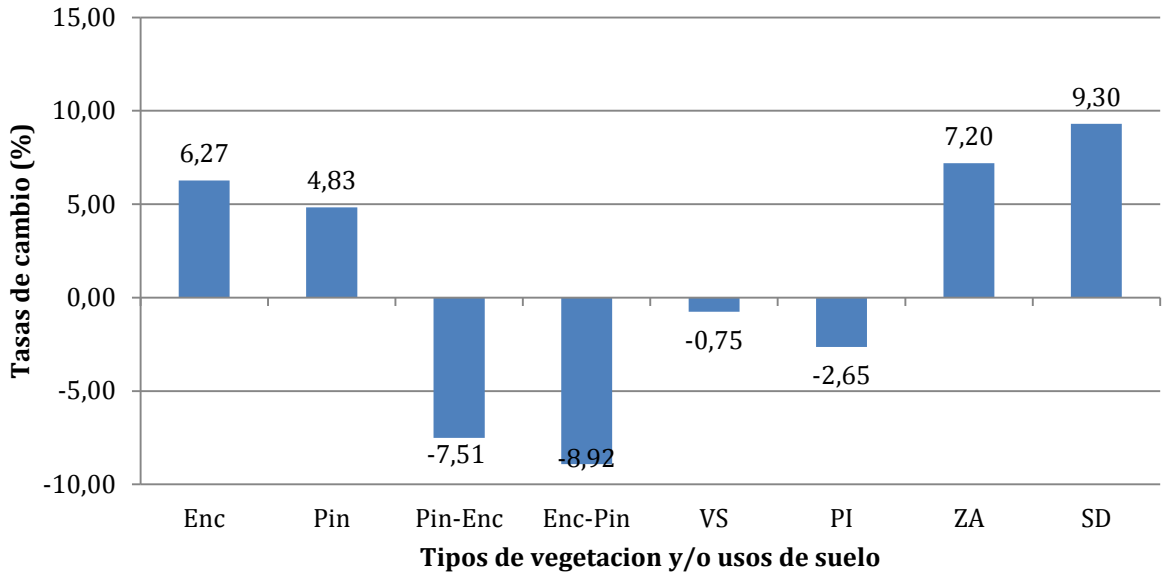

Figura 6. Tasas de cambio para cada categoría de vegetación y usos de suelo de la Cuenca Rio Caliente del APFFLP entre 1990 y 1999.

Según Reyna (2004), el Bosque de Pino en la Primavera se encuentra muy disminuido; en su trabajo de campo observó solo pequeños manchones puros en la parte sur y oriente del bosque, por lo que enfatiza que esta comunidad vegetal se verá desplazada para dar paso a la mezcla pino-encino, situación que no concuerda con los resultados del presente trabajo, en el cual la tendencia encontrada es hacia la consolidación de rodales puros.

Es importante considerar que las metodologías utilizadas son diferentes y que actualmente la utilización de elementos combinados como la percepción remota, la información de campo y los SIG permiten un análisis espacial más fino. Entre más avance la tecnología remota la resolución cada vez mejorará y las estimaciones de cobertura vegetal y usos de suelo serán más precisas. En el presente estudio la utilización de estos elementos en el lapso de tiempo considerado 1990–1999, permitió detectar las zonas que han sido afectadas dejando visualizar cuáles pueden ser las posibles tendencias de cambio en el área de la Cuenca Río Caliente.

Velázquez *et al.*, (2002a, 2002b), calcularon para México las siguientes tasas de cambio anual entre 1976-2000: para bosques -0.25 %, pastizales inducidos 1.72 %, agricultura 0.90 % y vegetación secundaria -0.81 %. Asimismo reportaron las siguientes tasas de cambio anual entre 1993-2000: para bosques -1.02 %, pastizales inducidos 4.62 %, agricultura 1.96 % y vegetación secundaria -1.97 %. Los resultados para la Cuenca Río Caliente del APFFLP entre 1990-1999 muestran que la tasa de cambio anual en bosques fue -0.69 %, de pastizales inducidos -2.65 %, agricultura 7.20 % y vegetación secundaria -0.75 %. Comparando los valores nacionales de Velázquez de 1993-2000 con los de la cuenca Rio Caliente se observa que la tendencia de la cobertura forestal es la misma aunque con una tasa inferior a la nacional; para los pastizales inducidos el comportamiento es a la inversa, a nivel nacional aumentan y en la cuenca disminuyen. Para la agricultura y la vegetación secundaria en ambos trabajos la tendencia es la misma, aunque la tasa para la vegetación secundaria es inferior a la nacional; para la agricultura es 3.7 veces superior, esto debido a los problemas de tenencia de la tierra.

Por otra parte estos valores muestran la dinámica de los bosques nacionales con tendencia a disminución de los mismos a favor de otros usos de suelo como el agrícola, vegetación secundaria y pastizales inducidos; no siendo la excepción la Cuenca de Rio Caliente y el AFFLP.

Castelán *et al.,* (2007), evaluaron en la subcuenca del rio San Marcos en Puebla las siguientes tasas de cambio para el periodo 1993-2000: bosque mesófilo de montaña -0.92%, vegetación secundaria -2.74%, pastizal inducido 3.38% y zona agrícola 4.49%; comparados con los resultados del presente trabajo, estos concuerdan con respecto a la tendencia a excepción del pastizal inducido que en la subcuenca San Marcos aumenta y en la Cuenca Rio Caliente disminuye. En cuanto a la magnitud los valores de la subcuenca San Marcos varían con respecto a la Cuenca Rio Caliente, debido a la diferente dinámica de desarrollo y de tenencia de la tierra.

Las tasas de deforestación a nivel mundial varían entre 0.51% (Mas *et al.*, 2004) y 2% anual (Masera *et al.*, 1997; FAO, 2001; Velázquez *et al.*, 2001; Bray *et al.*, 2004). La cuenca Río Caliente del APFFLP entra dentro de este rango (-0.69%) concordando con lo expresado por Bray *et al.,* (2004) en que las áreas protegidas presentan bajas tasas de cambio.

La vegetación y los usos del suelo no forestales que perdieron superficie son pastizal inducido y vegetación secundaria; desafortunadamente, el suelo desnudo y la zona agrícola se incrementaron considerablemente lo que evidencia que las actividades humanas son uno de los factores principales en la dinámica del bosque, principalmente debido a que el 85% de la tenencia de la tierra es de carácter privado, ejidal y/o comunal. Asimismo, la variación por pérdida en los tipos de vegetación y uso del suelo en la Cuenca Río Caliente no se ha detenido en la última década; adicionalmente, ningún tipo de vegetación ni uso de suelo se ha mantenido estable entre 1990 y 1999, sino que todos han presentando variaciones.

4. CONCLUSIONES

Los mapas de vegetación y uso de suelo para 1990 y 1999 estimaron que las clases que perdieron área en 1999 con respecto a 1990 fueron, encino-pino 58%, pino-encino 51%, pastizal inducido 23% y vegetación secundaria 8%. Las clases espectrales que ganaron superficie para el mismo período fueron, suelo desnudo 119%, zona agrícola 83%, encino 70% y pino 50%, observándose una tendencia hacia la consolidación de rodales puros desplazando a las mezclas. Las tasa de cambio para la cobertura boscosa y pastizales inducidos están por debajo de las estimadas a nivel nacional, mientras que las de las zonas agrícolas y vegetación secundaria se encuentran muy por encima de las nacionales.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a CONACYT y CONAFOR por su apoyo financiero mediante el proyecto CONACYT-CONAFOR 2003-CO3-10322, a la Dirección General de Ecología y Fomento Agropecuario del H. Ayuntamiento Constitucional de Zapopan por proporcionar las imágenes LANDSAT TM 1990 y ETM 1999 además de a los geógrafos Juan R. Ramírez A. y Carlos A. González por su colaboración en los SIG e interpretación de imágenes.

BIBLIOGRAFÍA

BRAY, D. B., ELLIS, E. A., ARMIJO-CANTO N. and BECK C. T. (2004): "The institutional drivers of sustainable landscapes: a case study of the 'Mayan Zone' in Quintana Roo, Mexico", *Land Use Policy*, nº 21, pp. 333-346.

CASTELÁN, V.R., CAREAGA J. R., LINARES G. F., PÉREZ R. A. y TAMARIZ V. F. (2007): "Dinámica de cambio espacio- temporal de uso del suelo de la subcuenca del rio San Marcos, Puebla, México", *Investigaciones Geográficas*, nº 64, pp. 75-89.

CHUVIECO, E. (1995): *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Ed. Rialph. España, 453 pp.

COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS CONANP: (2000). *Programa de manejo área de protección de flora y fauna La Primavera, México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales México. 132 pp.

CURIEL, A. (1994): *Ordenamiento ecológico de Zapopan*. Laboratorio Bosque La Primavera. Universidad de Guadalajara. Guadalajara. México, 125 pp.

EASTMAN, R. (1992): "*IDRISI User's guide versión 4.0*". USA, pp. 42-85.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION FAO. (1995): *Forest Resources Assessment 1990 Global synthesis*. FAO Forestry Paper, nº 124. Roma, 44 pp.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION FAO. (1996): *Forest Resources Assessment 1990 Survey of tropical forest cover and study of change processes*. FAO Forestry Paper, nº 130, Roma, 154 pp.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION FAO (2001): *Forest Resources Assessment 2000 Main Report*. FAO Forestry Paper, nº 140, Roma, 480 pp.

GEIST, H. J. and LAMBIN E. F. (2002): "Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation", *BioScience*, nº 52, pp. 143-150.

GUERRA, M.V. y OCHOA S. G. (2006): "Evaluación espacio-temporal de la vegetación y uso del suelo en la reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco (1990-2000)". *Investigaciones Geográficas*, nº 59, pp. 7-25.

KAIMOWITZ, D. and ANGELSEN A. (1998): *Economic models of tropical deforestation*. A Review Center for International Forestry Research, nº 75, Malaysia, pp. 305-315.

LANDA, R., MEAVE J. and CARABIAS J. (1998): "Environmental deterioration in rural Mexico: an examination of the concept", *Ecol. Appl*, nº 7(1), pp. 316-329.

MAS, J. F., VELÁZQUEZ, A. J., REYES DÍAZ-GALLEGOS, MAYORGA-SAUCEDO R., ALCÁNTARA C., BOCCO G., CASTRO R., FERNÁNDEZ T. and PÉREZ-VEGA A. (2004): "Assessing land use/cover changes: a nationwide multidate spatial database for Mexico", *Internacional J. of Appl. Earth Observation and Geoinformation*, nº 5, pp. 249-261.

MASERA, O. (1996): *Deforestación y degradación forestal en México*, Documento de Trabajo núm. 19, Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, Pátzcuaro, Michoacán, México, 55 pp.

MASERA, O. R., ORDÓÑEZ M. J. and DIRZO R. (1997): "Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long-term scenarios", *Climatic Change*, nº 35, pp. 265-295.

MATEO, J. y ORTIZ M. A. (2001): *La degradación de los paisajes como concepción teórico-metodológica*. Serie Varia, Nueva época, nº 1, Instituto de Geografía, UNAM, México, 40 pp.

OJIMA, D. S., GALVIN K. A. and TURNER B. L. II. (1994): "The global impact of land-use change", *BioScience*, nº 44, pp. 300-304.

PRIEGO, Á., COTLER H., FREGOSO A., LUNA N. y ENRÍQUEZ C. (2004): "La dinámica ambiental de la cuenca Lerma-Chapala", *Gaceta Ecológica*, nº 71, pp. 23-38.

QUEZADA, P.A. (1984): *Levantamiento de uso actual de La Primavera, Jalisco*. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. México, 94 pp.

RAMANKUTTY, N. and FOLEY J.A. (1999): "Estimating historical changes in global land cover: croplands from 1700 to 1992", *Global Biogeochemical Cycles*, nº 13, pp. 997-1027.

REYES H., AGUILAR M., AGUIRRE J. y TREJO I. (2006): "Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973-2000", *Investigaciones Geográficas*, nº 59, pp. 26-42.

REYNA BUSTOS, O. F. (2004): Árboles y Arbustos del Bosque la Primavera (Guía Ilustrada). Universidad de Guadalajara. CONABIO, 118 pp.

RZEDOWSKI, J. (1978): *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México. 432 pp.

SALAZAR, C. E., ZAVALA J., CASTILLO O. y CÁMARA R. (2004): "Evaluación espacial y temporal de la vegetación de la Sierra Madrigal, Tabasco, México (1973-2003)", *Investigaciones Geográficas*, nº 54, pp. 7-23.

VELÁZQUEZ, A., MASS J. F., MAYORGA SAUCEDO R., PALACIO J. L., BOCCO G., GÓMEZ RODRÍGUEZ G., LUNA GONZÁLEZ L., TREJO I., LÓPEZ GARCÍA J., PALMA M., PERALTA A., PRADO MOLINA J. y GONZÁLEZ MEDRANO F. (2001): "El Inventario Forestal Nacional 2000", *Ciencias,* nº 64, pp. 12-19.

VELÁZQUEZ, A., MAS J. F., DÍAZ-GALLEGOS J. R., MAYORGA-SAUCEDO R., ALCANTARA P. C., CASTRO R., FERNÁNDEZ T., BOCCO G., EZCURRA E. y PALACIO J. L. (2002a): "Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México", *Gaceta Ecológica*, nº 62, pp. 21-37.

VELÁZQUEZ, A., MAS J. F., PALACIO-PRIETO J. L. and BOCCO G. (2002b): "Land cover mapping to obtain a current profile of deforestation in Mexico", *Unasylva*, nº 210, pp. 7-11.

VITOUSEK, P., MOONEY M., LUBCHENCO J. and MELILLO J. (1997): "Human domination of Earth's ecosystems", *Science*, nº 277, pp. 494-499.